



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

**POLPA DE UMBU (*SPONDIAS TUBEROSA* ARR. CÂM.) ATOMIZADA:  
INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO, AVALIAÇÃO SENSORIAL,  
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E POTENCIAL ANTIOXIDANTE**

JACKELINNE DE ANDRADE SILVA

Recife

2013

JACKELINNE DE ANDRADE SILVA

**POLPA DE UMBU (*SPONDIAS TUBEROSA* ARR. CÂM.) ATOMIZADA:  
INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DE PROCESSO, AVALIAÇÃO SENSORIAL,  
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E POTENCIAL ANTIOXIDANTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADOR/A: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Inês Sucupira Maciel

CO-ORIENTADOR/A: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Enayde de Almeida Melo

Recife

2013

Ficha catalográfica

S586p Silva, Jackeline de Andrade  
Polpa de umbu (*Spondias Tuberosa* Arr. Câm.) atomizada:  
Influência das variáveis de processo, avaliação sensorial,  
caracterização física e potencial antioxidante / Jackeline de  
Andrade Silva. -- Recife, 2013.  
128 f.: il.

Orientador (a): Maria Inês Sucupira Maciel.  
Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de  
Alimentos) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Departamento de Ciências Domésticas, Recife, 2013.  
Inclui referências e apêndice.

1. Alimentos – Avaliação sensorial 2. Umbu 3. Frutas –  
Desidratação I. Maciel, Maria Inês Sucupira, orientadora  
II. Título

CDD 640



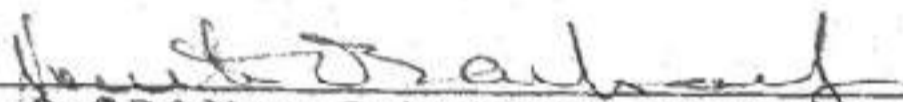
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DOMÉSTICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS

**POLPA DE UMBU (SPONDIAS TUBEROSA ARR. CAM) ATOMIZADO:  
INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO, AVALIAÇÃO SENSORIAL,  
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E POTENCIAL ANTIOXIDANTE**

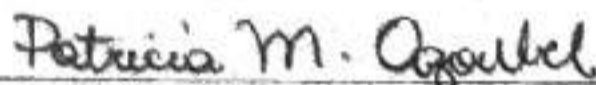
Por: Jackeline de Andrade Silva

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em 27/08/13 pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento em sua forma final.

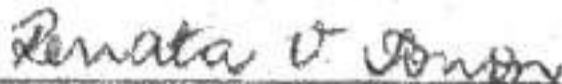
Banca Examinadora:



Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup>. Nonete Barbosa Guerra - Membro interno  
Universidade Federal de Pernambuco/Universidade Federal Rural de Pernambuco



Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup>. Patrícia Moreira Azoubel - Membro interno  
Universidade Federal de Pernambuco



Dr<sup>ª</sup> Renata Valeriano Tonon - Membro externo  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



*Dedico esse trabalho  
à minha família  
por representar  
tudo na minha vida*

## AGRADECIMENTOS

- ❖ A Deus, pelo dom da vida e por seu infinito amor e fidelidade.
- ❖ Aos meus pais, Leni Rita e José Barnabé, pelo apoio e, sobretudo, pelo imenso amor e dedicação. Eu simplesmente amo vocês!
- ❖ Ao meu eterno amor Daniel Freire, por seu grande amor e companheirismo, em todos os momentos possíveis.
- ❖ À minha amada irmã, Daniele Andrade pelo carinho e amizade.
- ❖ Aos meus sogros Rosaly e Celso por absolutamente tudo que sempre fizeram e fazem por mim.
- ❖ Ao meu querido padastro Ferrão por seu carinho.
- ❖ À minha orientadora Maria Inês por sua orientação, dedicação e confiança.
- ❖ À minha co-orientadora, Enayde de Almeida por toda ajuda e tempo dedicados.
- ❖ À CAPES, pelo apoio financeiro concedido através de bolsa de mestrado.
- ❖ Ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos e seus professores pelo conhecimento passado e oportunidade de conviver com todos.
- ❖ À banca examinadora por todas as contribuições e críticas.
- ❖ À secretária do programa, Ana Engracia, por tudo.
- ❖ Aos meus amigos de turma, Alexandre, Flávia, Hayana, Lívia, Renata e Rosana, pela amizade, atenção, por todo o carinho e pelos encontros maravilhosos!
- ❖ À minha querida amiga Náira, obrigada por ser meu anjo do laboratório, por ser minha professora dedicada e atenciosa e por todas as vezes em que pude olhar para você e dizer ainda bem que não estou só! Juntas aprendemos até transmissão de pensamento (risos)!
- ❖ Às minhas grandes e eternas amigas Diana, Carol, Raquel e Willma, obrigada pela preciosa amizade que temos e perdão por minha ausência!
- ❖ A Marcony pela ajuda nos experimentos.
- ❖ À técnica do laboratório Jaqueline, pela ajuda e boa vontade.
- ❖ A toda atenção e colaboração dada por Fábio e Luiz do Ageu Magalhães.
- ❖ Ao CETENE, especialmente à Janáina, Adriana e Rafael, pela atenção e realização das análises.

**Meus sinceros agradecimentos!**

*“O sucesso nasce do querer, da determinação  
e da persistência em se chegar a um objetivo.  
Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e  
vence obstáculos, no mínimo fará coisas  
admiráveis.”*

*José de Alencar*



## RESUMO

O umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.) é uma espécie nativa das regiões secas do Nordeste brasileiro. Na época da safra, muitas famílias se mantêm do extrativismo desta espécie, para alimentação ou comercialização dos frutos. Diante da importância do umbuzeiro para a economia desta Região e devido ao problema de alta perecibilidade do fruto o objetivo desta pesquisa é a obtenção de umbu em pó pelo processo de atomização. O umbu utilizado foi adquirido no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA/PE). A influência das condições de processo sobre a umidade, higroscopicidade, retenção de compostos fenólicos e rendimento do processo, foi analisada por meio de um delineamento composto central rotacional  $2^3$  completo. Dois ensaios, selecionados a partir da análise dos gráficos de superfície de resposta apresentaram condições mais favoráveis de secagem: o ensaio A, com temperatura do ar de 117°C, vazão mássica de 0,24 L/h e 25% de agente carreador e o ensaio B, com temperatura do ar de 133°C, vazão mássica de 0,91 L/h e 22% de agente carreador. Seus produtos foram submetidos a análises microbiológicas e sensoriais. As maiores médias nos testes de aceitação, intenção de compra e preferência, foram apresentadas pelo ensaio B. Desta forma, o referido ensaio foi selecionado para dar continuidade à pesquisa, com a realização da caracterização física, apresentando os seguintes resultados: densidade aparente de 0,61 g/mL, percentual de solubilidade de 80,28% e em relação à morfologia as partículas de umbu atomizado apresentaram tamanho uniforme, com formação de numerosos e pequenos aglomerados, formato esférico e superfície predominantemente rugosa com presença de depressões, embora uma minoria tenha apresentado superfície lisa. O potencial antioxidante do umbu atomizado, medido pelos métodos DPPH e ABTS, não foi expressivo quando comparado ao potencial antioxidante de outros alimentos atomizados, fato que pode ser explicado pelo baixo teor de compostos fenólicos apresentado pelo produto. Desta forma, evidencia-se que o umbu atomizado apresenta perspectiva para produção, tendo em vista sua aceitação junto ao consumidor. No entanto, é pertinente a realização futura de um novo planejamento experimental, tendo em vista que o planejamento experimental utilizado durante a presente pesquisa não foi capaz de otimizar o processo de secagem por atomização para o umbu.

**Palavras-chave:** umbu, secagem por atomização, propriedades físico-químicas, estabilidade.



## ABSTRACT

The umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr Câm.) is a species native to the dry regions of Northeastern Brazil. At harvest time, many families remain the extraction of this species, for food or fruit commercialization. Given the importance of umbuzeiro to the economy of this region and due to the problem of high perishability of the fruit of the research objective is to obtain umbu powder by atomization process. The umbu used was acquired at the Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA/PE). The influence of process conditions on the moisture content, hygroscopicity, retention of phenolic compounds and process yield was analyzed using a central composite design  $2^3$  complete. Two essays, selected from the analysis of the response surface graphs showed more favorable drying: the test A, with an air temperature of 117°C, mass flow rate of 0,24 L/h and 25% maltodextrin and test B, with air temperature of 133°C, mass flow rate of 0,91 L/h and 22% maltodextrin. Its products were subjected to microbiological and sensory. The highest average in acceptance testing, purchase intent and preference, were presented by the test B. Thus, the test was selected to give contuidade research, achieving physical characterization, giving the following results: apparent density of 0,61 g/ml, the percentage solubility and 80,28 % in relation to the morphology umbu atomized particles had uniform size, with the formation of numerous small clusters, predominantly spherical shape and rough surface in the presence of depressions, although a minority has presented a smooth surface. The antioxidant potential of umbu atomized, measured by DPPH and ABTS, was not significant when compared to the antioxidant potential of other food atomized, which can be explained by the low content of phenolic compounds presented by the product. Thus, it is evident that the present umbu atomized perspective production in view of its acceptance by the consumer. However, it is pertinent to the future realization of a new experimental design, considering that the experimental design used for this research was not able to optimize the process of spray drying for umbu.

**Keywords:** umbu, spray drying, physico-chemical properties, stability.



## LISTA DE FIGURAS

### Revisão de Literatura

<b>Figura 1.</b>	Umbu.	22
<b>Figura 2.</b>	Representação esquemática de um atomizador.	25
<b>Figura 3.</b>	Padrões de fluxo de ar em secadores de pulverização.	26
<b>Figura 4.</b>	Diagrama esquemático de dois tipos representativos de microcápsulas.	30
<b>Figura 5.</b>	Representação esquemática do processo de microencapsulação.	31
<b>Figura 6.</b>	Fórmula estrutural da maltodextrina.	33
<b>Figura 7.</b>	Principais origens dos alimentos em pó.	35
<b>Figura 8.</b>	Representação esquemática das estruturas moleculares cristalina e amorfa.	38
<b>Figura 9.</b>	Esquema geral da autoxidação lipídica.	41
<b>Artigo 1</b>		
<b>Figura 1.</b>	Atomizador utilizado nos ensaios de secagem.	60
<b>Figura 2.</b>	Superfície de resposta para a resposta atividade de água, (A) em função da temperatura x vazão mássica de alimentação, (B) em função da temperatura x concentração de agente carreador e (C) em função da vazão mássica de alimentação x concentração de agente carreador.	71
<b>Figura 3.</b>	Superfície de resposta para a resposta umidade, (A) em função da temperatura x vazão mássica de alimentação, (B) em função da temperatura x concentração de agente carreador e (C) em função da vazão mássica de alimentação x concentração de agente carreador.	75
<b>Figura 4.</b>	Mudanças nas características físicas do pó de umbu mantido a 25°C e 75,29% de UR. (A) tempo= 0 dias; (B) tempo= 7 dias.	79
<b>Figura 5.</b>	Superfície de resposta para a resposta retenção de compostos fenólicos, (A) em função da temperatura x vazão mássica de alimentação, (B) em função da concentração de agente carreador x temperatura e (C) em função da vazão mássica de alimentação x	83



concentração de agente carreador.

## Artigo 2

<b>Figura 1.</b>	Fluxograma do desenvolvimento do umbu atomizado.	98
<b>Figura 2.</b>	Ficha de respostas para o teste de aceitação e intenção de compra.	100
<b>Figura 3.</b>	Ficha de respostas para o teste de preferência.	101
<b>Figura 4.</b>	Intenção de compra dos provadores para as duas formulações do néctar de umbu atomizado.	109
<b>Figura 5.</b>	Intenção de compra dos provadores para as duas formulações de néctar de umbu atomizado.	110
<b>Figura 6.</b>	Eletromicrografias das partículas de umbu atomizado a 133°C. <b>A</b> – Visão geral da distribuição das partículas (setas curtas); <b>B</b> – Presença de partículas aglomeradas (asteriscos); <b>C</b> – Presença de partículas com superfície lisa (setas abertas) e <b>D</b> – Detalhe de partículas isoladas com superfície rugosa e presença de depressões (setas fechadas).	114

## LISTA DE TABELAS

### Revisão de Literatura

<b>Tabela 1.</b>	Composição química do fruto.	22
<b>Tabela 2.</b>	Vantagens e desvantagens da microencapsulação por atomização.	32
<b>Tabela 3.</b>	Usos da maltodextrina.	34
<b>Tabela 4.</b>	Estado físico de vários pós alimentares.	37
<b>Artigo 1</b>		
<b>Tabela 1.</b>	Planejamento experimental codificado e decodificado da secagem em atomizador.	61
<b>Tabela 2.</b>	Composição físico-química e colorimétrica da polpa de umbu <i>in natura</i> .	66
<b>Tabela 3.</b>	Valores das respostas obtidas na secagem da polpa de umbu em atomizador.	68
<b>Tabela 4.</b>	Coefficiente de regressão, erro padrão, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística ( <i>p</i> ), para cada fator no modelo codificado para atividade de água.	69
<b>Tabela 5.</b>	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água.	70
<b>Tabela 6.</b>	Coefficiente de regressão, erro padrão, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística ( <i>p</i> ), para cada fator no modelo codificado para umidade.	73
<b>Tabela 7.</b>	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para umidade.	74
<b>Tabela 8.</b>	Coefficiente de regressão, erro padrão, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística ( <i>p</i> ), para cada fator no modelo codificado para higroscopicidade.	78
<b>Tabela 9.</b>	Coefficiente de regressão, erro padrão, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística ( <i>p</i> ), para cada fator no modelo codificado para rendimento.	80



<b>Tabela 10.</b>	Coeficiente de regressão, erro, coeficiente <i>t</i> e grau de significância estatística ( <i>p</i> ), para cada fator no modelo codificado para retenção de compostos fenólicos.	81
<b>Tabela 11.</b>	Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para retenção de compostos fenólicos.	82
<b>Tabela 12.</b>	Valores experimentais e preditos para as análises realizadas no pó produzido sob as condições selecionadas pela análise dos gráficos de superfície de resposta.	87
 <b>Artigo 2</b>		
<b>Tabela 1.</b>	Resultados das análises microbiológicas nas amostras de umbu.	106
<b>Tabela 2.</b>	Médias das notas seguidas do desvio padrão para os atributos avaliados pelo teste de aceitação do néctar feito com umbu atomizado.	107
<b>Tabela 3.</b>	Índice de aceitação e rejeição dos atributos do néctar de umbu atomizado.	108
<b>Tabela 4.</b>	Índice de aceitação e rejeição para os ensaios do néctar de umbu atomizado.	108
<b>Tabela 5.</b>	Teste de preferência – comparação pareada para as formulações de néctar de umbu atomizado.	111



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. OBJETIVOS.....	20
2.1. Geral:.....	20
2.2. Específicos:.....	20
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
3.1. UMBU.....	21
3.2. SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO.....	24
3.2.1. Aspectos gerais.....	24
3.2.2. Secagem de polpa de fruta por atomização.....	28
3.3. MICROENCAPSULAÇÃO.....	29
3.3.1. Aspectos gerais.....	29
3.3.2. Agentes carreadores.....	32
3.3.2.1. Maltodextrinas.....	33
3.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE ALIMENTOS EM PÓ.....	35
3.4.1. Alimentos em pó: Aspectos gerais.....	35
3.4.2. Microestrutura.....	36
3.4.3. Propriedades de partícula.....	38
3.4.3.1. Densidade, solubilidade e morfologia de partícula de alimentos em pó.....	39
3.5. POTENCIAL ANTIOXIDANTE E COMPOSTOS FENÓLICOS.....	40
3.6. ANÁLISE SENSORIAL.....	44
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
ARTIGO 1 – INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE PROCESSO NA SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DA POLPA DE UMBU.....	55

RESUMO .....	55
ABSTRACT .....	56
5.1 INTRODUÇÃO.....	57
5.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	59
5.2.1. Material.....	59
5.2.1.1. Matéria-prima .....	59
5.2.1.2. Agente carreador.....	59
5.2.2. Local do estudo.....	59
5.2.3. Métodos.....	59
5.2.3.1. Preparo das amostras .....	59
5.2.3.2. Secagem por atomização .....	60
5.2.3.3. Planejamento experimental .....	60
5.2.3.4. Análises físico-químicas da polpa de umbu <i>in natura</i> .....	61
5.2.3.4.1. Atividade de água (Aw).....	62
5.2.3.4.2. Teor de umidade .....	62
5.2.3.4.3. Teor de sólidos solúveis (SS).....	62
5.2.3.4.4. Cor.....	62
5.2.3.4.5. pH .....	62
5.2.3.4.6. Teor de acidez titulável (AT) .....	62
5.2.3.4.7. Teor de proteínas .....	63
5.2.3.4.8. Teor de lipídeos .....	63
5.2.3.4.9. Teor de cinzas.....	63
5.2.3.4.10. Compostos fenólicos .....	64
5.2.3.4.10.1. Obtenção dos extratos.....	64
5.2.3.4.10.2. Fenólicos totais .....	64
5.2.3.5. Análises físico-químicas do umbu atomizado.....	64



5.2.3.5.1. Higroscopicidade.....	65
5.2.3.5.2. Compostos fenólicos.....	65
5.2.3.5.2.1. Obtenção dos extratos.....	65
5.2.3.5.2.2. Fenólicos totais.....	65
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
5.3.1. Composição físico-química da matéria-prima.....	66
5.3.2. Planejamento experimental.....	67
5.3.2.1. Atividade de água (Aw).....	68
5.3.2.2. Teor de umidade.....	73
5.3.2.3. Higroscopicidade.....	78
5.3.2.4. Rendimento.....	79
5.3.2.5. Retenção de compostos fenólicos.....	80
5.3.3. Seleção das melhores condições de secagem.....	85
5.3.4. Validação dos modelos obtidos.....	86
5.4. CONCLUSÕES.....	88
5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
6. ARTIGO 2 – AVALIAÇÃO SENSORIAL, CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DO UMBU ATOMIZADO.....	93
RESUMO.....	93
ABSTRACT.....	94
6.1. INTRODUÇÃO.....	95
6.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	97
6.2.1. Material.....	97
6.2.1.1. Matéria-prima.....	97
6.2.1.2. Agente carreador.....	97
6.2.2. Métodos.....	97



6.2.2.1. Obtenção do umbu atomizado .....	97
6.2.2.2. Aprovação do Comitê de Ética .....	99
6.2.2.3. Análises microbiológicas.....	99
6.2.2.4. Avaliação Sensorial do néctar de umbu atomizado.....	99
6.2.2.4.1 Preparo dos néctares .....	99
6.2.2.4.2. Teste de aceitação e intenção de compra.....	100
6.2.2.4.3. Teste de Preferência.....	101
6.2.2.5. Caracterização física do umbu atomizado.....	102
6.2.2.5.1. Densidade aparente.....	102
6.2.2.5.2. Solubilidade.....	102
6.2.2.5.3. Morfologia das partículas.....	103
6.2.2.6. Potencial antioxidante do umbu atomizado.....	103
6.2.2.6.1. Capacidade de sequestrar o radical DPPH .....	103
6.2.2.6.2. Capacidade de sequestro do radical ABTS .....	103
6.2.2.7. Compostos fenólicos .....	104
6.2.2.7.1. Obtenção dos extratos.....	104
6.2.2.7.2. Fenólicos totais.....	104
6.2.2.8. Análise estatística .....	105
6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	106
6.3.1. Análises microbiológicas.....	106
6.3.2. Avaliação sensorial do néctar feito com umbu atomizado.....	107
6.3.2.1. Teste de aceitação e Intenção de compra do néctar de umbu.....	107
6.3.2.2. Teste de preferência do néctar de umbu .....	110
6.3.3. Seleção do ensaio para realização da caracterização física e potencial antioxidante .....	112
6.3.4. Análises físicas e potencial antioxidante.....	112

6.3.4.1. Densidade aparente e solubilidade .....	112
6.3.4.2. Morfologia das partículas .....	114
6.3.4.3. Potencial antioxidante .....	117
6.4. CONCLUSÕES .....	119
6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	120
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	125
ANEXOS .....	126
Anexo 1 – Parecer do comitê de ética .....	127
Anexo 2 – Ficha de concordância e voluntariedade para participação da avaliação sensorial .....	128



## 1. INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia procura acompanhar o estilo de vida que a sociedade vem adotando nas últimas décadas, oferecendo alimentos práticos, atrativos e de preparo rápido. No entanto, a incidência de doenças como a hipertensão, o diabetes e o câncer, aliado ao aumento do poder aquisitivo da população brasileira, fez aumentar a preocupação com a qualidade de vida e, conseqüentemente, a procura por alimentos mais saudáveis e nutritivos.

Desta forma, as indústrias de alimentos estão agregando, cada vez mais, apelo nutricional a seus produtos e substituindo o uso de ingredientes sintéticos por ingredientes naturais. A exemplo de frutas em pó, ingredientes utilizados como fonte de compostos antioxidantes, de vitaminas e minerais, que também auxiliam no aroma e na coloração do produto final.

O Nordeste brasileiro é uma região conhecida pela produção de diversas frutas tropicais. Este tipo de fruta tem conquistado, cada vez mais, o mercado mundial, devido às suas características singulares e atrativas. Dentre as frutas tropicais, o umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.) e seus produtos têm se destacado bastante no mercado.

A produção de um umbuzeiro alcança, em média, 300 kg de frutos/safra e, segundo a Conab (2010), de todo o umbu produzido no Brasil, 99,7% são advindos do Nordeste, sendo o Estado da Bahia responsável por 89%, Pernambuco por 5% e Rio Grande do Norte por 2%.

Não obstantante a disponibilidade do fruto, a totalidade da safra não é aproveitada em virtude de sua alta perecibilidade. Desta forma, considerando ainda as tendências atuais dos consumidores por alimentos mais nutritivos e benéficos à saúde, a transformação do umbu *in natura* em umbu em pó, através da desidratação por atomização surge como uma alternativa de processamento para obter produtos diversos, estáveis, versáteis, facilmente reconstituíveis, além de diminuir as perdas pós-colheita e agregar valor ao produto final.

O processo normalmente utilizado na produção de fruta em pó é a secagem por atomização, onde um produto líquido é submetido à uma corrente de gás quente para



obter um pó instantaneamente. O gás usado geralmente é o ar ou, mais raramente, um gás inerte como o nitrogênio e, dependendo da matéria-prima e das condições de funcionamento, obtém-se um pó muito fino (10-50  $\mu\text{m}$ ) ou partículas de tamanho grande (2-3 mm). Este tipo de secagem é usado geralmente para garantir a estabilidade microbiológica dos produtos, evitar o risco de produtos químicos e/ou degradações biológicas, reduzir os custos de armazenagem e transporte e, finalmente, obter um produto com determinadas propriedades como, por exemplo, a solubilidade instantânea (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Neste contexto, o estudo do processo de secagem por atomização sobre as características do umbu atomizado torna-se importante, uma vez que este produto representa uma alternativa de diversificação da forma de consumo do umbu, além de apresentar vida útil mais longa.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral:**

Obter polpa de umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.) em pó utilizando o processo de secagem por atomização.

### **2.2. Específicos:**

- ❖ Otimizar as condições de processo que possibilitem a obtenção de um produto de qualidade com retenção de compostos fenólicos.
- ❖ Avaliar a aceitação, a intenção de compra e a preferência do produto empregando a análise sensorial.
- ❖ Determinar as características físicas e o potencial antioxidante do umbu atomizado selecionado pela análise sensorial.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. UMBU

A caatinga nordestina é constituída por grande variação de espécies vegetais que, de acordo com a época do ano, oferece frutos saborosos e nutritivos para a alimentação do “homem caatingueiro”. O umbu, também conhecido como imbu, fruto do umbuzeiro, é um exemplo (SILVA; PIRES; SILVA, 1987).

O umbuzeiro (*Spondias tuberosa* A. Câmara) pertence à família Anacardiaceae e pode ser encontrado em estado nativo nas caatingas elevadas, de ar seco, noites frescas e dias ensolarados, em associação com a vegetação natural. Sua presença é notada, também, na zona do agreste e, menos frequentemente, no sertão. Na caatinga dos cariris-velhos, no Planalto da Borborema, Paraíba, encontra-se o maior número destas árvores. Nas caatingas da Bahia e de Pernambuco, no agreste do Piauí, esta frutífera encontrou larga área com condições favoráveis ao seu crescimento (DUQUE, 2004).

O umbuzeiro adapta-se perfeitamente a períodos prolongados de seca devido às raízes tuberosas que acumulam água e à queda de suas folhas. Desenvolve-se em regiões que apresentam pluviosidade entre 400 a 800 mm, de clima quente, com temperaturas entre 12°C e 38°C, umidade relativa do ar entre 30 e 90% e não parece ter exigências definidas sobre as qualidades do solo (DUQUE, 2004; BARRETO; CASTRO, 2010).

A árvore pode alcançar mais de 7 m de altura com copa medindo até 22 m de diâmetro. O tronco é atrofiado e retorcido com diâmetro de 0,3 a 1,4 m. A formação da copa se inicia a cerca de 1 m acima do solo, constituindo uma ampla área, capaz de produzir grande quantidade de frutos por safra. As raízes são compostas de órgãos de reservas denominados xilopódios, túberas ou “batata”. As flores são brancas, agrupadas, perfumadas, com néctar, que é retirado pelas abelhas para se alimentarem (SILVA; PIRES; SILVA, 1987; BARRETO; CASTRO, 2010).

De acordo com Barreto e Castro (2010), a densidade das plantas do umbuzeiro é, em média, de 6 a 8 plantas por hectare. Considerando que uma planta adulta produz em média 15 mil frutos por ano, a produção de um umbuzeiro alcança, em média, 300 kg de frutos/safra.



O fruto do umbuzeiro (Figura 1) é bastante apreciado por seu sabor refrescante e ácido, constitui uma drupa de formato arredondado, de casca lisa ou com pêlos, sendo composto, em média, por 10% de caroço, 22% de casca e 68% de polpa. (SILVA; PIRES; SILVA, 1987; BARRETO; CASTRO, 2010). A Tabela 1 apresenta a composição química média do umbu.



**Figura 1.** Umbu.

**Tabela 1.** Composição química do fruto (por 100 g de parte comestível).

<b>Constituintes</b>	<b>Quantidade</b>
Umidade (%)	87,25
Lipídeos (g)	0,85
Proteína (g)	0,31
Fibra bruta (g)	1,04
Açúcares totais (g)	5,38
Açúcares redutores (g)	4,09
Açúcares não-redutores (g)	1,29
Cinzas (g)	0,30

Fonte: Narain et al. (1992)

A maturação do umbu é geralmente classificada em 3 estágios verde, meio maduro e maduro. Nos estágios de maturação meio maduro (pele de cor verde-amarelada) e maduro (pele de cor amarelo-esverdeada) o sabor dos frutos está bastante desenvolvido e as características organolépticas são apreciáveis. Desta forma, os frutos que se encontram nesses estágios são usualmente utilizados para o processamento. Entretanto, quando não submetido a processos de conservação, o umbu maduro tem uma vida de prateleira muito curta, dura no máximo dois ou três dias (GALVÃO et al., 2011).



É importante ressaltar que do umbuzeiro tudo é aproveitado. Da raiz se tira a água que sacia a fome e a sede do sertanejo na época seca, podendo, também, ser utilizada na medicina caseira como vermífugo e antidiarréico. A raiz seca dá origem a uma farinha comestível. As folhas verdes e frescas servem para alimentar os animais domésticos e silvestres. O fruto é utilizado, principalmente, na forma de 'umbuzada', iguaria regional preparada misturando a polpa filtrada com açúcar e leite. Entretanto, a polpa também pode ser usada na produção de sorvete, no fabrico de vinho, confeitos, doces, refrescos, sucos, geléias, dentre outros. O fruto serve ainda de forragem para os animais (NARAIN et al., 1992; CONAB, 2010).

Albuquerque et al. (2007) relacionam uma série de benefícios que a planta pode trazer à saúde humana, tais como prevenção e/ou tratamento de conjuntivites e oftalmias, de doenças venéreas, de problemas digestivos, cólicas, diarreia, do diabetes, de distúrbios menstruais, de infecção renal e de inflamações de garganta, além de ser tônico e antiemético.

O umbu é considerado um símbolo de resistência cultural pelos agricultores familiares, povos e comunidades tradicionais da região semiárida, principalmente pelo significado sagrado e por reservar água em suas raízes em períodos de seca (BARRETO; CASTRO, 2010).

Na safra (de janeiro a abril), além de servir como alimento, constitui uma boa fonte de renda para as famílias dos agricultores que promovem a colheita dos frutos e os vendem para consumo *in natura* ou na forma de doces. No entanto, o seu consumo *in natura* é limitado à região onde é colhido, pelo fato do fruto apresentar alta perecibilidade (SILVA; PIRES; SILVA, 1987; USHIKUBO; WATANABE; VIOTTO, 2007).

O surgimento de várias pequenas agroindústrias de processamento vem demonstrando o potencial dessa planta para contribuir com o desenvolvimento da região semiárida, tomando seu fruto fonte de matéria-prima para a indústria alimentícia (COSTA et al., 2001). Portanto, o estudo e o desenvolvimento de novas tecnologias para a obtenção de produtos de alta qualidade advindos desse fruto constitui um estímulo à sua extração (USHIKUBO; WATANABE; VIOTTO, 2007).



## 3.2. SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO

### 3.2.1. Aspectos gerais

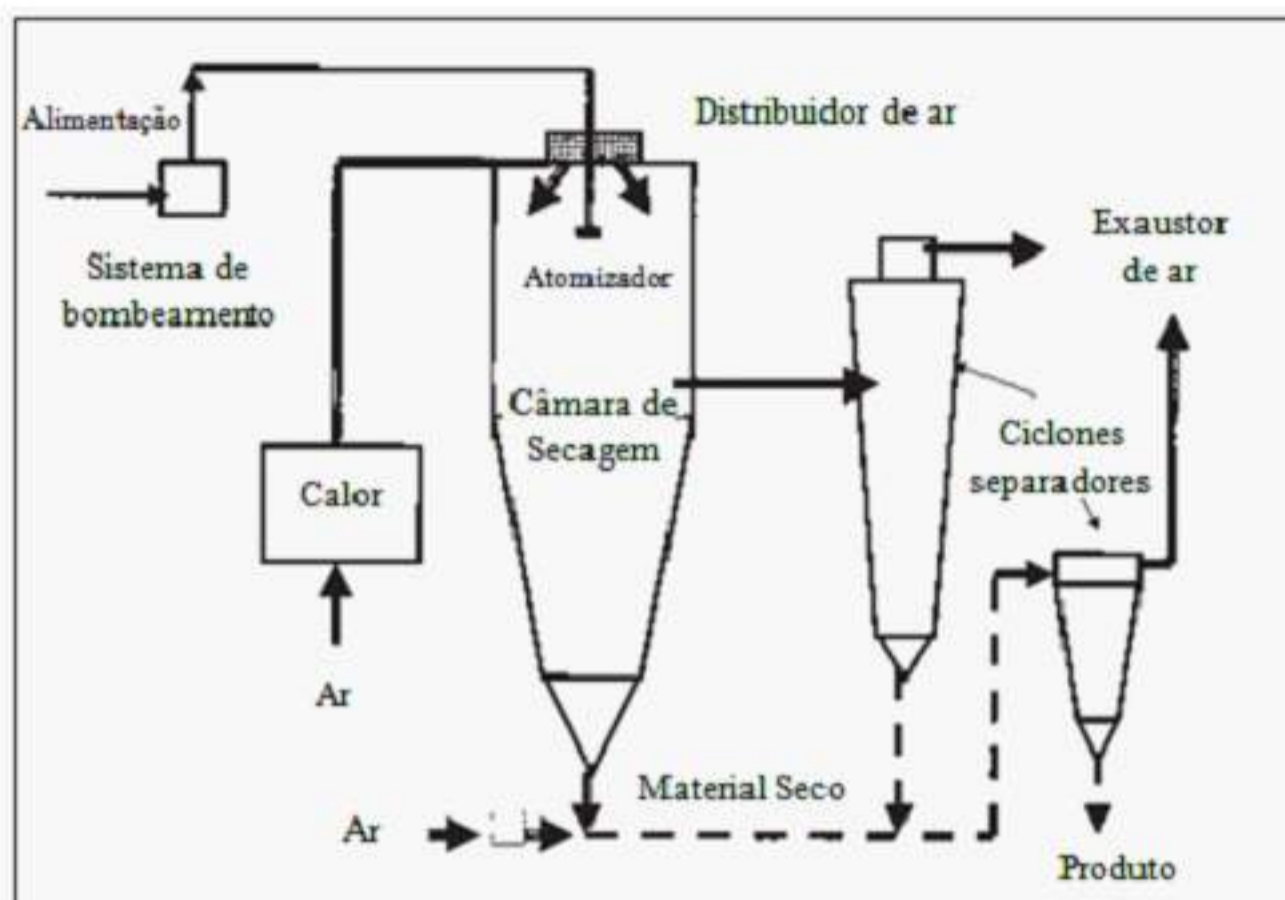
A influência do teor de água é conhecida desde tempos antigos. Em torno de 8.000 a.C., muitas inovações em técnicas de preservação foram introduzidas. Para garantir um fornecimento estável de alimentos, grãos e frutas foram estabilizados por secagem natural, carne e peixe pela defumação e pela salga seca. Em 1795, Masson e Challet aplicaram a secagem artificial em legumes dentro de uma sala com ar quente. No século 20, as inovações incluíram a secagem artificial de líquidos por tambor, por atomização ou por congelamento (ZEUTHEN; BUGH-SØRENSEN, 2003).

A secagem por atomização é um dos métodos mais importante para a secagem de líquidos, incluindo soluções e suspensões (KAREL; LUND, 2003). É uma técnica amplamente utilizada na indústria alimentícia para secar frutas, especialmente em formas de purê ou suco, no entanto uma enorme gama de produtos pode ser seca por atomização (HUI, 2010).

Entre as aplicações mais importantes na indústria de alimentos estão a secagem de leite, produtos lácteos, ovo, café, cacau, chá, mistura de creme, aromas encapsulados, proteínas, hidrolisados de amido e produtos de milho (FELLOWS, 2000; KAREL; LUND, 2003). Os alimentos em pó podem ser usados como ingredientes de diversas preparações alimentícias, tais como sopas secas e misturas para bolo, ou mesmo como aditivos (HUI, 2006).

De acordo com Hui (2006), existem três tipos gerais de atomizadores: o de pressão, o centrífugo e o pneumático de duplo fluido (ar comprimido/alimento líquido). A geometria da câmara de secagem depende, principalmente, do tipo de atomizador utilizado. Geralmente a câmara é curta e larga, para atomizadores centrífugos, e longa e estreita para atomizadores de pressão. Para Gharsallaoui et al. (2007) a escolha do atomizador depende da natureza do alimento, da viscosidade e das características desejadas do produto seco. A Figura 2 apresenta uma representação esquemática de um atomizador.





**Figura 2.** Representação esquemática de um atomizador. Fonte: Karel e Lund (2003)

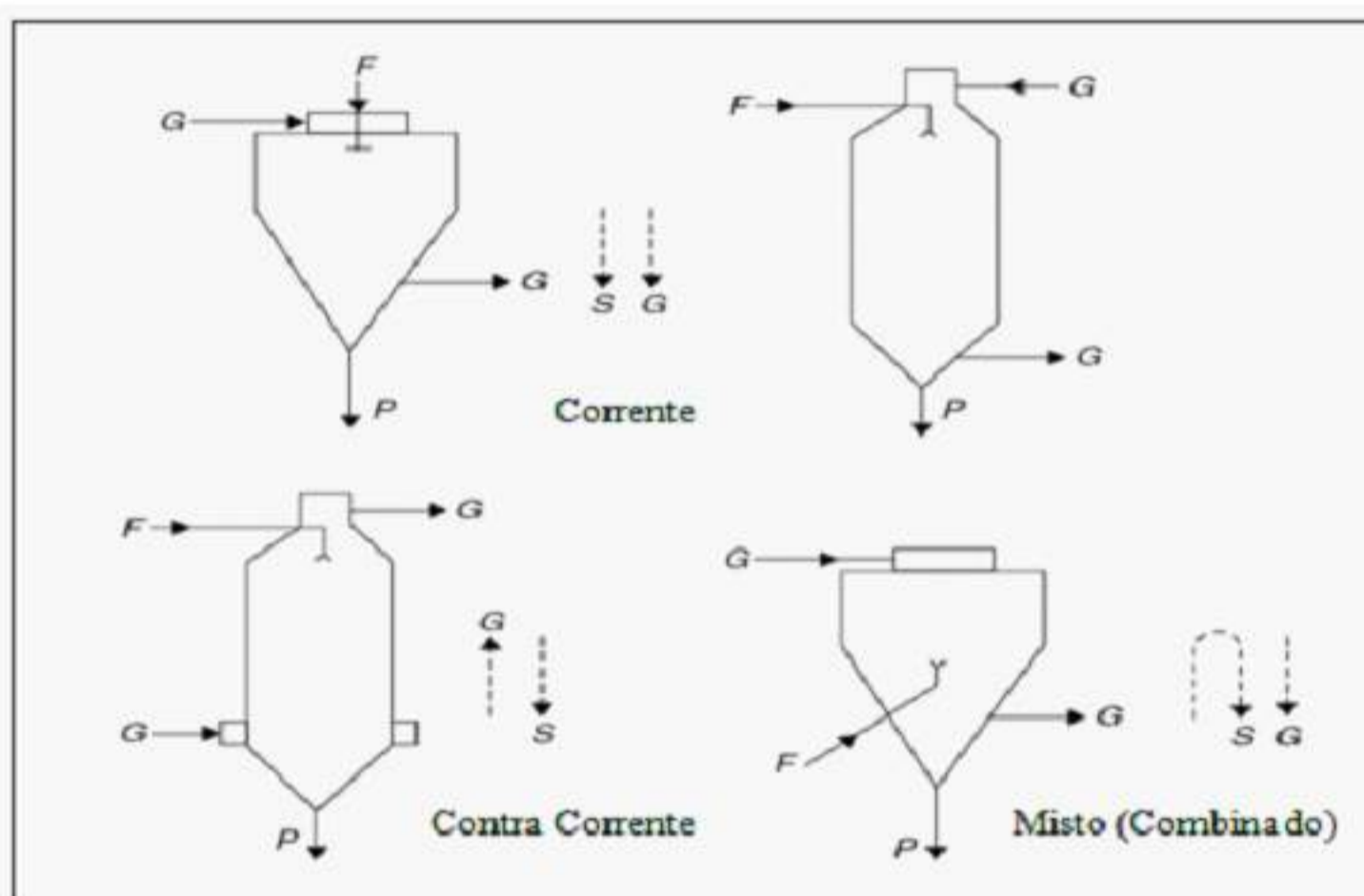
O atomizador comumente utilizado em escala laboratorial é o de pressão que atomiza líquidos forçando-os através de um bico atomizador (0,4 a 4 mm) sob alta pressão o que impõe elevadas tensões de cisalhamento. Os bicos têm uma taxa de fluxo máxima de 1 L/h, com pressões típicas que variam de 300-4000 *psig*. Contudo o orifício pequeno é suscetível ao bloqueio por partículas de alimentos, além disso, alimentos abrasivos vão gradualmente alargando o bico atomizador, aumentando o tamanho médio das gotículas. Desta forma, a queda de pressão no bico atomizador é um fator determinante para o tamanho da partícula. Em circunstâncias normais este tipo de atomizador alcança uma distribuição de partículas com tamanho de 10 a 600  $\mu\text{m}$  (FELLOWS, 2000; KAREL; LUND, 2003; SMITH; HUI, 2004; HUI, 2006; HELDMAN; LUND, 2007).

Segundo Gharsallaoui et al. (2007), o princípio da secagem por atomização pode ser dividido em quatro processos distintos: atomização; contato da gotícula com o ar quente; evaporação de água das gotículas e separação do produto seco do ar úmido.

*Atomização:* A atomização é a operação mais crítica deste processo de secagem e pode ser realizada por pressão ou por energia centrífuga. O objetivo desta etapa é criar uma superfície de transferência de calor máxima entre o ar de secagem e o líquido a fim de otimizar a transferência de calor e de massa (GHARSALLAOUI et al., 2007).



*Contato da gotícula com o ar quente:* Este contato ocorre durante a atomização e as propriedades dos pós secos produzidos dependem criticamente dos processos físicos que ocorrem durante o contato inicial entre o alimento com o ar quente utilizado para a desidratação (KAREL; LUND, 2003; GHARSALLAOUI et al., 2007;). Fluxos co-corrente, contra-corrente ou mistos (Figura 3) podem ser utilizados durante esta etapa, dependendo do tipo de atomizador utilizado (HUI, 2006). O produto deve ser seco a uma curta distância da saída do atomizador, porque o produto molhado em contato com as superfícies internas do secador constitui um grande problema de limpeza. Desta forma, as taxas de fluxo do produto e do ar e a temperatura do ar de secagem devem ser escolhidos cuidadosamente a fim de garantir a boa qualidade do produto final (SMITH; HUI, 2004).



**Figura 3** Padrões de fluxo de ar em secadores de pulverização. Fonte: Heldman e Lund (2007) Onde: F é alimentação, G é o ar de secagem, S é o sentido do fluxo da atomização e P é o produto final.

*Evaporação de água das gotículas:* Logo após o ar quente entrar em contato com o líquido, a transferência de calor provoca o aumento da temperatura. Depois disso, a evaporação da água das gotículas realiza-se a temperatura constante e o vapor de água a pressão parcial. Neste momento, a taxa de difusão da água a partir do núcleo até a superfície das gotículas é geralmente considerada constante e igual à velocidade de evaporação da superfície. Finalmente, quando o conteúdo de água da gotícula atinge um valor crítico, uma crosta seca é formada na superfície da gotícula e a taxa de secagem



diminui rapidamente tornando-se dependente da taxa de difusão da água através desta crosta. Teoricamente, a secagem termina quando a temperatura da partícula torna-se igual à do ar (GHARSALLAOUI et al., 2007).

*Separação do produto seco do ar úmido:* As partículas secas rodeadas por ar são transportadas pneumáticamente para o equipamento de separação, onde são separadas do ar. As partículas mais densas são recuperadas na base da câmara de secagem, enquanto as partículas mais finas passam através do ciclone e são separadas do ar úmido. Em alguns casos, as partículas são ainda transportadas para etapas suplementares de processamento como, por exemplo, "instantizing" (KAREL; LUND, 2003; GHARSALLAOUI et al., 2007).

Finalmente, o produto seco é armazenado num recipiente selado, a teores de umidade geralmente abaixo de 5%. A qualidade do produto é considerada excelente devido à proteção dos sólidos do produto por arrefecimento evaporativo no secador. Além disso, o tamanho reduzido das partículas sólidas promove uma reconstituição fácil quando o produto é dissolvido em água (SINGH; HELDMAN, 2009).

De acordo com Karel e Lund (2003), o princípio da secagem por atomização parece simples, mas as operações reais estão entre as técnicas de processamento de alimentos mais sofisticadas. Cada uma de suas etapas constitui, na realidade, uma operação de engenharia complicada e delicadamente equilibrada, exigindo o máximo controle.

Embora os atomizadores sejam amplamente utilizados na indústria de alimentos, cada tipo de produto tem o seu próprio conjunto de desafios. A principal limitação da secagem por atomização é a exigência do alimento apresentar-se no estado líquido para assegurar que o mesmo seja bombeado até o atomizador. Isto resulta em custos de energia mais elevados para remover o maior conteúdo de umidade e maiores perdas voláteis (FELLOWS, 2000; HELDMAN; LUND, 2007).

Fellows (2000) e Gharsallaoui et al. (2007) listam as principais vantagens da secagem por atomização, que são secagem rápida, grande escala de produção contínua, custos de operação e de manutenção mais baixos do que a maioria de outros métodos. Além disso, a atomização é a técnica mais comum e mais barata para a produção de alimentos microencapsulados.



### 3.2.2. Secagem de polpa de fruta por atomização

Os produtos alimentares em forma de pó obtidos a partir da secagem por atomização são normalmente convenientes, estáveis, concentrados e naturais. Em geral, as frutas em pó possuem muitas vantagens e potencialidades econômicas sobre os seus homólogos líquidos, tais como volume e peso reduzidos, embalagem reduzida, fácil manuseio e transporte, e a vida de prateleira mais longa (GOULA; ADAMOPOULOS, 2010; REID et al., 2010;).

No entanto, os materiais com elevado teor de açúcar e de ácidos orgânicos, como é o caso das frutas, têm sido especialmente difíceis de secar devido à sua viscosidade e pegajosidade. O comportamento pegajoso deste tipo de alimento é atribuído ao baixo peso molecular tanto dos açúcares quanto dos ácidos orgânicos. Além disso, a elevada higroscopicidade e o baixo ponto de fusão resultam na alta solubilidade em água e num produto altamente viscoso quando seco por atomização. (ADHIKARI et al., 2004; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010).

Durante a atomização, quando a superfície de uma gotícula atinge o estado pegajoso, colisões com qualquer superfície como, por exemplo, as paredes do secador, podem levar à adesão dependendo da velocidade, força, ângulo e tempo de contato. O resultado é considerado negativo tendo em vista que diminui o rendimento do processo (WANG; LANGRISH, 2009; TURCHIULI et al., 2011).

A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), segundo Heldman e Lund (2007), consiste na temperatura de transição de uma substância do estado vítreo para o estado elástico. Cada polímero amorfo, na sua forma pura, possui um ponto de transição vítrea em particular, abaixo do qual ele toma a forma de uma matriz altamente viscosa e amorfa. Neste estado, a difusão é lenta e a água geralmente não está disponível para os processos biológicos. Acima da temperatura de transição vítrea, a substância torna-se semelhante a uma borracha e, embora ainda seja amorfa, é mais flexível, além de possuir difusão mais rápida. Esta modificação estrutural influencia processos físico-químicos e a qualidade dos produtos.

Teoricamente, os problemas de coesão interpartículas ou de aderência das partículas sobre a superfície do secador não existiriam se o tamanho da câmara de



secagem fosse sempre bastante grande. Contudo, devido a fatores econômicos, o tamanho do secador deve ser limitado a uma gama adequada. Portanto, a viscosidade e o problema de deposição precisam ser resolvidos por outros métodos em vez de utilizar uma câmara de secador muito grande (TRUONG; BHANDARI; HOWES, 2005).

Aditivos, tais como xaropes de glicose ou maltodextrina têm sido utilizados para produzir alterações físicas no produto e, conseqüentemente, reduzir a deposição e a aderência de alimentos pegajosos durante a atomização (TRUONG; BHANDARI; HOWES, 2005).

De acordo com Wang e Langrish (2009), estas substâncias utilizadas como auxiliares durante a atomização costumam apresentar uma temperatura de transição vítrea elevada, assim a mistura destes aditivos com os materiais que possuem baixas temperaturas de transição vítrea (material de origem pegajosa) eleva a temperatura de transição vítrea da mistura, bem como a temperatura do ponto de pegajosidade do produto atomizado, minimizando as perdas durante a secagem.

### **3.3. MICROENCAPSULAÇÃO**

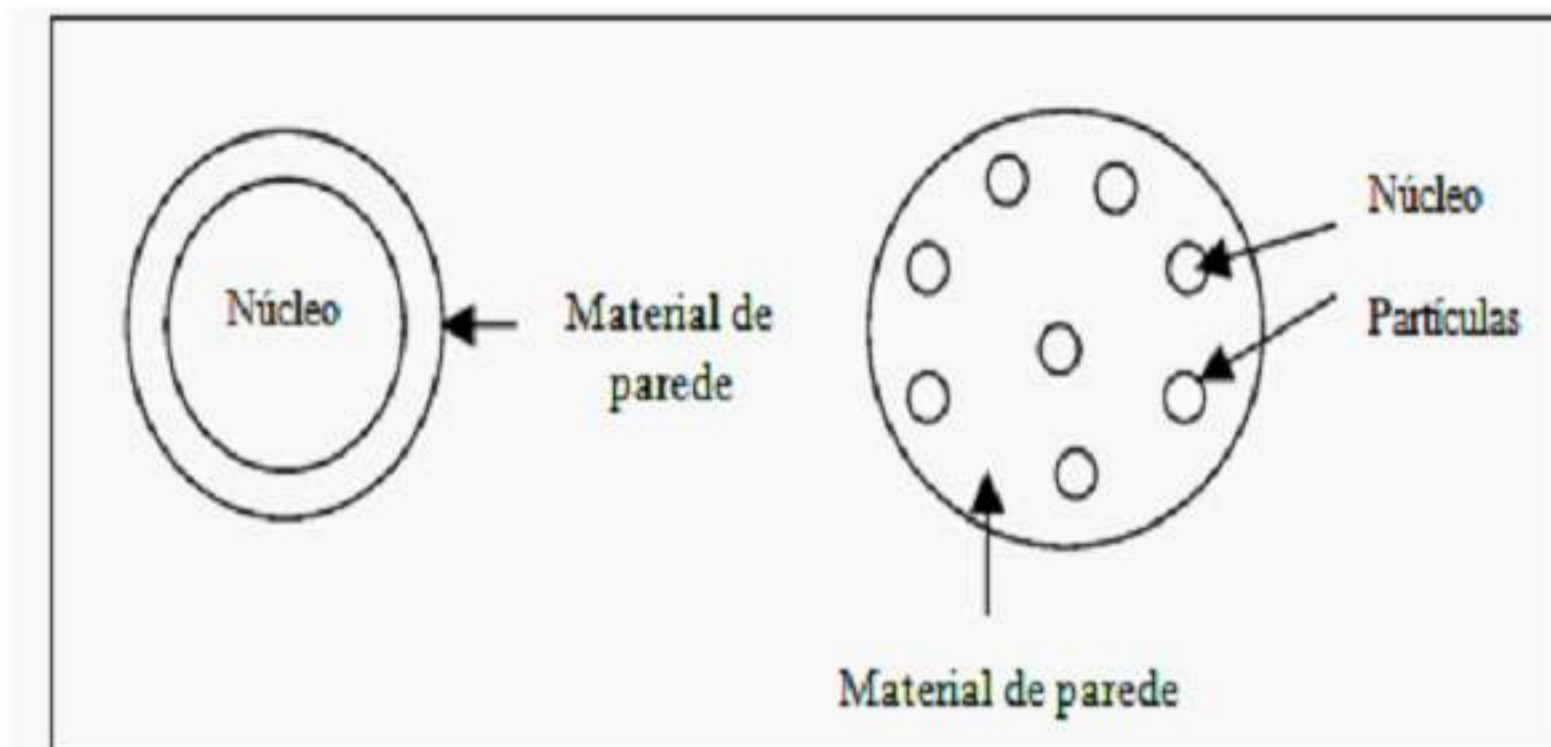
#### **3.3.1. Aspectos gerais**

A tecnologia de microencapsulação tem sido utilizada pela indústria de alimentos há mais de 60 anos, é um processo através do qual um material de núcleo é envolto ou fechado dentro de um invólucro ou revestimento exterior. O termo microencapsulação é frequentemente utilizado quando cápsulas relativamente pequenas (menos de 50 $\mu$ m de diâmetro) são produzidas. A microencapsulação proporciona uma barreira física entre o núcleo do composto e os outros componentes do produto, desta forma, muitos produtos que eram considerados tecnicamente inviáveis para a desidratação agora são possíveis (BRENNAN, 1994; DESAI; PARK, 2005; GHARSALLAOUI et al., 2007).

De acordo com Desai e Park (2005), a arquitetura das microcápsulas pode apresentar dois tipos de estrutura: (1) estrutura mais simples denominada de estrutura de partícula única, onde a esfera é cercada por uma parede ou membrana de espessura uniforme com o núcleo “enterrado” a diferentes profundidades no interior desta parede. (2) estrutura com vários núcleos distintos dentro da mesma microcápsula ou, mais



comumente, numerosas partículas de núcleo embutidas numa matriz contínua de material de parede. Este tipo de concepção é chamada de estrutura global. A Figura 4 apresenta o diagrama esquemático destes dois tipos representativos de microcápsulas.



**Figura 4.** Diagrama esquemático de dois tipos representativos de microcápsulas. Fonte: Desai e Park (2005)

Algumas propriedades das microcápsulas (o mecanismo de composição, de liberação, o tamanho das partículas, a forma física final e os custos) podem ser alteradas a fim de se adequar a aplicação de ingredientes específicos. No entanto, antes de considerar as propriedades desejadas nos produtos encapsulados, a finalidade do encapsulamento deve ser claro (DESAI; PARK, 2005).

A microencapsulação pode potencialmente oferecer inúmeros benefícios para os materiais encapsulados tais como, aumentar o tempo de vida dos ingredientes alimentares atuando como conservantes, controlar a liberação de ingredientes alimentares, melhorar ou aumentar a nutrição, melhorar a conveniência de produtos alimentares, limitar a perda de compostos presentes no alimento e diminuir as alterações oxidativas do material do núcleo, além disso materiais higroscópicos podem ser protegidos da umidade através de microencapsulação, diminuindo a perda por adesão (VERSIC, 1988; DESAI; PARK, 2005).

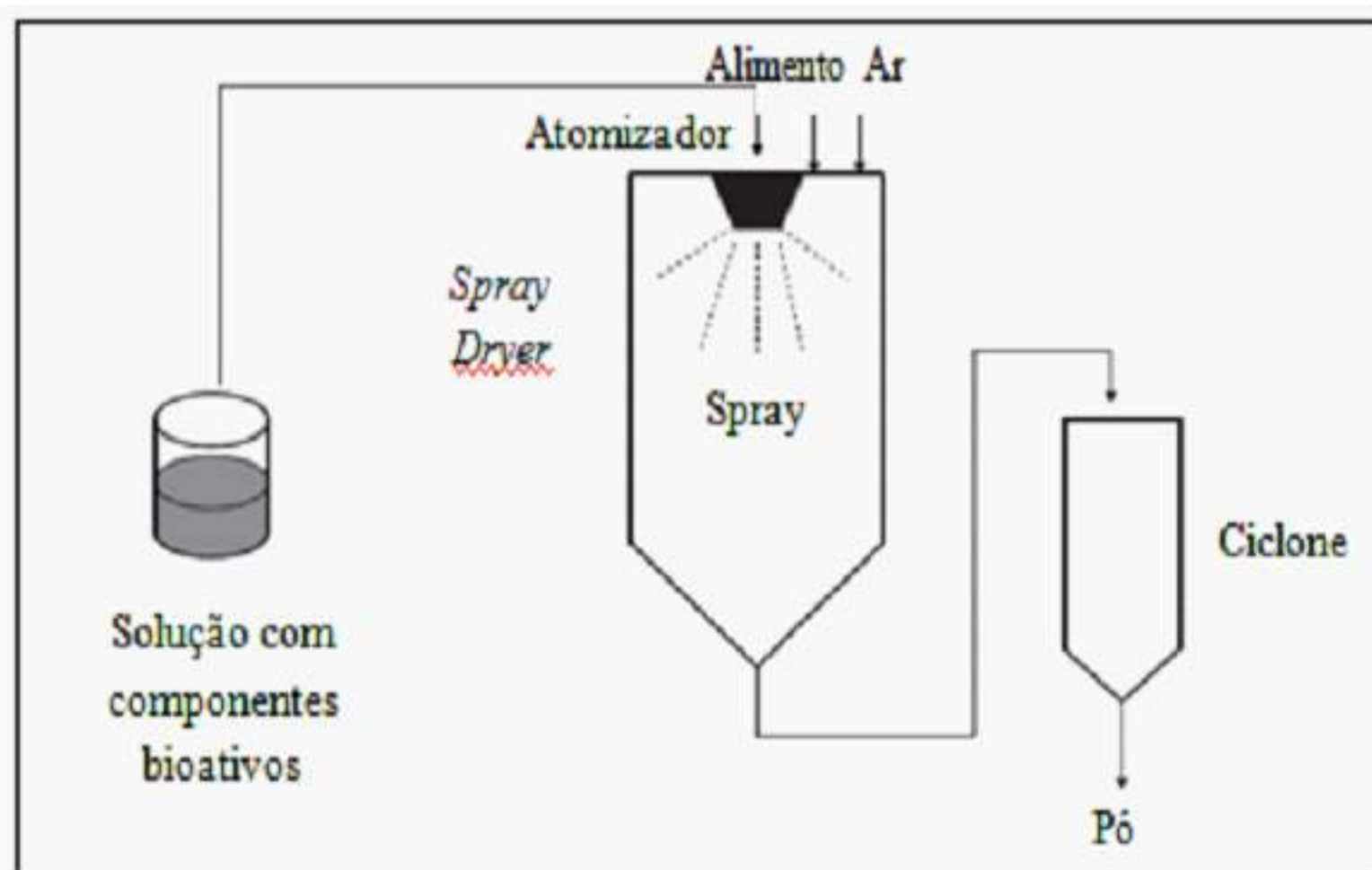
O processo tem sido aplicado a diversos ingredientes alimentares e aplicações importantes de microencapsulação na indústria alimentar envolvem materiais tais como



compostos voláteis, óleos essenciais e oleorresinas (ROSENBERG; KOPELMAN; TALMON, 1990).

Encapsulação de ingredientes alimentares em materiais de revestimento pode ser conseguida por vários métodos, alguns deles são a atomização, *spray cooling* (atomização pelo frio), leite fluidizado, extrusão, liofilização, coacervação e cocrystalização. A seleção do processo de microencapsulação é governada pelas propriedades (física e química) do núcleo e do material de revestimento (DESAI; PARK, 2005).

Dentre as técnicas que podem ser utilizadas para realizar a microencapsulação, a atomização é a mais usada na fabricação de gêneros alimentícios (GHARSALLAOUI et al., 2007). Segundo Vos et al. (2010), o princípio da microencapsulação através da secagem por atomização é a dissolução do núcleo de uma dispersão em um material de matriz escolhido. A dispersão é subsequente atomizada em ar aquecido. Isto promove a remoção rápida do solvente (água). As partículas de pó são então separadas pneumaticamente (Figura 5).



**Figura 5.** Representação esquemática do processo de microencapsulação. Fonte: Vos et al. (2010)



Desai e Park (2005) enumeram algumas vantagens e desvantagens da microencapsulação por atomização, que são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Vantagens e desvantagens da microencapsulação por atomização.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- O processo é econômico;</li> <li>- Flexível, na medida em que oferece variação da matriz de microencapsulação;</li> <li>- Adaptável;</li> <li>- Produz partículas de boa qualidade;</li> <li>- Tem baixo custo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formação de partículas muito finas e nem sempre uniformes;</li> <li>- Uso de altas temperaturas levam a perdas de compostos voláteis.</li> </ul>

### 3.3.2. Agentes carreadores

A composição do agente carreador é o principal determinante das propriedades funcionais da microcápsula e de como ela pode ser utilizada para melhorar o desempenho de um determinado ingrediente (DESAI; PARK, 2005). Para a secagem por atomização, em particular, a escolha do agente carreador é crítica uma vez que influenciará as propriedades de emulsão antes da secagem, a manutenção dos materiais voláteis durante o processo e a vida de prateleira do pó após a secagem (JAFARI et al., 2008).

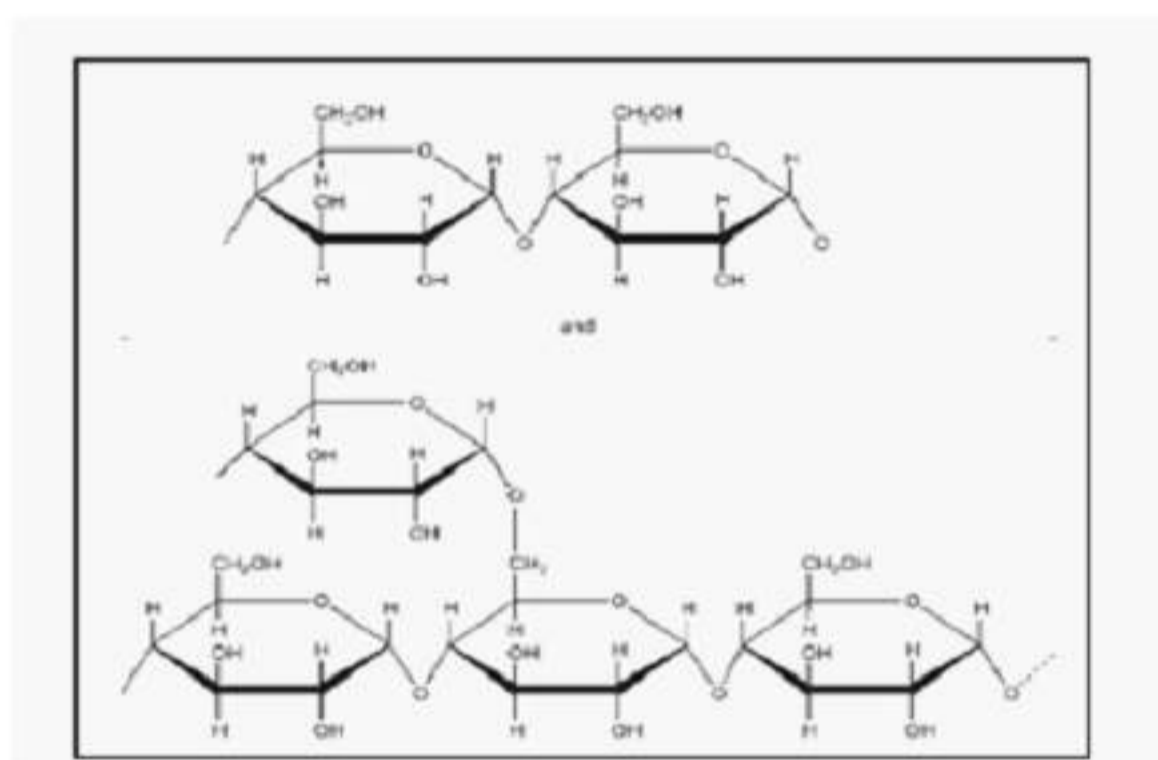
Desai e Park (2005) listam o comportamento ideal que um agente carreador deve apresentar: boas propriedades reológicas; capacidade de selar e segurar o material ativo dentro de sua estrutura durante o processamento ou armazenamento; máxima proteção para o material ativo contra as condições ambientais; solubilidade em solventes aceitáveis na indústria alimentícia; bom custo benefício e possuir status de grau alimentício.

Entre os ingredientes disponíveis, os principais materiais de parede utilizados para aplicações de secagem por pulverização são os hidratos de carbono incluindo os amidos modificados e hidrolisados, derivados de celulose, gomas, e ciclodextrinas; proteínas do soro do leite, incluindo caseinatos, gelatina e novos biopolímeros emergentes tais como produtos da reação de Maillard (JAFARI et al., 2008).



### 3.3.2.1. Maltodextrinas

Em geral, os hidratos de carbono são considerados bons agentes de encapsulação porque exibem viscosidades baixas a elevados teores de sólidos e boa solubilidade. As maltodextrinas, definidas como produtos da hidrólise do amido, constituídas por uma mistura de polímeros que consiste em unidades D-glicose, com dextrose equivalente (DE) inferior a 20. As unidades de D-glicose são unidas por ligações  $\alpha$ -(1,4) e  $\alpha$ -(1,6) (DOKIC-BAUCAL; DOKIC; JAKOVLJEVIC, 2004; GHARSALLAOUI et al., 2007; ROWE; SHESKEY; QUINN, 2009). Sua fórmula geral é  $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$  e a fórmula estrutural é representada na Figura 6.



**Figura 6.** Fórmula estrutural da maltodextrina. Fonte: Rowe, Sheskey e Quinn (2009)

A hidrólise do amido é a clivagem do polímero em fragmentos de cadeia curta, tais como dextrinas e maltose, ou monômeros de glicose. Este tipo de hidrólise é realizada, principalmente, pela utilização de  $\alpha$ -enzimas categorizadas como endoamilases, exoamilases, enzimas desramificadoras ou transferases, pela utilização de produtos químicos ou em combinação (HUI, 2006).

O grau de hidrólise do amido é medido pela dextrose equivalente (DE), que descreve o potencial de conversão do amido. O valor da dextrose equivalente (DE), por sua vez, é expresso em gramas de D-glicose por 100 g de matéria seca e pode ter propriedades muito diferentes, dependendo do processo de hidrólise, da origem botânica do amido (milho, batata, arroz), da razão amilose/amilopectina, entre outras (FELLOWS, 2000; HUI, 2006; ROWE; SHESKEY; QUINN, 2009).



A maltodextrina ocorre como grânulos não açucarados, inodoro e de cor branca. É uma substância altamente digerível, fornece 4 kcal/g (géis de maltodextrina de baixa DE, 1 parte de maltodextrina e 3 partes de água, possuem apenas 1 kcal/g) e se mistura facilmente com outros ingredientes secos. Está disponível em vários graus, com diferentes distribuições de tamanhos das partículas, no máximo 15% maior que 200  $\mu\text{m}$  e no mínimo 80% maior que 50  $\mu\text{m}$  (CHO; PROSKY; DREHER, 1999; ROWE; SHESKEY; QUINN, 2009).

De acordo com Rowe, Sheskey e Quinn (2009), a higroscopicidade, doçura e compressibilidade da maltodextrina aumentam com o aumento da DE. É muito solúvel em água e ligeiramente solúvel em etanol (95%). A solubilidade também aumenta com o aumento da DE. No entanto, a viscosidade das soluções contendo maltodextrina diminui com o aumento da DE. Quando exposta a umidades relativas menores que 50% a maltodextrina é pouco higroscópica. Contudo sua higroscopicidade aumenta de forma não linear se exposta a umidades relativas superiores a 50%.

Devido às suas propriedades reológicas a maltodextrina pode ser usada com diferentes funções, como pode ser visto na Tabela 3.

**Tabela 3.** Usos da maltodextrina.

Uso	Concentração (%)
Revestimento aquoso	2 – 10
Carreador	10 – 99
Inibidor de cristalização para pastilhas e xaropes	5 – 20
Regulador de osmolaridade para soluções	10 – 50
Auxiliar na atomização	20 – 80
Comprimido aglomerante (compressão direta)	2 – 40
Comprimido ligante (granulação úmida)	3 - 10

Fonte: Rowe, Sheskey e Quinn (2009).

No que se refere à sua vida de prateleira a maltodextrina é estável durante pelo menos 1 ano quando armazenada em temperatura inferior a 30°C e sob umidade relativa menor que 50%, acondicionada em recipiente bem fechado, num local fresco e seco (ROWE; SHESKEY; QUINN, 2009).



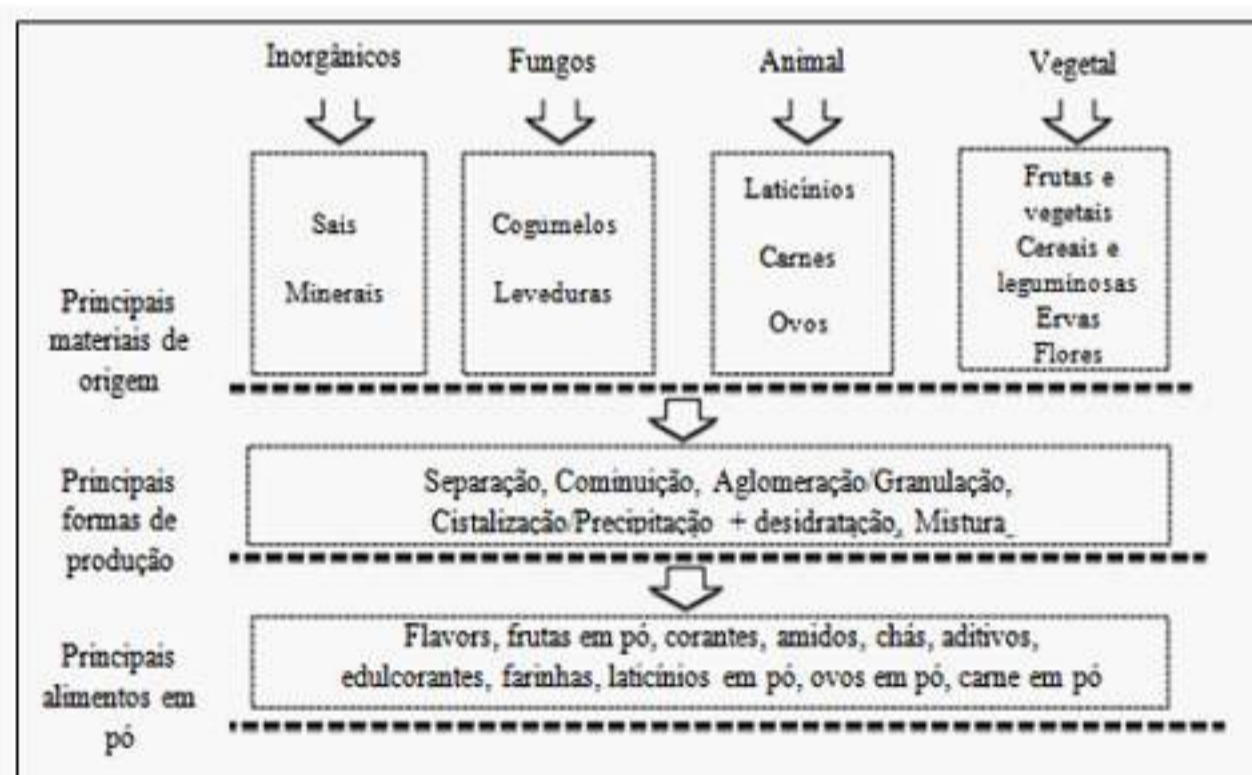
### 3.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE ALIMENTOS EM PÓ

#### 3.4.1. Alimentos em pó: Aspectos gerais

Nos últimos 10 anos, uma grande quantidade de produtos alimentares têm sido desenvolvida e comercializada na forma de pó. Portanto, a tecnologia utilizada nesse tipo de processamento é um problema cada vez mais importante, tanto para os fabricantes de ingredientes de alimentos, quanto para os produtores de alimentos. Como consequência, um novo ramo da ciência e da engenharia pode ser identificado (FITZPATRICK; AHRNÉ, 2005; MURRIETA-PAZOS et al., 2012).

Para a indústria alimentícia, o interesse neste tipo de alimento está, sobretudo, relacionado à sua estabilidade (química e microbiológica), aos custos de transporte reduzidos e à conveniência geral (FITZPATRICK; AHRNÉ, 2005).

Os alimentos em pó podem ser considerados como produtos finais ou como produtos intermediários/ingredientes. No tocante à origem, é possível classificar os pós alimentares da seguinte maneira: pós naturais diretamente resultantes das matérias-primas agrícolas; transformados e formulados em pó e pós funcionais. A Figura 7 apresenta as principais origens dos alimentos em pó (CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011; MURRIETA-PAZOS et al., 2012).



**Figura 7.** Principais origens dos alimentos em pó. Fonte: Cuq, Rondet, Abecassis (2011)



A maioria dos pós alimentares não é diretamente consumida pelos seres humanos. Há sempre uma fase de elaboração preliminar onde o alimento é usualmente misturado com água ou outros líquidos, para produzir formulações molhadas, que são posteriormente processadas para enfim produzir os produtos que são diretamente consumidos (FITZPATRICK; AHRNÉ, 2005; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011).

Cuq, Rondet e Abecassis (2011) descrevem algumas propriedades típicas dos alimentos em pó:

*Propriedades hidrofílicas:* As propriedades hidrofílicas de alguns componentes (por exemplo, açúcares, polissacarídeos, proteínas, etc.) são responsáveis pelo caráter higroscópico dos pós alimentícios. A capacidade dos componentes de estabelecer (ou não) as interações com as moléculas de água define o comportamento dos alimentos em pó em relação à água (molhabilidade, sorção isotérmica, capacidade de re-hidratação, capacidade de absorção de água, etc.).

*Propriedades dos componentes alimentares:* As propriedades de alguns componentes alimentares (por exemplo, açúcares, proteínas, fibras, etc.) são responsáveis pelos mecanismos de solubilização parcial dos componentes localizados na superfície das partículas, contribuindo para o comportamento das partículas durante o umedecimento (aglomeração, solubilização, dispersão, etc.)

*Sensibilidade à temperatura:* A sensibilidade das moléculas alimentares a variações de temperatura resulta em modificações reversíveis ou irreversíveis da estrutura e das propriedades do material. Mecanismos de desnaturação térmica e reticulação de moléculas (proteínas, por exemplo) a uma temperatura elevada induzem modificações irreversíveis da estrutura molecular.

### **3.4.2. Microestrutura**

A microestrutura das partículas tem sido um fator muito importante no que se refere à secagem por atomização. De acordo com Alamilla-Beltrán et al. (2005), é possível deduzir que a identificação de zonas de secagem na câmara, bem como a avaliação do teor de umidade do material durante a desidratação, pode ajudar a propor ligações entre o design do secador e a qualidade do produto, além de estabelecer



analogias entre a secagem das partículas macroscópicas e as operações reais de secagem.

Os alimentos em pó são feitos de moléculas complexas quimicamente elevadas, com vários tipos de organizações moleculares e estruturais, formadas principalmente por átomos de C, H, O e N, que podem ter tamanhos muito diferentes, desde pequenas moléculas até macromoléculas (CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011).

Em geral as moléculas dos alimentos têm a capacidade de estabelecer, entre si e com as moléculas vizinhas, diferentes interações de energia: interação de energia fraca (ligações de hidrogênio, interações hidrofóbicas, interações iônicas) e interação de energia forte (ligações dissulfeto). A força das interações entre as partículas (ou friabilidade) é importante em termos do manuseamento do pó, por exemplo, durante o transporte, armazenagem e após tratamentos complementares, tais como a aglomeração, o re-umedecimento ou a instantaneização (WALTON; MUMFORD, 1999; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011).

Os pós alimentares podem apresentar estruturas cristalinas, amorfas ou mistas (semicristalinas). Alguns exemplos de pós alimentares que apresentam estas estruturas são listados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Estado físico de vários pós alimentares.

<b>Estado físico</b>	<b>Exemplos de pós</b>
Amorfo	Leite, alguns pós do soro de leite, chá e café instantâneo, temperos, queijo, proteínas, dentre outros.
Cristalino	Açúcar refinado, ácidos orgânicos, sais e polióis.
Misto/Semicristalino	Alguns pós do soro de leite, amido em pó, açúcar de confeitiro.

Fonte: Bhandari e Hartel (2005).

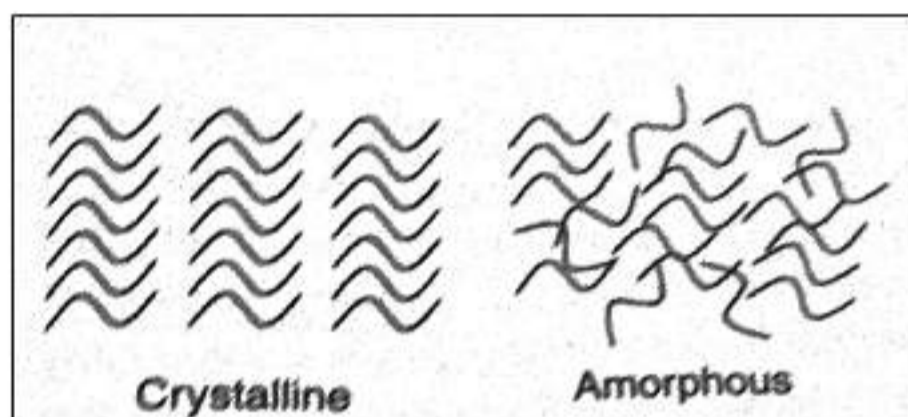
Bhandari e Hartel (2005) descrevem as estruturas cristalinas, amorfas ou mistas:

*Estruturas cristalinas:* As moléculas na forma cristalina encontram-se “bem embaladas” (Figura 8), portanto apenas os grupos que se encontram na superfície externa dos cristais podem interagir com materiais externos, como a água;



*Estruturas amorfas*: Moléculas com a estrutura amorfa são mais emaranhadas, mais abertas e mais porosas (Figura 8), portanto este tipo de molécula possui maior interação externa e, como resultado disso, pode absorver água mais facilmente;

*Estruturas mistas (semicristalinas)*: Este tipo de estrutura pode ser decorrente, por exemplo, de uma temperatura reduzida durante o processamento. As moléculas com estrutura mista possuem tanto características de uma molécula na forma cristalina, quanto de uma molécula na forma amorfa.



**Figura 8.** Representação esquemática das estruturas moleculares cristalina e amorfa. Fonte: Bhandari, Hartel (2005)

A presença destas estruturas também contribui largamente para o comportamento do alimento em pó, em particular durante as alterações no teor de água ou de temperatura. Por exemplo, os pós com estrutura amorfa são mais higroscópicos do que os pós com estrutura cristalina (BHANDARI; HARTEL, 2005; CUQ; RONDET; ABECASSIS, 2011).

### 3.4.3. Propriedades de partícula

As propriedades das partículas podem ter uma grande influência sobre a produção, a manipulação e as operações de processamento. Tais propriedades resultam de características como densidade, solubilidade e morfologia da partícula.

A capacidade de controlar tais características é uma grande vantagem do processo de secagem por atomização em relação a outros métodos de secagem, especialmente quando se trata de alto desempenho (alto volume, baixo custo) e produtos de consumo. As propriedades funcionais deste tipo de alimento determinam ainda sua capacidade de manuseamento, armazenamento e transporte (WALTON; MUMFORD, 1999; NIJDAM; LANGRISH, 2006).



No entanto, segundo Cuq, Rondet e Abecassis (2011), a descrição das características dos alimentos em pó não é uma tarefa trivial, pois são sistemas complexos, compostos por uma grande dispersão de suas propriedades causada pela: complexidade da composição química das matérias-primas; heterogeneidade das estruturas nativas do produto; reatividade em condições de temperatura elevada ou de adição de água; e variabilidade do comportamento de cada material.

#### **3.4.3.1. Densidade, solubilidade e morfologia de partícula de alimentos em pó**

Segundo Barbosa-Cánovas e Juliano (2005), a densidade é fundamental para o estudo de propriedades de um material atomizado, em processos industriais, no ajuste das condições de estocagem, durante o processamento, na embalagem e na distribuição. A densidade é definida como a unidade de massa por unidade de volume, mensurada em g/mL.

Os referidos autores diferenciam ainda densidade aparente e densidade de partícula. A densidade aparente de pós alimentares é determinada pela densidade da partícula sólida, por sua porosidade interna e também pelo arranjo das partículas no recipiente. Desta forma, a densidade aparente inclui o volume de materiais sólidos e líquidos, e de todos os poros fechados ou abertos presentes na atmosfera circundante. Enquanto a densidade de partícula inclui apenas a densidade da partícula sólida e os poros internos sem conexão com a atmosfera.

Enquanto a solubilidade se refere à taxa e extensão à qual os componentes das partículas do pó se dissolvem na água. Isto depende principalmente da composição química do pó e do seu estado físico (BARBOSA-CÁNOVAS; JULIANO, 2005). De acordo com Cano-Chauca et al. (2005), problemas de solubilidade podem ocorrer quando alimentos são submetidos a altas temperaturas, especialmente em produtos com alta concentração de sólidos, como é o caso da atomização de frutas.

No tocante à morfologia, de acordo com Walton e Mumford (1999), existem três tipos morfológicos de partícula:

*Aglomerado*: Partícula composta de grãos individuais ligados entre si por um pó sub-micron, ou seja, material inferior a 1  $\mu$ m de diâmetro.



*Formador de película (Skin forming)*: Uma partícula constituída por uma fase não líquida contínua, de natureza polimérica ou sub-microcristalina.

*Cristalino*: Estrutura composta de grandes núcleos de cristais individuais ligadas entre si por uma fase microcristalina contínua.

Os autores afirmam ainda que a morfologia das partículas também apresenta ligação com sua solubilidade em água. Desta forma, materiais prontamente solúveis em água tendem a apresentar morfologia cristalina, enquanto materiais insolúveis ou parcialmente solúveis tendem a formar estruturas aglomeradas.

Vários métodos podem ser aplicados para a análise da morfologia de partícula, sendo a microscopia eletrônica de varredura (MEV) o método mais utilizado. A MEV tem uma maior profundidade de foco do que a microscopia de luz, por exemplo (ALAMILLA-BELTRÁN et al. 2005).

### **3.5. POTENCIAL ANTIOXIDANTE E COMPOSTOS FENÓLICOS**

O oxigênio é reconhecido como o principal agente responsável pela deterioração de materiais orgânicos expostos ao ar e, em determinadas circunstâncias, a produção cumulativa de suas espécies reativas (EROs) torna-se, também, agentes destruidores e tóxicos para as células (DURÁN; PADILLA, 1993).

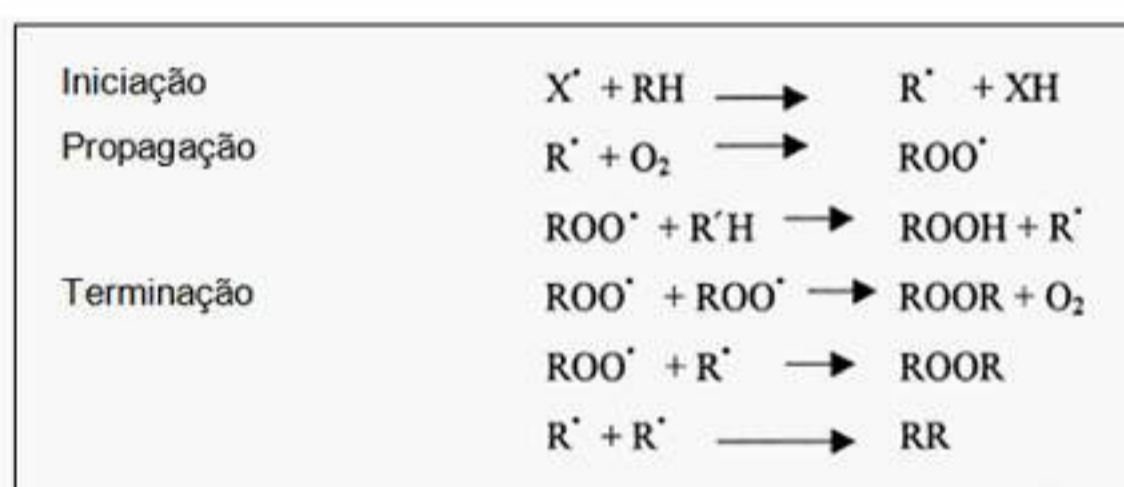
As EROs são espécies químicas, altamente reativas, que têm um número ímpar de elétrons em sua última camada eletrônica. Estas moléculas de tempo de vida bastante curto, interagem rapidamente com proteínas, lipídeos, carboidratos e ácidos nucleicos, promovendo a perda da função destes compostos de modo total ou parcial, podendo afetar o metabolismo celular. O organismo, porém, dispõe de mecanismos de defesa contra os danos causados pelas EROs que são constituídos por sistemas enzimáticos e não enzimáticos que agem de forma conjunta e dinâmica. No entanto, quando ocorre produção excessiva de radicais livres (EROs) pelo organismo, suplantando o sistema de defesa instala-se o estresse oxidativo que está relacionado às doenças crônicas degenerativas não transmissíveis (CERQUEIRA; MEDEIROS; AUGUSTO, 2007).

Nos alimentos o oxigênio é responsável pela degradação oxidativa dos lípidios, iniciada pelo oxigênio ativo e por outras espécies relacionadas, bem como por agentes



exógenos (UV, ionização, calor, radiação) (POKORNY; YANISHLIEVA; GORDON, 2001). É um processo lento que ocorre em cadeia e inclui as etapas de indução, de propagação e de terminação (BRAND-WILLIANS; CUVELIER; BERSET, 1995).

Durante o período de iniciação/indução, radicais alquils são formados e reagem com as moléculas de oxigênio formando hidroperóxidos e peróxidos durante a fase de propagação. O processo de terminação ocorre devido à associação de dois radicais para formar uma molécula mais estável (BRAND-WILLIANS; CUVELIER; BERSET, 1995). A Figura 9 apresenta o mecanismo da autoxidação lipídica.



**Figura 9.** Esquema geral da autoxidação lipídica. Fonte: Pokorny; Yanishlieva; Gordon (2001)

De acordo com Pokorny, Yanishlieva e Gordon (2001), os radicais produzidos pela decomposição do hidroperóxido podem causar danos às proteínas, incluindo enzimas, ou ao DNA, podendo gerar também substâncias cancerígenas. No entanto, os antioxidantes contidos nos alimentos são importantes porque, além de preservar os alimentos, exercem capacidade antioxidante in vivo.

Os antioxidantes presentes em alimentos podem ser definidos como qualquer substância capaz de adiar, retardar ou impedir o desenvolvimento de ranço ou a deterioração causada devido à oxidação. De acordo com a sua ação, os antioxidantes podem ser classificados em antioxidante primário e secundário. Os antioxidantes primários atuam interrompendo a reação em cadeia por meio da doação de elétrons ou hidrogênios aos radicais livres e/ou formando complexo lipídio-antioxidante. Os antioxidantes secundários atuam retardando a etapa de iniciação da autoxidação, por diferentes mecanismos que incluem a complexação de metais, sequestro de oxigênio, decomposição de hidroperóxidos para formar espécies não radical, absorção da radiação



ultravioleta ou desativação de oxigênio singlete (POKORNY; YANISHLIEVA; GORDON, 2001; ANGELO; JORGE, 2007).

Os polifenóis são os antioxidantes mais abundantes em nossa dieta, encontram-se amplamente distribuídos em frutas, legumes, cereais, azeite, legumes secos, chocolate e bebidas, como café, chá e vinho. Compreendem uma grande variedade de moléculas com vários grupos hidroxila em anéis aromáticos, mas também moléculas com um anel de fenol. Estão divididos em várias classes de acordo com o número de anéis de fenol e com os elementos estruturais que ligam estes anéis uns aos outros. Seus principais grupos são: flavonóides, ácidos fenólicos, estilbenos e lignanas (D'ARCHIVIO et al., 2007).

Os compostos fenólicos são extremamente diversificados e formam uma das principais classes de metabólitos secundários, com uma grande variedade de estruturas e funções. São biologicamente ativos e podem ser encontrados naturalmente em alimentos de origem vegetal, contribuindo muito com o sabor, a cor e a textura destes alimentos (ROBARDS et al., 1999; POKORNY; YANISHLIEVA; GORDON, 2001; BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAN, 2006).

A estrutura dos compostos fenólicos é um fator determinante para a sua capacidade de sequestrar radicais, por exemplo, a capacidade antioxidante aumenta em função do grau de hidroxilação, como ocorre com o ácido gálico trihidroxilado, que mostra uma alta ação antioxidante. No entanto, a substituição dos grupos hidroxil na 3<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> posição por grupos metoxil, como no ácido siríngico tem o efeito inverso, reduzindo a ação antioxidante (RICE-EVANS; MILLER; PAGANGA, 1996; BALASUNDRAM; SUNDRAM; SAMMAN, 2006).

Robards et al. (1999) afirmam que os compostos fenólicos são funcionais em concentrações relativamente baixas, enquanto que, em concentrações mais elevadas podem comportar-se como pró-oxidantes. A ação de compostos fenólicos como antioxidantes é vista como algo benéfico tanto para os alimentos quanto para o organismo humano, onde os compostos fenólicos são oxidados a outros constituintes alimentares ou a componentes celulares e tecidos.

As plantas da Caatinga têm demonstrado interessantes propriedades anti-inflamatória, cicatrizante e antioxidante que estão aparentemente relacionadas aos

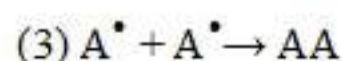
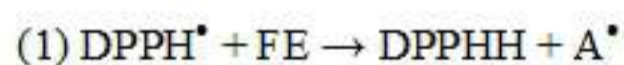


seus compostos fenólicos (ARAÚJO et al., 2008). Almeida et al. (2011) determinaram o teor de compostos fenólicos de algumas frutas do Nordeste do Brasil, dentre elas o umbu, cujo teor de compostos fenólicos (44,6 mg GAE/100g), classificado como moderado, estando correlacionado à capacidade antioxidante total apresentada por este fruto.

Segundo Pokorny, Yanishlieva e Gordon (2001) a capacidade antioxidante depende de muitos fatores, tais como a composição lipídica do alimento, a concentração do antioxidante, a temperatura, a pressão de oxigênio, e a presença de outros antioxidantes e de outros componentes presentes nos alimentos. O poder de sequestro do radical é o principal mecanismo pelo qual os antioxidantes atuam em alimentos. De acordo com Almeida et al. (2011), vários métodos são usados para medir a capacidade antioxidante de um material biológico. Os mais frequentemente utilizados são o 1,1-difenil-2-picrilhidrazina (DPPH) e o 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS<sup>•+</sup>).

O teste de DPPH baseia-se na redução do radical DPPH<sup>•</sup> promovida pela transferência de hidrogênio e/ou elétrons de um composto antioxidante para o radical, com conseqüente perda da coloração púrpura da solução de DPPH. O grau do descoloramento desta solução é monitorado espectrofotometricamente e possibilita avaliar a habilidade do composto em sequestrar o radical (BRAND-WILLIAMS; CUVELIER; BERSET, 1995).

De acordo com Rufino et al. (2009), a captura do DPPH<sup>•</sup> por sequestradores de radicais pode ser resumida nas seguintes expressões:



Onde: FE é um composto antioxidante e A é um radical.

Pokorny, Yanishlieva e Gordon (2001) afirmam que a reação rápida do radical DPPH ocorre com alguns fenóis, no entanto reações secundárias mais lentas podem causar uma diminuição progressiva da absorvância, de modo que o estado de equilíbrio pode ser alcançado após várias horas. A maioria dos trabalhos em que o método DPPH



é usado relata que o maior percentual de sequestro do radical DPPH ocorre depois de 15 ou 30 min de tempo de reação. Os dados são comumente reportados como  $EC_{50}$ , que é a concentração de antioxidante necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do DPPH.

O ensaio original de ABTS<sup>•+</sup> foi baseado na ativação da metamioglobina com peróxido de hidrogênio na presença de ABTS para produzir o radical cátion, na presença ou ausência de antioxidantes. Contudo, o método de geração do radical tem sofrido alterações desde que o primeiro método foi descrito. Atualmente, utiliza-se persulfato de potássio para oxidar o ABTS, gerando o radical, e os resultados são expressos em capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC). (RE et al., 1999; POKORNY; YANISHLIEVA; GORDON, 2001).

Segundo Re et al. (1999), a adição de antioxidantes ao radical cátion pré-formado o reduz a ABTS, promovendo o descolorimento da solução, cujo grau é monitorado por espectrofotometria e está relacionado à concentração do antioxidante. Esses autores afirmam, ainda, que o método é aplicável para o estudo de antioxidantes solúveis em água e em lipídeos, bem como para compostos puros, e extratos de alimentos.

Os métodos acima mencionados são úteis para avaliar o potencial antioxidante de um composto ou alimento, no entanto, se faz necessário incluir outros métodos *in vitro* e *in vivo* para avaliar a ação antioxidante, tendo em vista que os compostos antioxidantes atuam por diferentes mecanismos, além de uma variedade de fatores, incluindo a polaridade, a solubilidade e a atividade metal-quelante, influenciarem na sua ação (POKORNY; YANISHLIEVA; GORDON, 2001).

### **3.6. ANÁLISE SENSORIAL**

O domínio da avaliação sensorial cresceu rapidamente na segunda metade do século XX, juntamente com a expansão dos alimentos processados. Assim, as técnicas de avaliação sensorial são utilizadas por muitas indústrias e são essenciais para o desenvolvimento, produção e manutenção da qualidade de produtos alimentares, produtos de higiene pessoal, produtos domésticos, têxteis, farmacêuticos, dentre outros (LAWLESS; HAYMANN, 2010; CIVILLE; OFTEDAL, 2012).



A avaliação sensorial é definida como a ciência que engloba todos os métodos para medir, analisar e interpretar as respostas humanas às propriedades dos alimentos e de diversos materiais, respostas essas percebidas pelos cinco sentidos: paladar, olfato, tato, visão e audição (CIVILLE; OFTEDAL, 2012).

Existem muitos testes sensoriais e uma infinidade de situações em que estes testes podem ser aplicados. Desta forma, a avaliação sensorial pode ser dividida em duas categorias: objetiva e subjetiva. Na avaliação objetiva, os atributos sensoriais de um produto são avaliados por um painel selecionado e treinado (testes descritivos e discriminativos). Enquanto na avaliação subjetiva, as reações dos consumidores às propriedades sensoriais dos produtos são mensuradas (KEMP; HOLLOWOOD; HORT, 2009).

A avaliação subjetiva compreende a classe de testes sensoriais denominados de testes afetivos, que quantificam o grau de aceitação ou de preferência do consumidor em relação a um determinado produto. Este tipo de avaliação é influenciada pela mente e por um conjunto de sentimentos subjetivos do indivíduo, tem caráter quantitativo e costuma ser realizada com um número grande de indivíduos, entre 50 e 100 possíveis consumidores do produto (LAWLESS; HAYMANN, 2010; STONE; SIDEL, 2004).

A preferência e a aceitação dos indivíduos, com relação a um produto, são efeitos relacionados, mas não equivalentes. Assim, o teste de preferência implica em estabelecer uma forma de hierarquia, mas não quer dizer necessariamente que o consumidor gosta do produto, ao passo que os testes de aceitação dão uma indicação da magnitude do nível de aceitação do produto. Por outro lado, a intenção de compra configura o desejo de adquirir ou não o produto analisado. Nem sempre um produto aceito ou apontado como preferido se torna um produto que o consumidor pretenda adquirir (KEMP; HOLLOWOOD; HORT, 2009; WICHCHUKIT; MAHONY 2011).

Os dois métodos mais utilizados para medir diretamente a preferência, a aceitação e a intenção de compra de um produto são o teste de comparação pareada (preferência) e a escala hedônica (aceitação e intenção de compra). Outros métodos são descritos na literatura, mas muitos deles são apenas modificações destes dois métodos (STONE; SIDEL, 2004).



Em seu estudo sobre testes de aceitação, de intenção de compra e de preferência para diferentes graus de disparidade hedônica, Wichchukit e Mahony (2011) afirmam que a previsão exata da aceitação de um produto no mercado é muito importante. Assim, uma maneira de prever a aceitação e intenção de compra de determinado produto seria dar aos consumidores a oportunidade de prová-lo na loja onde está sendo comercializado e, em seguida, monitorar o comportamento de compra ao longo do tempo.

No entanto, este método seria inviável para a maioria das pesquisas, pelo fato de demandar longos períodos de tempo. Desta forma, os referidos autores, fizeram uso de escala hedônica para avaliar a aceitação e a intenção de compra em seu estudo com batatas *chips*. Entretanto, a fim de obter maiores informações, ao término da avaliação os consumidores foram apresentados com duas fileiras de sacos de *chips* usados no teste, eles poderiam tirar dois sacos do mesmo tipo de batata (indicando sua preferência por este produto), um de cada tipo (indicando que gostou dos dois produtos), ou mesmo nenhum (indicando a rejeição aos produtos analisados).

Com relação ao teste de comparação pareada para o método de preferência, Stone e Sidel (2004) afirmam que a pesquisa de mercado tem feito bastante uso do mesmo, pelo fato que este teste elimina a transitividade, e pela facilidade com que diferentes hipóteses de comercialização podem ser avaliadas.

O teste de comparação pareada pode envolver um ou mais pares de produtos. O método requer que o julgador indique um dos dois produtos codificados como o seu preferido. Contudo, uma opção frequentemente utilizada permite a inclusão da alternativa "sem preferência". No entanto, a abordagem da escolha forçada ainda é recomendada, uma vez que retém mais poder estatístico. Além disso, muitos consumidores ainda estão susceptíveis a utilizar a opção "nenhuma preferência" como um meio para evitar "dar a resposta errada", ou, como uma opção mais fácil do que fazer uma escolha, apesar de ter uma preferência (STONE; SIDEL, 2004; KEMP; HOLLOWOOD; HORT, 2009).

O teste de preferência geralmente é um teste bicaudal, porque, a priori, não se tem conhecimento quanto ao produto que é preferido. No entanto, há situações em que o



único interesse é a preferência por um dos produtos, sendo assim, a análise será baseada em um teste unicaudal (STONE; SIDEL, 2004).

Se o teste de preferência necessita de, no mínimo, duas amostras para que o consumidor possa eleger a sua preferida, o teste de aceitação não necessita de uma escolha entre alternativas. Em teoria, a escala de aceitação pode ser realizada com um único produto, no entanto um teste de aceitação realizado sob tais condições, além de não ser muito informativo, carece de qualquer base para fazer comparações (LAWLESS; HAYMANN, 2010).

Da perspectiva da avaliação sensorial o teste de aceitação deve ter um significado específico, apresentando o objetivo do teste, como será feito, quem participará e como os resultados serão usados. A escala hedônica que mede o apelo sensorial de um produto tem vantagens distintas sobre uma tarefa de simples escolha, como no caso do teste de preferência. Em um teste de preferência, o consumidor poderia, por exemplo, simplesmente não gostar de ambos os produtos e escolher o menos ofensivo. Neste caso, obviamente, não seria uma boa ideia produzir ou tentar comercializar um produto sob tais condições (STONE; SIDEL, 2004; LAWLESS; HAYMANN, 2010).

De acordo com Kemp, Hollowood e Hort (2009), um problema oriundo do uso de escala hedônica é que alguns indivíduos estão propensos a dar normalmente uma pontuação alta sem devida análise da amostra. O mesmo pode ocorrer para notas baixas ou medianas. Visando minimizar erros deste tipo, em alguns casos, uma amostra fictícia é inserida entre as amostras reais durante o teste de aceitação. Essa amostra deve ser semelhante ao conjunto de amostras reais, no entanto, seus dados são descartados.

Os dados gerados a partir de uma escala de aceitabilidade incluem uma série de declarações verbais que tornam possível mensurar quanto o consumidor gosta de determinado produto, ou mesmo fazer comparações entre as pontuações atribuídas aos produtos. Desta forma, para a avaliação sensorial, o uso de escala hedônica é bastante informativo. No entanto, os pesquisadores determinam as médias hedônicas para cada produto e, em seguida, avaliam se existem diferenças significativas entre os produtos. As informações adicionais sobre diferenças entre os produtos analisados são obtidas a



partir da análise de variância (ANOVA) e de testes de média para cada atributo avaliado (STONE; SIDEL, 2004; KEMP; HOLLOWOOD; HORT, 2009).

Diante do exposto e ciente de que a satisfação ou não do consumidor pode interferir nas decisões de compra, a utilização da análise sensorial é de suma importância para a indústria alimentícia, não apenas pelo fato de avaliar um novo produto junto ao consumidor, mas também porque permite a caracterização de diferenças e semelhanças entre produtos, a otimização de atributos como aparência, cor, aroma, sabor e textura, bem como avaliar possíveis alterações sensoriais que podem ocorrer durante o armazenamento de um alimento.



#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B.R.; TROUNG, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: Experiments and modeling. **Journal of Food Engineering**, v.62, p. 53–68, 2004.

ALAMILLA-BELTRÁN, L.; CHANONA-PÉREZ, J.J.; JIMÉNEZ-APARICIO, A.R.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G.F. Description of morphological changes of particles along spray drying. **Journal of Food Engineering**, v.67, p. 179–184, 2005.

ALBUQUERQUE, U.P.; MEDEIROS, P.M.; ALMEIDA, A.L.S.; MONTEIRO, J.M.; NETO, E.M.F.L.; MELO, J.G.; SANTOS, J.P. Medicinal plants of the *caatinga* (semi-arid) vegetation of NE Brazil: A quantitative approach. **Journal of Ethnopharmacology**, v.114, p. 325–354, 2007.

ALMEIDA, M.M.B.; SOUSA, P.H.M.; ARRIAGA, Â.M.C.; PRADO, G.M.; MAGALHÃES, C.E.C.; MAIA, G.A.; LEMOS, T.L.G. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. **Food Research International**, v.44, p. 2155-2159, 2011.

ANGELO, P.M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos: Uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, p. 1-9, 2007.

ARAÚJO, T.A.S.; ALENCAR, N.L.; AMORIM, E.L.C.; ALBUQUERQUE, U.P. A new approach to study medicinal plants with tannins and flavonóides contents from the local knowledge. **Journal of Ethnopharmacology**, v.120, p. 72-80, 2008.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v.99, p. 191–203, 2006.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. 39-71 p.



BARRETO, L.S.; CASTRO, M.S. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do umbu**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010. 64 p.

BHANDARI, B.R.; HARTEL, R.W. Phase transitions during food powder production and powder stability. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. 215-245 p.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**, v.28, p. 25-30, 1995.

BRENNAN, JG. **The dehydration of foods: a dictionary and guide**. United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 1994. 189 p.

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

CERQUEIRA, F.M.; MEDEIROS, M.H.G.; AUGUSTO, O. Antioxidantes dietéticos: controvérsias e perspectivas. **Química Nova**, v.30, p.441-449, 2007.

CIVILLE, G.V.; OFTEDAL, K.N. Sensory evaluation techniques - Make “good for you” taste “good”. **Physiology & Behavior**, v. 107, p. 598–605, 2012.

CHO, S.S.; PROSKY, L.; DREHER, M. **Carbohydrates in foods**. Nova York: Marcel Dekker, 1999. 676 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. **Umbu (fruto)**. Goiás, 2010.

COSTA, N.P.; BRUNO, R.L.A.; SOUZA, F.X.; LIMA, E.D.P.A. Efeito do estágio de maturação do fruto e do tempo de Pré-embebição de endocarpos na germinação de sementes de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, p. 738-741, 2001.



CUQ, B.; RONDET, E.; ABECASSIS, J. Food powders engineering, between knowhow and science: Constraints, stakes and opportunities. **Powder Technology**, v.208, p. 244–251, 2011.

D'ARCHIVIO, M.D.; FILESI, C.; BENEDETTO, R.D.; GARGIULO, R.; GIOVANNINI, C.; MASELLA, R. POLYPHENOLS, Dietary sources and bioavailability. **Annali del'Instituto Superiore di Sanità**, v.43, p. 348-361, 2007.

DESAI, K.G.H.; PARK, H.J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**, v.23, p. 1361–1394, 2005.

DOKIC-BAUCAL, L.; DOKIC, P.; JAKOVLJEVIC, J. Influence of different maltodextrins on properties of O/W emulsions. **Food Hydrocolloids**, v.18, p. 233–239, 2004.

DUQUE, J.G. **Perspectivas Nordestinas**. 2<sup>a</sup> ed., Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2004. 424 p.

DURAN, M.; PADILLA, R.B. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos. **Instituto de la Grasa y sus Derivados (C.S.I.C)**, v.44, Fasc. 2. 1993.

FELLOWS, P. **Food processing technology Principles and Practice**. 2<sup>a</sup> ed., Boca Raton: CRC Press, 2000. 575 p.

FITZPATRICK, J.J.; AHRNÉ, L. Food powder handling and processing: Industry problems, knowledge barriers and research opportunities. **Chemical Engineering and Processing**, v.44, p. 209–214, 2005.

GALVÃO, M.S.; NARAIN, N.; SANTOS, M.S.P.; NUNES, M.L. Volatile compounds and descriptive odor attributes in umbu (*Spondias tuberosa*) fruits during maturation. **Food Research International**, v.44, p. 1919–1926, 2011.

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, p. 1107-1121, 2007.



GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.11, p. 342–351, 2010.

HELDMAN, D.R.; LUND, D.B. **Handbook of Food Engineering**. 2<sup>a</sup> ed., Boca Raton: CRC Press, 2007. 1023 p.

HUI, Y.H. **Handbook of food science, technology and engineering**. v. 1, Boca Raton: CRC Press, 2006. 3618 p.

HUI, Y.H. **Handbook of fruit and vegetable flavors**. Nova Jersey: Wiley, 2010. 1095 p.

JAFARI, S.M.; ASSADPOOR, E.; HE, Y.; BHANDARI, B. Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Drying. **Drying Technology**, v.26, p. 816–835, 2008.

JENSEN, S.J.K. Oxidative stress and free radicals. **Journal of Molecular Structure (Theochem)**, v.666–667, p. 387–392, 2003.

KAREL, M.; LUND, D.B. **Physical principles preservation of food**. 2<sup>a</sup> ed., New York: Marcel Dekker, 2003. 630 p.

KEMP, S.E.; HOLLOWOOD, T.; HORT, J. Sensory evaluation: A practical handbook. United Kingdom: Wiley-Blackwell. 2009. 196 p.

LAWLESS, H.T.; HEYMANN, H. **Sensory evaluation of food: Principles and practices**. 2<sup>a</sup> ed., New York: Springer. 2010. 596 p.

MURRIETA-PAZOS, A.I.; GAIANIA, C.; GALETB, L.; CALVETB, R.; CUQC, B.; SCHERA, J. Food powders: Surface and form characterization revisited. **Journal of Food Engineering**, v.112, p. 1–21, 2012.

NARAIN, N.; BORA, P.S.; HOLSCHUH, H.J.; VASCONCELOS, M.A.S. Variation in physical and chemical composition during maturation of umbu (*Spondias tuberosa*) fruits. **Food Chemistry**, v.44, 255-259, 1992.



NIJDAM, J.J.; LANGRISH, T.A.G. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v.77, p. 919–925, 2006.

POKORNY, P.; YANISHLIEVA, N.; GORDON, M. **Antioxidants in food: Practical applications**. Nova York: CRC Press, 2001. 380 p.

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.

RICE-EVANS, C.A.; MILLER, N.J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology & Medicine**, v.20, n.7, p. 933-956, 1996.

ROBARDS, K.; PRENZLERA, P.D.; TUCKER, G.; SWATSITANG, P.; GLOVER, W. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. **Food Chemistry**, v.66, p. 401- 436, 1999.

ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I.J.; TALMON, J. Y. Factors Affecting Retention in Spray-Drying Microencapsulation of Volatile Materials. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v.38, p. 1288-1294, 1990.

ROWE, R.C.; SHESKEY, P.J.; QUINN, M.E. **Handbook of pharmaceutical excipients**. 6<sup>a</sup> ed., Londres: Pharmaceutical Press, 2009. 888 p.

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<sup>•</sup> system. **Food Chemistry**, v.114, p. 693–695, 2009.

SILVA, C.M.M.S.; PIRES, I.E.; SILVA, H.D. **Caracterização dos frutos do umbuzeiro**. Petrolina, Boletim de pesquisa, n<sup>o</sup> 34, 1987.

SINGH, R.P.; HELDMAN, D.R. **Introduction to Food Engineering**. 4<sup>a</sup> ed., London: Academic Press is an imprint of Elsevier. 2009. 841 p.



SMITH, J.S.; HUI, Y.H. **Food Processing Principles and Applications**. Iowa: Blackwell Publishing, 2004. 511 p.

STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory evaluation practices**. 3<sup>rd</sup> ed., London: Academic Press is an imprint of Elsevier, 2004. 408 p.

TRUONG, V.; BHANDARI, B.R.; HOWES, T. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I—Moisture and glass transition temperature profile during drying. **Journal of Food Engineering**, v.71, p. 55–65, 2005.

TURCHIULI, C.; GIANFRANCESCO, A.; PALZER, S.; DUMOULIN, E. Evolution of particle properties during spray drying in relation with stickiness and agglomeration control. **Powder Technology**, v.208, p. 433–440, 2011.

USHIKUBO, F.Y.; WATANABE, A.P.; VIOTTO, L.A. Microfiltration of umbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) juice. **Journal of Membrane Science**, v.288, p. 61–66, 2007.

VERSIC, R.J. Flavor encapsulation: An overview. In Risch, S.J.; Reineccius, G.A. **Flavor Encapsulation**. Washington: American Chemical Society, 1988. 1-6 p.

VOS, P.; FAAS, M.M.; SPASOJEVIC, M.; SIKKEMA, J. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. **International Dairy Journal**, v.20, p. 292–302, 2010.

WALTON, D.E.; MUMFORD, C.J. Spray dried products - Characterization of particle morphology. **IChem<sup>E</sup>**, v.77, p. 21-38, 1999.

WANG, S.; LANGRISH, T. A review of process simulations and the use of additives in spray drying. **Food Research International**, v.42, p. 13–25, 2009.

WICHCHUKIT, S.; O'MAHONY, M. 'Liking', 'Buying', 'Choosing' and 'Take Away' preference tests for varying degrees of hedonic disparity. **Food Quality and Preference**, v. 22, p. 60–65, 2011.

ZEUTHEN, P.; BUGH-SØRENSEN, L. **Food preservation techniques**. Boca Raton: CRC Press, 2003. 613 p.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### ARTIGO 1 – INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE PROCESSO NA SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DA POLPA DE UMBU

#### RESUMO

Dentre os diversos produtos desidratados, as frutas em pó obtidas a partir da secagem por atomização se destacam pelo fato de serem produtos versáteis, naturais e apresentarem longa vida de prateleira. Este estudo teve por objetivo avaliar a influência das variáveis do processo de secagem por atomização sobre as propriedades físico-químicas do umbu em pó. O processo foi realizado em um atomizador de escala laboratorial e maltodextrina DE 15 foi utilizada como agente carreador. Dezesete ensaios foram realizados, de acordo com um delineamento composto central rotacional. As variáveis independentes foram a temperatura do ar de secagem (90 – 190°C), a vazão mássica de alimentação (0,2 – 1,0 L/h) e a concentração de agente carreador (10 – 30%). As respostas analisadas foram atividade de água, umidade, higroscopicidade, rendimento do processo e retenção de compostos fenólicos no produto final. A atividade de água e o teor de umidade sofreram influência negativa da temperatura do ar de secagem, ou seja, quanto maiores as temperaturas aplicadas, menor foi a atividade de água e o teor de umidade do umbu atomizado. No entanto os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, não foram estatisticamente significativos sobre a higroscopicidade e o rendimento do processo, em um nível de 95% de significância estatística, por isso não foi possível a obtenção do modelo. A retenção de compostos fenólicos sofreu influência da vazão mássica e da concentração de agente carreador, foi possível observar que a utilização de vazões mais rápidas e de maiores concentrações de maltodextrina apresentaram produto final com maiores retenções de compostos fenólicos. Dois ensaios foram selecionados a partir da análise dos gráficos de superfície de resposta, apresentando as seguintes condições de secagem: o ensaio A, com temperatura do ar de 117°C, vazão mássica de 0,24 L/h e concentração de agente carreador de 25% e o ensaio B, com temperatura do ar de 133°C, vazão mássica de 0,91 L/h e concentração de agente carreador de 22%.

**Palavras-chave:** desidratação; planejamento experimental; *Spondias tuberosa* Arr. Câm.; maltodextrina.



## ABSTRACT

Among the many dehydrated products, fruit powders obtained from spray drying stand out because they are versatile products, natural and present long shelf life. This study aimed to evaluate the influence of process variables spray drying on the physicochemical properties of umbu powder. The process was conducted in a laboratory scale atomizer and maltodextrin DE 15 was used as a carrier agent. Seventeen experiments were performed according to a central composite design. The independent variables were the temperature of the drying air (90-190°C), the mass flow rate of supply (0,2 to 1,0 L/h) and the concentration of maltodextrin (10-30%). The responses were analyzed for water activity, moisture, hygroscopicity, process yield and retention of phenolic compounds in the final product. Water activity and moisture content have suffered negative influence of the temperature of the drying air, in other words, the higher the temperature applied, the lower the water activity and moisture content umbu atomized. However the effects of factors linear, quadratic and interaction were not statistically significant on the hygroscopicity and process yield, at a 95% level of statistical significance, so it was not possible to obtain the model. The retention of phenolic influenced mass flow rate and the concentration of carrier agent, it was observed that the use of faster flow rates and higher concentrations showed maltodextrin final product with higher retention of phenolic compounds. Two tests were selected from the chart analysis response surface, presenting the following drying conditions: Test A, with an air temperature of 117°C, mass flow rate of 0,24 L/h and concentration of agent carrier of 25% and test B, with an air temperature of 133°C, mass flow rate of 0,91 L/h and concentration of carrier agent of 22%.

**Keywords:** dehydration; experimental design; *Spondias tuberosa* Arr. Câm.; maltodextrin.



## 5.1 INTRODUÇÃO

A secagem por atomização consiste na transformação de um produto líquido à medida que o mesmo é exposto a uma corrente de ar quente, obtendo um pó instantaneamente. Este tipo de secagem é geralmente usado para garantir a estabilidade microbiológica dos produtos e evitar o risco de degradações biológicas, além de reduzir os custos de armazenagem e transporte (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Este processo vem sendo utilizado na produção de fruta em pó, como pode ser observado em uma série de estudos (ABADIO et al., 2004; TONON; BRABET; HUBINGER, 2008; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010; OSORIO; FORERO, CARRIAZO, 2011) a fim de estabelecer as melhores condições de secagem, otimizando e adequando o processo a cada tipo de fruta. No caso do umbu, a secagem por atomização representa uma alternativa atrativa de conservação, visto que seu consumo *in natura* é limitado à região onde o fruto é produzido devido à sua alta perecibilidade.

Em geral, as frutas em pó possuem muitas vantagens e potencialidades econômicas sobre as frutas *in natura*. No entanto, são produtos com elevado teor de açúcares e de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, tais constituintes são responsáveis pela pegajosidade apresentada pelas frutas, dificultando sua secagem por atomização. Além disso, a elevada higroscopicidade e o baixo ponto de fusão resultam na alta solubilidade em água e num produto altamente viscoso (ADHIKARI et al., 2004; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010).

Durante a atomização, quando a superfície de uma gotícula atinge o estado pegajoso, colisões com qualquer superfície como, por exemplo, as paredes do secador, podem levar à adesão, reduzindo o rendimento do processo (WANG; LANGRISH, 2009; TURCHIULI et al., 2011).

Contudo os problemas de deposição e de aderência das partículas durante a atomização podem ser minimizados com o uso de aditivos denominados agentes carreadores. Estes agentes são aplicados antes do produto ser atomizado e, durante o processo de secagem por atomização, são responsáveis pela microencapsulação, reduzindo os problemas de aderência dos produtos ricos em açúcares e protegendo os



constituintes mais sensíveis, tais como pigmentos, compostos responsáveis pelo sabor e aroma, além das substâncias bioativas como os compostos fenólicos.

As propriedades físico-químicas dos pós obtidos por atomização dependem de algumas variáveis de processo, tais como as características do líquido de alimentação (viscosidade, teor de sólidos, tamanho das gotas, taxa de alimentação) e do ar de secagem (temperatura, pressão), assim como do tipo e mecanismo de funcionamento do atomizador. Assim, é importante que se faça uma otimização do processo, a fim de se obter produtos com melhores características sensoriais e nutricionais, bem como um melhor rendimento de processo (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008).

Diante do exposto, o estudo do processo de atomização sobre as características do umbu em pó torna-se importante, uma vez que este produto representa uma forma de diversificação do fruto, permitindo sua utilização como ingrediente em alimentos industrializados, além de assegurar sua oferta em períodos de escassez. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da temperatura de secagem, da vazão mássica de alimentação e da concentração de maltodextrina, sobre as respostas: atividade de água, umidade, higroscopicidade, rendimento e teor de compostos fenólicos da polpa de umbu atomizada.



## **5.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.1. Material**

#### **5.2.1.1. Matéria-prima**

Para a produção do umbu atomizado foram utilizados frutos do umbuzeiro adquiridos no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco – CEASA/PE. Após selecionados de acordo com o estágio de maturação (meio maduros e maduros) os frutos foram lavados em água corrente, sanitizados com água clorada (teor de cloro ativo de 2,38%) e despulpados em despulpadeira semi-industrial, modelo bobina compacta (Itabauna/BA). A polpa obtida foi acondicionada em sacos plásticos de polietileno e, imediatamente, congelada. A polpa foi descongelada conforme a necessidade, para ser submetida ao processo de atomização.

#### **5.2.1.2. Agente carreador**

O agente carreador utilizado foi a maltodextrina *MOR-REX® 1914*, com dextrose equivalente (DE) 15, da Corn Products (Mogi-Guaçu, Brasil). Este material foi escolhido por apresentar um baixo custo e por ser comumente usado na secagem de sucos de fruta por atomização.

### **5.2.2. Local do estudo**

O desenvolvimento dos produtos e as análises físico-químicas foram realizados nos Laboratórios de Processamento de Alimentos e Análises Físico-químicas de Alimentos do Departamento de Ciências Domésticas/ UFRPE.

### **5.2.3. Métodos**

#### **5.2.3.1. Preparo das amostras**

Inicialmente, a polpa de umbu foi descongelada e peneirada, este procedimento foi realizado com a finalidade de eliminar as partículas de maior volume, facilitando a passagem pelo bico atomizador. Após a pesagem da polpa peneirada, foi adicionado cerca de 50% de água e, posteriormente, o agente carreador nas concentrações pré-determinadas (calculadas em função da polpa de umbu peneirada sem a adição da água),



sendo esta mistura mantida sob agitação em homogeneizador Tecnal, modelo TE-102 (Piracicaba/SP) até completa dissolução.

### 5.2.3.2. Secagem por atomização

Para a secagem em escala laboratorial foi utilizado um mini atomizador – Labmaq, modelo MSD 1.0 (Ribeirão Preto/SP), que opera com vazão de líquido de 0,2 – 1,0 L/h, com bico injetor de 1,2 mm de diâmetro, fluxo de ar de 30 m<sup>3</sup>/h e pressão do ar de 0,6 bar (Figura 1).



**Figura 1.** Atomizador utilizado nos ensaios de secagem.

### 5.2.3.3. Planejamento experimental

Foi utilizado um delineamento composto central rotacional 2<sup>3</sup> completo, com 8 pontos fatoriais, 3 pontos centrais e 6 pontos axiais, com um total de 17 ensaios, para avaliar a influência das variáveis independentes (temperatura do ar de secagem, vazão mássica de alimentação da mistura e concentração do agente carreador) sobre as respostas (umidade, atividade de água, higroscopicidade, retenção de compostos fenólicos e rendimento). O rendimento foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$R (\%) = \frac{A}{B} \times 100$$

[Equação 1]

Onde: *A* = massa de pó de umbu obtida após secagem (em g) e *B* = soma da quantidade de sólidos presentes na polpa integral (m.s.) mais o agente carreador adicionado (em g).



A Tabela 1 apresenta o planejamento experimental codificado e decodificado da secagem em atomizador. O produto em pó coletado foi acondicionado em vidros (240 mL) fechados hermeticamente e colocados em ambiente seco.

**Tabela 1.** Planejamento experimental codificado e decodificado da secagem em atomizador.

Ensaio	Temperatura (°C)	Vazão mássica (l/h)	Agente carreador (%)
01	-1 (110)	-1 (0,36)	-1 (14)
02	+1 (170)	-1 (0,36)	-1 (14)
03	-1 (110)	+1 (0,84)	-1 (14)
04	+1 (170)	+1 (0,84)	-1 (14)
05	-1 (110)	-1 (0,36)	+1 (26)
06	+1 (170)	-1 (0,36)	+1 (26)
07	-1 (110)	+1 (0,84)	+1 (26)
08	+1 (170)	+1 (0,84)	+1 (26)
09	0 (140)	0 (0,60)	0 (20)
10	0 (140)	0 (0,60)	0 (20)
11	0 (140)	0 (0,60)	0 (20)
12	-1,68 (90)	0 (0,60)	0 (20)
13	+1,68 (190)	0 (0,60)	0 (20)
14	0 (140)	-1,68 (0,20)	0 (20)
15	0 (140)	+1,68 (1,00)	0 (20)
16	0 (140)	0 (0,60)	-1,68 (10)
17	0 (140)	0 (0,60)	+1,68 (30)

A Análise de Variância (ANOVA), o teste de falta de ajuste (teste F), a determinação dos coeficientes de regressão e a obtenção das superfícies de resposta foram realizados com o auxílio do *software* Statistica 7.0 (StatSoft, Tulsa, EUA).

#### 5.2.3.4. Análises físico-químicas da polpa de umbu *in natura*

Com a finalidade de obter o perfil físico-químico da polpa de umbu, as seguintes determinações físico-químicas foram realizadas: atividade de água, umidade, sólidos solúveis, cor, pH, acidez titulável, proteínas, lipídeos, cinzas e compostos fenólicos. As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata, de acordo com os procedimentos descritos a seguir.



#### **5.2.3.4.1. Atividade de água (Aw)**

A atividade de água foi determinada por meio do aparelho analisador de atividade de água Aqualab, modelo 4TE (Janiru/SP), na temperatura de 25°C. Esse aparelho usa o método da temperatura do ponto de orvalho por resfriamento e condensação em espelho para determinar a atividade de água.

#### **5.2.3.4.2. Teor de umidade**

Pelo determinador de umidade Marte, modelo IDSO (Piracicaba/SP), que operou na temperatura de 105°C durante 45 minutos. Os resultados foram expressos em porcentagem de umidade.

#### **5.2.3.4.3. Teor de sólidos solúveis (SS)**

Por refratômetro Atago, modelo Master-T (Japão), com escala de 0 a 32 °Brix. Uma alíquota da amostra de polpa de umbu foi colocada sobre o prisma do aparelho e procedeu-se a leitura direta do teor de sólidos solúveis totais, expresso em °Brix.

#### **5.2.3.4.4. Cor**

Em colorímetro Konica Minolta, modelo Chroma Meter CR 400 (Japão) operando em sistema CIELAB ( $L^*a^*b^*$ ). Onde  $L^*$  é uma medida da luminosidade de um objeto e varia do 0 (para o preto) até o 100 (para o branco),  $a^*$  é uma medida do vermelho ( $a^*$  positivo) ou do verde ( $a^*$  negativo);  $b^*$  é uma medida do amarelo ( $b^*$  positivo) ou do azul ( $b^*$  negativo) (McGUIRE, 1992).

#### **5.2.3.4.5. pH**

O pH foi determinado usando-se 3 g da amostra diluída em 30 mL de água destilada, até obtenção de uma mistura homogênea, com medição direta no pHmetro digital Tecnal, modelo TEC-5 (Piracicaba/SP), devidamente calibrado com solução tampão de pH 4,0 e 7,0.

#### **5.2.3.4.6. Teor de acidez titulável (AT)**

Por titulação de 3 g da amostra diluída em 30 mL de água destilada, com solução de NaOH 0,1M padronizada, usando solução de fenolftaleína como indicador, conforme



descrito nas normas AOAC (2006). Os resultados foram expressos em grama (g) de ácido cítrico/100g de amostra.

#### **5.2.3.4.7. Teor de proteínas**

A fração protéica foi determinada pelo método de Kjeldahl, de acordo com a AOAC (1990). O nitrogênio protéico da amostra, multiplicado pelo fator de conversão 6,25, correspondeu ao percentual das amostras, sendo os resultados expressos em porcentagem de proteína bruta.

#### **5.2.3.4.8. Teor de lipídeos**

Pelo método de Bligh-Dyer (1959), com algumas modificações. Este método tem sido recomendado por ser exato e reprodutível para a determinação de lipídeos totais em alimentos com alto teor de água, como as frutas. A extração dos lipídeos foi realizada a frio, utilizando uma mistura de três solventes (clorofórmio, metanol e água) em diferentes proporções. Foram formadas duas fases distintas, uma de clorofórmio contendo os lipídeos, e outra de metanol e água, contendo os compostos não lipídicos. A fase de clorofórmio foi separada, evaporada em rotavapor Heidolph, modelo Laborata-4000 (Alemanha), submetida a aquecimento em estufa Tecnal, modelo TE-393/2 (Piracicaba/SP) a 105°C por 1 hora, resfriada e pesada (as operações de aquecimento e resfriamento foram repetidas até peso constante). A fração lipídica foi então quantificada, sendo os resultados expressos em porcentagem de lipídeos.

#### **5.2.3.4.9. Teor de cinzas**

O teor de cinzas foi obtido pela incineração da amostra e permanência da mesma em mufla EDG Equipamentos, modelo 1P-7000 (São Carlos/SP) a 550°C, por um período suficiente para a queima de toda matéria orgânica. Os resultados foram expressos em porcentagem de cinzas.



#### **5.2.3.4.10. Compostos fenólicos**

##### **5.2.3.4.10.1. Obtenção dos extratos**

Segundo metodologia descrita por Singleton, Orthofer e Lamucla-Reventos (1999). Extratos acetônico, metanólico e aquoso da polpa foram obtidos isoladamente utilizando o processo de extração não sequencial, utilizando os solventes extratores acima referidos. Uma alíquota da polpa de umbu (50 g) foi pesada, mantida sob agitação permanente em agitador magnético Fisatom, modelo 752 (São Paulo/SP), à temperatura ambiente ( $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ), por 20 minutos, em acetona, e em seguida, centrifugada a 4000 g em centrífuga Cientec, modelo CT-6000R (Charqueada/SP), também durante 20 minutos. O sobrenadante foi coletado e filtrado, o precipitado ressuspenso no mesmo solvente e submetido ao mesmo processo acima descrito, por mais duas vezes, totalizando 120 minutos de extração. Ao término deste período de extração, os sobrenadantes foram filtrados, concentrados sob pressão reduzida a  $40^\circ\text{C}$ , e o volume final aferido para 50 mL. Todo o processo de extração foi efetuado em triplicata.

##### **5.2.3.4.10.2. Fenólicos totais**

Por método espectrofotométrico, utilizando o reagente Folin–Ciocalteu (Merck), segundo metodologia descrita por Wettasinghe e Shahidi (1999). A leitura dos 3 extratos foi precedida da diluição dos mesmos (1:25). O teor de fenólicos totais foi determinado por interpolação da absorbância das amostras contra uma curva de calibração construída com ácido gálico (20 a 240  $\mu\text{g/mL}$ ), e os resultados expressos em  $\mu\text{g}$  em equivalente de ácido gálico por mL do extrato.

#### **5.2.3.5. Análises físico-químicas do umbu atomizado**

O umbu atomizado foi avaliado em relação à atividade de água e ao teor de umidade (conforme metodologia descrita no item 5.2.3.4.1 e 5.2.3.4.2, respectivamente), e em relação à higroscopicidade e ao teor de compostos fenólicos (de acordo com as metodologias descritas a seguir). Todas as análises foram realizadas em triplicata.



#### **5.2.3.5.1. Higroscopicidade**

Conforme metodologia proposta por Cai e Corke (2000), modificada. As amostras, com aproximadamente 1g cada, foram colocadas em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25°C e, após uma semana foram pesadas, sendo a higroscopicidade expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100g).

#### **5.2.3.5.2. Compostos fenólicos**

##### **5.2.3.5.2.1. Obtenção dos extratos**

Apenas o extrato acetônico foi utilizado para as análises de compostos fenólicos do umbu atomizado, tendo em vista que este extrato obteve maior êxito na extração de compostos fenólicos da polpa de umbu *in natura*. O processo de extração utilizado no umbu atomizado foi o mesmo descrito no tópico 5.2.3.4.10.1., no entanto, a quantidade de amostra utilizada foi de 2 g.

##### **5.2.3.5.2.2. Fenólicos totais**

A determinação do teor de fenólicos totais dos extratos do umbu atomizado foi a mesma descrita para a polpa fresca, com exceção da diluição (1:25) do extrato para a leitura, vide tópico 5.2.3.4.10.2.

De modo a avaliar a influência das diferentes condições de processo sobre o conteúdo de compostos fenólicos, os resultados foram convertidos em termos de retenção de compostos fenólicos, levando em conta a massa seca (m.s.) presente na polpa de umbu antes da secagem e desconsiderando a concentração de maltodextrina presente no pó.



### 5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.3.1. Composição físico-química da matéria-prima

A composição físico-química e os parâmetros de cor da polpa de umbu utilizados nos ensaios de secagem se encontram na Tabela 2. Os dados apresentados correspondem a uma média de três determinações, com seu desvio padrão.

**Tabela 2.** Composição físico-química e colorimétrica da polpa de umbu *in natura*.

Componente	Polpa de umbu <i>in natura</i>
Atividade de água	0,98 ± 0,00
Umidade (%)	86,65 ± 0,25
Sólidos Solúveis (°Brix)	10,00 ± 1,00
Acidez Titulável (g ác. cítrico)	3,05 ± 0,12
pH	2,00 ± 0,05
Proteínas (%)	0,84 ± 0,34
Lipídeos (%)	0,34 ± 0,01
Carboidratos (%)	11,68 ± 0,27
Cinzas	0,49 ± 0,13
L*	63,89 ± 5,01
a*	- 4,92 ± 0,58
b*	38,25 ± 3,77

De acordo com Hui (2006), a atividade de água está relacionada com o potencial químico da água, sendo seu valor menor que 1,0. O teor encontrado na polpa de umbu foi de 0,98. O teor de umidade apresentado na Tabela 2 está de acordo com os publicados por Narain et al. (1992) e Rufino et al. (2010). A atividade de água e o teor de umidade estão intimamente ligados à perecibilidade do fruto, desta forma a secagem por atomização atua diminuindo seus teores a fim de ampliar a vida útil do fruto.

O conteúdo de sólidos solúveis da polpa de umbu foi de 10 °Brix, sendo este resultado condizente com as pesquisas de Narain et al. (1992), Neto et al. (2012) e Costa et al. (2004), cujos valores encontrados foram 9,47 °Brix, de 9,61 a 10,95 °Brix e de 7,00 a 10,00 °Brix, respectivamente. Os sólidos solúveis presentes nas frutas são, em sua maioria, açúcares (glicose, frutose e sacarose) responsáveis pela aderência do pó durante a secagem por atomização, constituindo um problema para este tipo de processamento (ADHIKARI et al., 2003).



O teor de acidez titulável encontrado nesta pesquisa foi superior aos encontrados por Costa et al. (2004), que variaram de 1,01 a 2,72. No entanto, esta variação pode ser atribuída às diferentes condições climáticas e diferentes épocas em que o umbu foi colhido. Com relação ao teor de pH, o valor encontrado foi um pouco inferior ao encontrado por Neto et al. (2012). Os valores médios de acidez titulável e pH encontrados favorecem a conservação da polpa de umbu.

No tocante ao conteúdo de proteínas da polpa de umbu, o valor encontrado nesta pesquisa foi bastante superior ao valor apresentado por Narain et al. (1992) (0,31%), entretanto, dentro do esperado para as frutas, segundo Barrett, Somogyi e Ramaswamy (2004).

Em geral, as frutas não contêm alto teor lipídico, contudo este componente é de suma importância devido à sua contribuição para a aparência das frutas. Além disso, os lipídeos formam uma película que protege a fruta contra a perda de água e ataque de patógenos (BARRETT; SOMOGYI; RAMASWAMY, 2004). O teor lipídico da polpa de umbu foi inferior ao encontrado por Narain et al. (1992), que foi de 0,85%.

As frutas frescas possuem um elevado teor de carboidratos, que costuma variar de 10 a 25%, como no caso da polpa de umbu (11,68%), cujo teor foi estabelecido por diferença. No tocante às cinzas o valor encontrado (0,49%) foi semelhante ao citado por Narain et al. (1992) que foi de 0,30%.

A cor serve como um critério de qualidade e pode ser útil para a identificação de certos tipos de alterações decorrentes de deteriorações sofridas pelo fruto. Desta forma, a cor do umbu pode variar de acordo com as condições edafoclimáticas, dependendo de inúmeros fatores. As médias dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , expostas na Tabela 2, permitem afirmar que a polpa do umbu apresentou coloração verde, com nuances amareladas, cor característica do fruto em sua forma integral.

### **5.3.2. Planejamento experimental**

Conforme descrito no item 5.2.3.3, a secagem da polpa de umbu foi realizada de acordo com um delineamento composto central rotacional  $2^3$  completo, cujos resultados estão apresentados na Tabela 3.



**Tabela 3.** Valores das respostas obtidas na secagem da polpa de umbu em atomizador.

<b>Ensaio</b>	<b>Atividade de Água</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Higroscopicidade (g/100g)</b>	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Retenção de Compostos Fenólicos (%)</b>
1	0,19	3,25	18,22	12,29	35,55
2	0,13	2,36	17,07	12,18	33,33
3	0,25	5,62	19,76	14,90	35,55
4	0,10	2,38	16,89	20,49	33,33
5	0,24	4,20	10,23	14,96	44,44
6	0,09	2,01	12,98	11,79	40,00
7	0,21	4,70	17,94	17,88	48,88
8	0,17	3,86	13,67	08,88	60,00
9	0,13	3,02	14,85	09,21	44,44
10	0,12	3,89	13,85	10,07	44,44
11	0,12	3,15	17,28	15,39	40,00
12	0,25	5,59	15,42	09,85	33,33
13	0,10	2,09	15,16	13,01	33,33
14	0,11	2,34	19,44	15,98	57,77
15	0,19	4,18	13,53	07,34	68,88
16	0,11	4,35	14,77	14,79	28,88
17	0,13	2,86	14,65	10,68	57,77

### 5.3.2.1. Atividade de água ( $A_w$ )

Os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de atividade de água obtidos na secagem da polpa de umbu, estão apresentados na Tabela 4. Os coeficientes de regressão dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em **negrito**, são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).



**Tabela 4.** Coeficiente de regressão, erro padrão, coeficiente *t* e grau de significância estatística (*p*), para cada fator no modelo codificado para atividade de água.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	Significância Estatística ( <i>p</i> )
Média	0,121827	0,003326	36,6250	0,000745
Temperatura do ar (L)	<b>-0,047784</b>	<b>0,001563</b>	<b>-30,5721</b>	<b>0,001068</b>
Temperatura do ar (Q)	<b>0,023347</b>	<b>0,001722</b>	<b>13,5588</b>	<b>0,005395</b>
Vazão mássica (L)	<b>0,015713</b>	<b>0,001563</b>	<b>10,0531</b>	<b>0,009750</b>
Vazão mássica (Q)	<b>0,014489</b>	<b>0,001722</b>	<b>8,4147</b>	<b>0,013831</b>
Concentração de agente (L)	0,005394	0,001563	3,4511	0,074680
Concentração de agente (Q)	0,003860	0,001722	2,2417	0,154235
Temperatura x Vazão mássica	0,002500	0,002041	1,2247	0,345346
Temperatura x Concentração	0,002500	0,002041	1,2247	0,345346
Vazão mássica x Concentração	0,002500	0,002041	1,2247	0,345346

Segundo Troller (1991) o conceito de preservação de alimentos através do controle da disponibilidade ou mobilidade de água não é novo e o desenvolvimento comercial de alimentos desidratados foi, em grande parte, realizado visando a prevenção de microrganismos esporulados. No entanto, efeitos deteriorativos de ordem química também estão, eventualmente, ligados aos níveis de atividade de água. Desta forma, a  $A_w$  é um índice importante para produtos atomizados, afetando significativamente sua vida de prateleira.

De acordo com a Tabela 3, a atividade de água do umbu atomizado obtido no processo variou entre 0,09 e 0,25, significando que o produto foi microbiologicamente estável. Valores semelhantes foram obtidos por Fazaeli et al. (2012), em seu trabalho com secagem de suco de amora preta em atomizador, utilizando maltodextrinas de diferentes DE's e goma arábica, em diferentes concentrações.

A temperatura do ar de secagem e a vazão mássica de alimentação influenciaram a  $A_w$  final do produto, a  $p \leq 0,05$  (Tabela 4). A temperatura apresentou um efeito negativo, ou seja, maiores temperaturas levaram à produção de umbu atomizado com  $A_w$  menores. Enquanto a vazão mássica apresentou um efeito positivo, desta forma, partículas de umbu atomizado produzidas sob vazões mais aceleradas apresentaram atividade de água mais elevada.



Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), através do teste F, na análise de variância (ANOVA). A Tabela 5 apresenta os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 5.** Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para atividade de água.

	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> *
<b>Regressão</b>	0,04	4	0,01	15,78	3,26
<b>Resíduo</b>	0,00	12	0,00		
<b>Falta de Ajuste</b>	0,00	10	0,00	24,19	19,40
<b>Erro</b>	0,00	2	0,00		
<b>Total SS</b>	0,04	16			

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

SQ = soma quadrática, GL = grau de liberdade, MQ = média quadrática

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 0,83611, indicando que o modelo explicou 83,61% da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão e falta de ajuste significativas ao nível de 95% de confiança ( $F_{\text{calculado}}$  superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ).

O modelo codificado proposto para representar a atividade de água das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de umbu, dentro dos limites de temperatura do ar de secagem, vazão mássica e concentração de agente carreador, é descrito pela Equação (2):

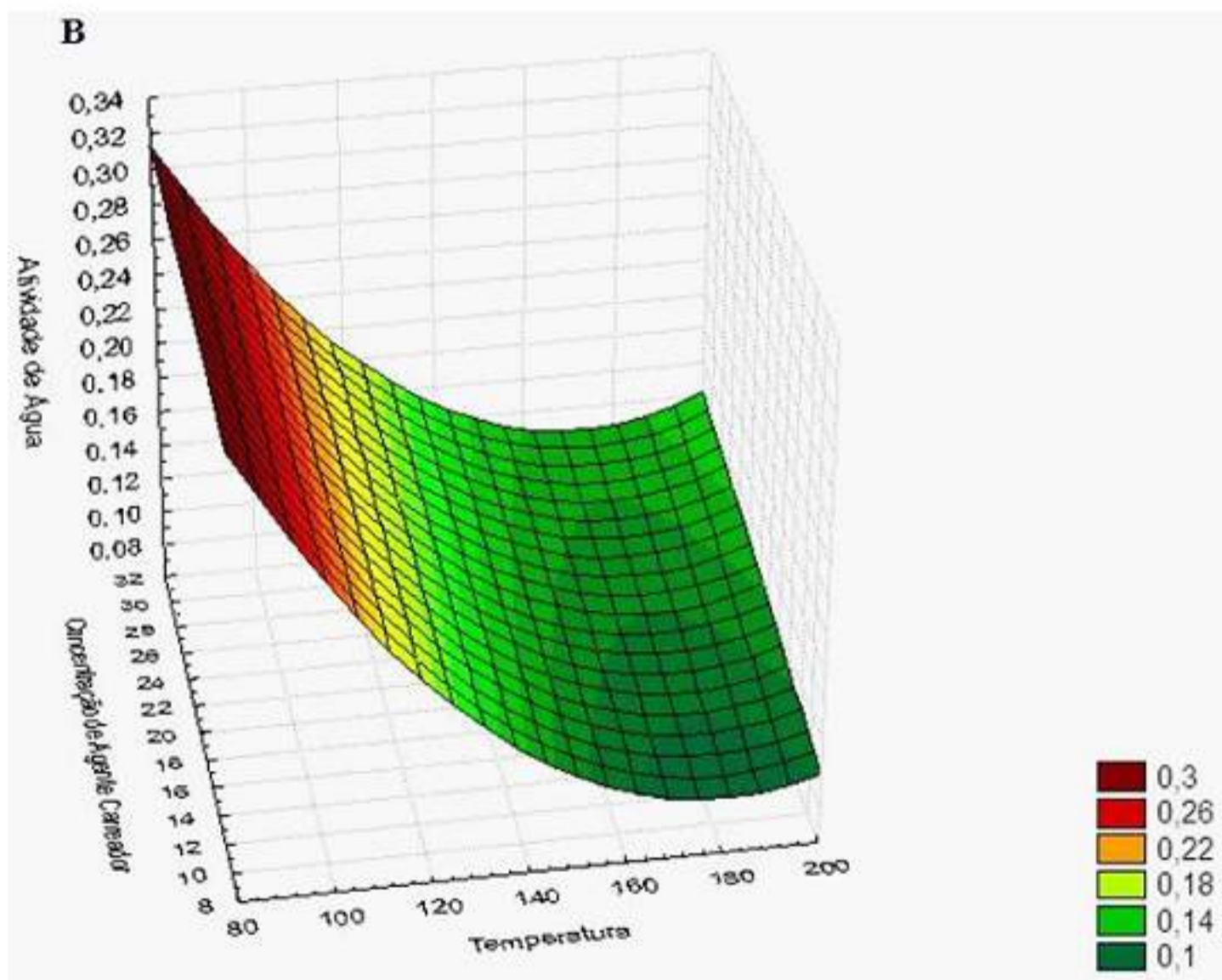
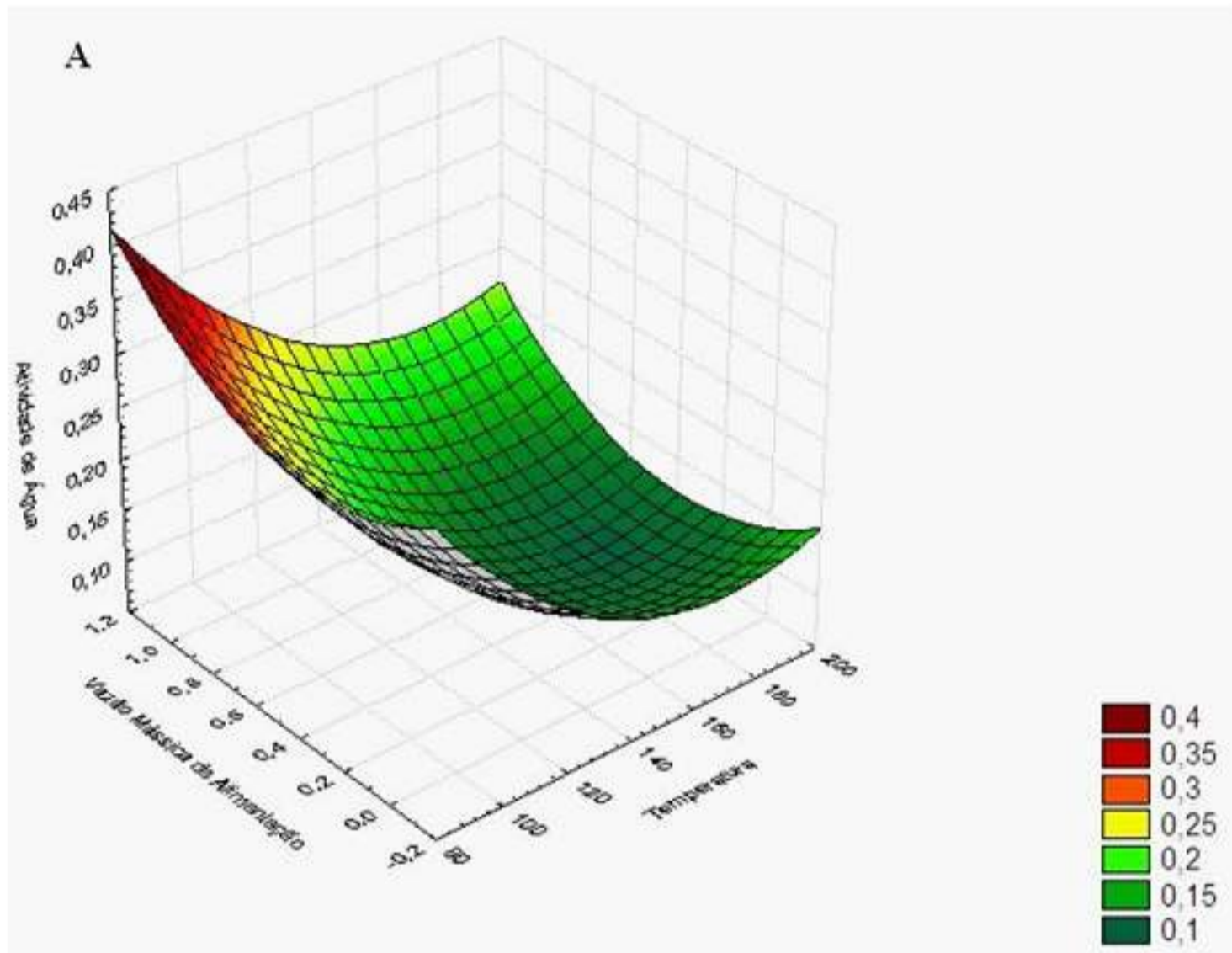
$$\text{Atividade de água} = 0,126749 - 0,095568T + 0,044422T^2 + 0,031426V + 0,026706V^2$$

[Equação 2]

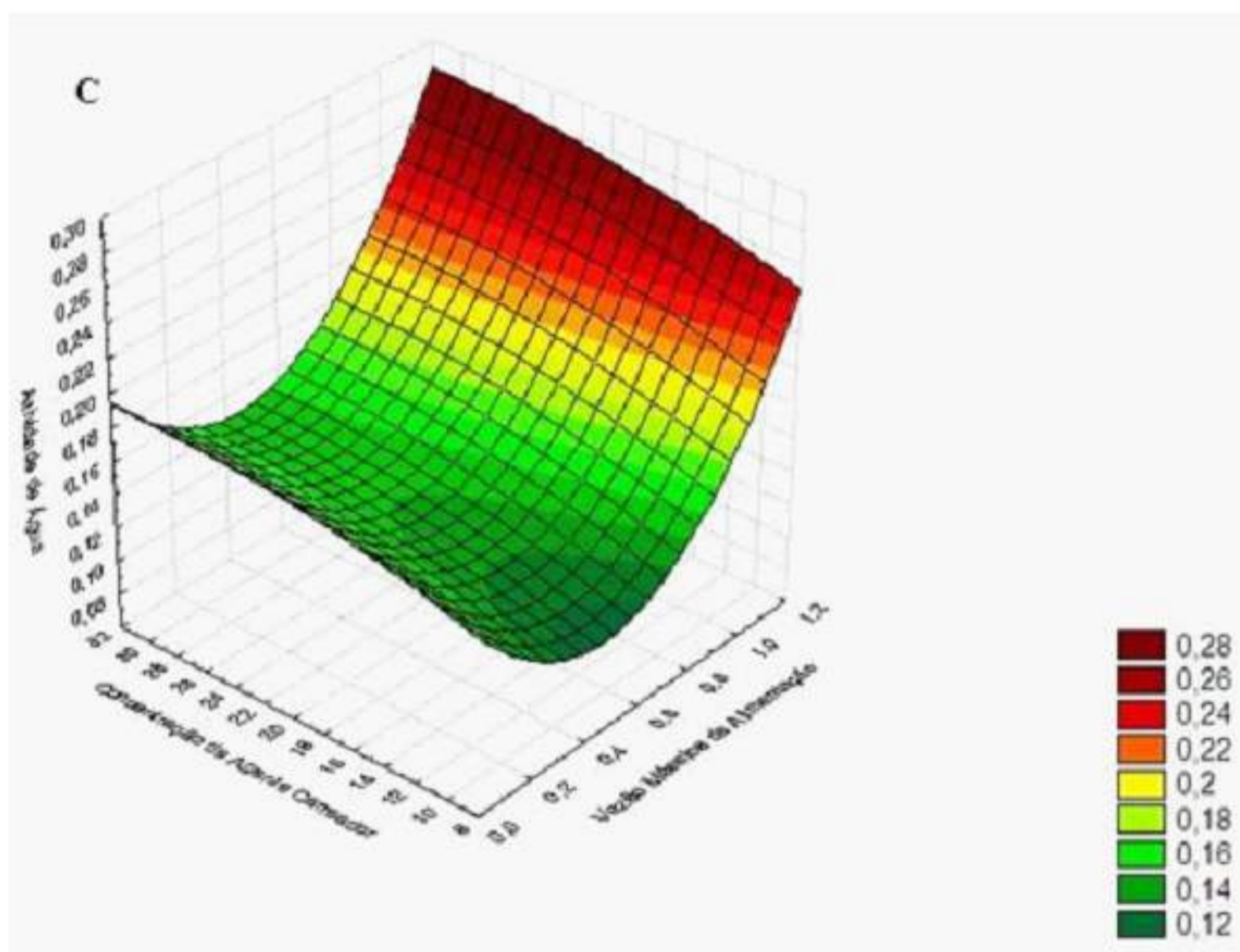
Onde: T = temperatura linear do ar de secagem;  $T^2$  = temperatura quadrática do ar de secagem; V = vazão mássica linear e  $V^2$  = vazão mássica quadrática.

A Figura 2 mostra as superfícies de resposta geradas através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios de concentração de agente carreador, vazão mássica e temperatura do ar de secagem.









**Figura 2.** Superfície de resposta para a resposta atividade de água, (A) em função da temperatura x vazão mássica de alimentação, (B) em função da temperatura x concentração de agente carreador e (C) em função da vazão mássica de alimentação x concentração de agente carreador.

O aumento temperatura do ar de secagem, independente da vazão mássica e da concentração de agente carreador aplicadas, levou à redução da  $A_w$  do produto (Figura 2 A e B). Assim, a temperatura é um fator que exerce influência nas características do produto final. Desta forma, um maior gradiente de temperatura entre o produto atomizado e o ar de secagem acarreta em uma maior transferência de calor e, conseqüentemente, uma maior evaporação de água do produto, resultando em  $A_w$  mais baixa.

Solval et al. (2012), trabalhando com suco de melão em pó e Fazaeli et al. (2012) com suco de amora preta, ambos utilizando a tecnologia de secagem por atomização, também observaram uma diminuição da  $A_w$  das partículas, com o aumento da temperatura do ar de secagem.



No entanto, o aumento da vazão mássica de alimentação, independente da concentração de agente carreador aplicada, levou ao aumento da  $A_w$  do produto (Figura 2 C). Desta forma, é possível observar que processos mais rápidos fazem com que o tempo de contato entre o produto e o ar de secagem seja menor, tornando o processo de transferência de calor menos eficiente. Quanto aos efeitos quadráticos sua significância estatística sugere que houveram concavidades nos gráficos de superfície de resposta, como pode ser observado em todos os gráficos da Figura 2.

### 5.3.2.2. Teor de umidade

Os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de umidade obtidos na secagem da polpa de umbu, são apresentados na Tabela 6. Os coeficientes de regressão dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 6.** Coeficiente de regressão, erro padrão, coeficiente  $t$  e grau de significância estatística ( $p$ ), para cada fator no modelo codificado para umidade.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	Significância Estatística ( $p$ )
Média	3,355624	0,270376	12,41096	0,006430
Temperatura do ar (L)	<b>-0,955675</b>	<b>0,127045</b>	<b>-7,52233</b>	<b>0,017217</b>
Temperatura do ar (Q)	0,164763	0,139963	1,17719	0,360239
Vazão mássica (L)	<b>0,573933</b>	<b>0,127045</b>	<b>4,51755</b>	<b>0,045669</b>
Vazão mássica (Q)	-0,040736	0,139963	-0,29105	0,798423
Concentração de agente (L)	-0,098440	0,127045	-0,77485	0,519496
Concentração de agente (Q)	0,081501	0,139963	0,58230	0,619262
Temperatura x Vazão mássica	-0,125000	0,165919	-0,75338	0,529834
Temperatura x Concentração	0,137500	0,165919	0,82872	0,494419
Vazão mássica x Concentração	-0,005000	0,165919	-0,03014	0,978696

O teor de umidade é diferente da  $A_w$ . Nesta se mede a disponibilidade de água livre em um sistema alimentar, enquanto a umidade representa a composição total da água em um sistema alimentar (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007).

De acordo com a Tabela 3, a umidade dos pós obtidos no processo variou entre



2,01 e 5,62%. Valores dentro desta faixa (3,81 e 5,39%) foram apresentados por Solval et al. (2012) em seu estudo sobre a atomização de melão. Esses resultados sugerem que os pós de umbu atomizados estão de acordo com os parâmetros estabelecidos pela legislação para produtos desidratados. A RDC nº272 de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) preconiza que produtos de frutas secas ou desidratadas devem apresentar no máximo 25% de umidade, sendo este um fator protetor ao desenvolvimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos (BRASIL, 2005).

A temperatura do ar de secagem foi o fator que mais influenciou a umidade final do produto, seguida pela vazão mássica da mistura (Tabela 6). A temperatura do ar de secagem apresentou um efeito negativo, ou seja, maiores temperaturas levaram à produção de pós com umidades menores, enquanto a vazão mássica apresentou um efeito positivo, isto é, o aumento da vazão acarretou um aumento da umidade dos pós.

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), através do teste F, na análise de variância (ANOVA). A Tabela 7 apresenta os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 7.** Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para umidade.

	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado</sub> *
<b>Regressão</b>	16,95	2	8,47	28,07	3,74
<b>Resíduo</b>	4,22	14	0,30		
<b>Falta de Ajuste</b>	3,78	12	0,31	1,43	19,41
<b>Erro</b>	0,44	2	0,22		
<b>Total SS</b>	21,18	16			

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

SQ = soma quadrática, GL = grau de liberdade, MQ = média quadrática

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 0,80042, indicando que o modelo explicou 80,04% da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $F_{\text{calculado}}$  superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança ( $F_{\text{calculado}}$  inferior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ). Sendo assim, o modelo ajustado para o teor de umidade no processo de secagem da polpa de umbu em atomizador foi considerado preditivo.



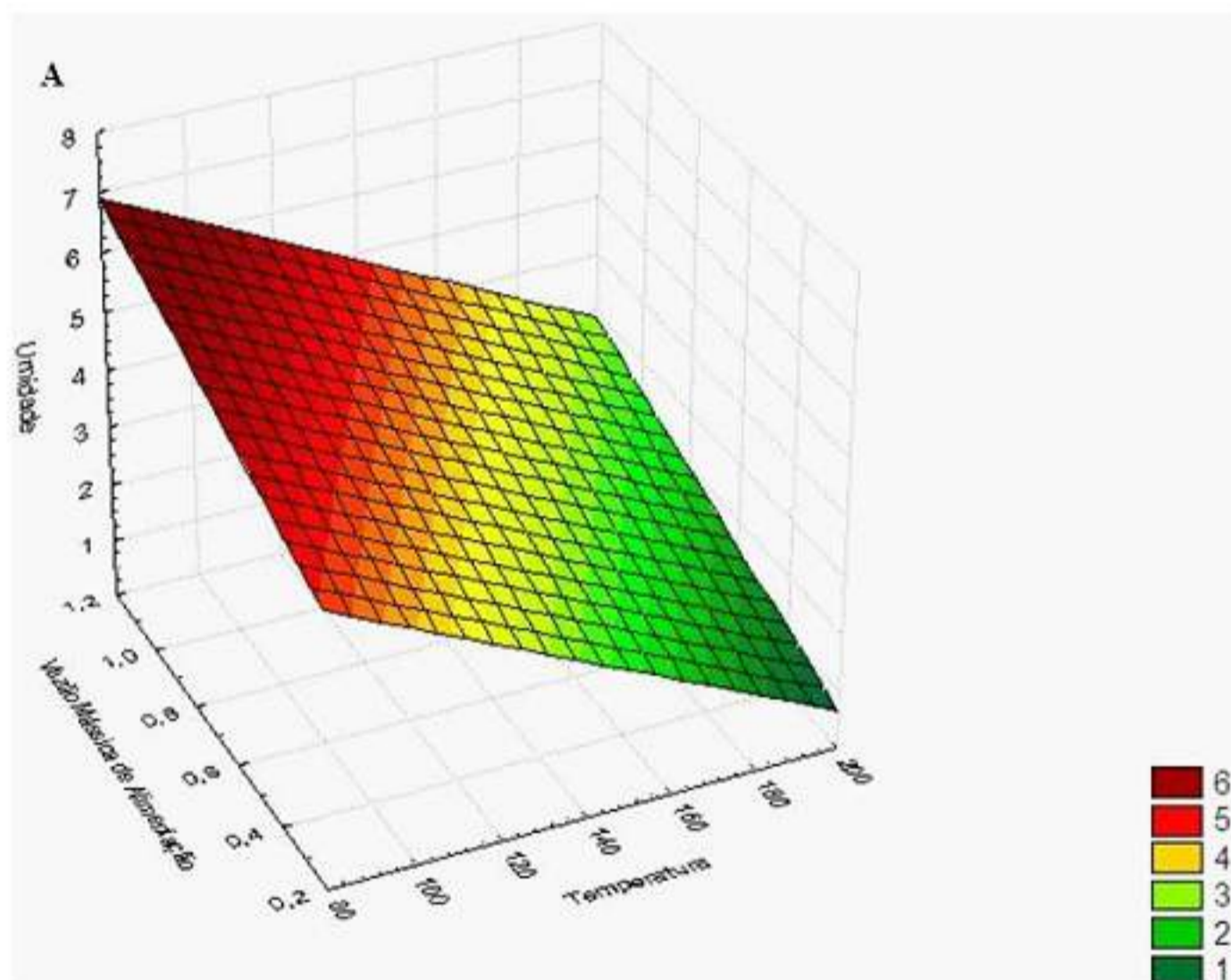
O modelo codificado proposto para representar a umidade das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de umbu, dentro dos limites de temperatura do ar de secagem, vazão mássica e concentração do agente carreador, é descrito pela Equação (3):

$$Umidade = 3,52058 - 1,91135T + 1,14787V$$

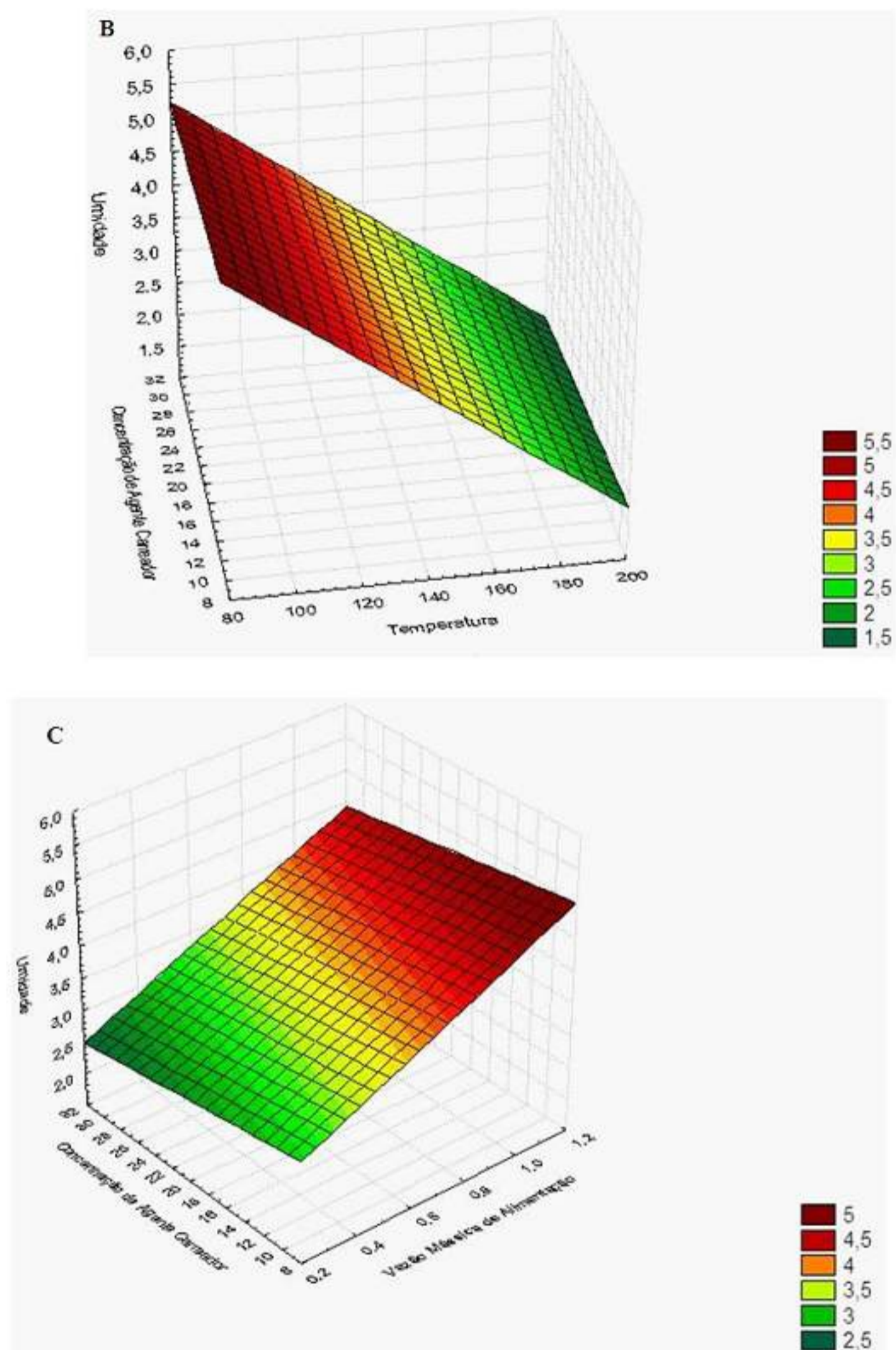
[Equação 3]

Onde: T = temperatura linear do ar de secagem; V = vazão mássica linear.

A Figura 3 mostra as superfícies de resposta geradas através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios de concentração de agente carreador, vazão mássica da mistura e temperatura do ar de secagem.







**Figura 3.** Superfície de resposta para a resposta umidade, (A) em função da temperatura  $\times$  vazão mássica de alimentação, (B) em função da temperatura  $\times$  concentração de agente carreador e (C) em função da vazão mássica de alimentação  $\times$  concentração de agente carreador.



Assim como na  $A_w$ , valores baixos para a variável umidade também são necessários para assegurar a estabilidade dos pós atomizados, tendo em vista que tais valores impedem a aglomeração, a qual tem início com a união de partículas molhadas dificultando o escoamento do pó e sua dispersão (SILVA et al., 2013).

A temperatura do ar de secagem foi a variável que mostrou maior influência sobre a umidade final das partículas, sendo que o aumento desta variável, independente da vazão mássica e da concentração de agente carreador aplicadas, levou à redução da umidade do produto. Quek, Chok e Swedlund (2007) explicam que em condições de secagem cujas temperaturas de entrada são mais elevadas, a taxa de transferência de calor para a partícula é maior, proporcionando uma maior força de condução para a evaporação da umidade. Conseqüentemente, partículas com teor de umidade reduzido são formadas. Goula e Adamopoulos (2010), trabalhando com uma nova técnica de atomização para suco de laranja concentrado, também observaram uma diminuição da umidade das partículas com o aumento da temperatura do ar de secagem.

A vazão mássica da mistura, por sua vez, apresentou um efeito positivo sobre a umidade, ou seja, os processos realizados com vazões mássicas mais elevadas resultaram em partículas mais úmidas. Assim, taxas de alimentação maiores fazem com que o tempo de contato entre o produto e o ar seja menor, tornando o processo de transferência de calor menos eficiente, resultando em uma menor evaporação de água do produto. No entanto, quando foram utilizadas temperaturas mais elevadas, o uso de altas vazões mássicas também resultou em pós com umidades baixas, fato que confirma uma influência maior da temperatura do que da vazão mássica sobre a secagem, conforme pode ser observado na Figura 3.

Os resultados apresentados por Tonon, Brabet e Hubinger (2008), ao avaliar a influência das condições do processo de secagem por atomização sobre as propriedades físico-químicas do açaí em pó, também indicam que a umidade dos pós diminuiu com o aumento da temperatura do ar de secagem e com a diminuição da vazão mássica, sendo o efeito da temperatura maior que o da vazão mássica.



### 5.3.2.3. Higroscopicidade

Os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de higroscopicidade obtidos na secagem da polpa de umbu, são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Coeficiente de regressão, erro padrão, coeficiente *t* e grau de significância estatística (*p*), para cada fator no modelo codificado para higroscopicidade.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	Significância Estatística ( <i>p</i> )
Média	15,30404	1,016297	15,05863	0,004381
Temperatura do ar (L)	-0,43803	0,477541	-0,91726	0,455838
Temperatura do ar (Q)	0,06274	0,526096	0,11925	0,915975
Vazão mássica (L)	-0,01237	0,477541	-0,02591	0,981685
Vazão mássica (Q)	0,48614	0,526096	0,92404	0,453013
Concentração de agente (L)	-1,26947	0,477541	-2,65834	0,117156
Concentração de agente (Q)	-0,14276	0,526096	-0,27136	0,811558
Temperatura x Vazão mássica	-1,09250	0,623662	-1,75175	0,221915
Temperatura x Concentração	0,31250	0,623662	0,50107	0,666031
Vazão mássica x Concentração	0,88000	0,623662	1,41102	0,293693

De acordo com a Tabela 8, os coeficientes de regressão dos fatores lineares, quadráticos e da interação, não foram estatisticamente significativos para a higroscopicidade, em um nível de 95% e por isso não foi possível a obtenção do modelo.

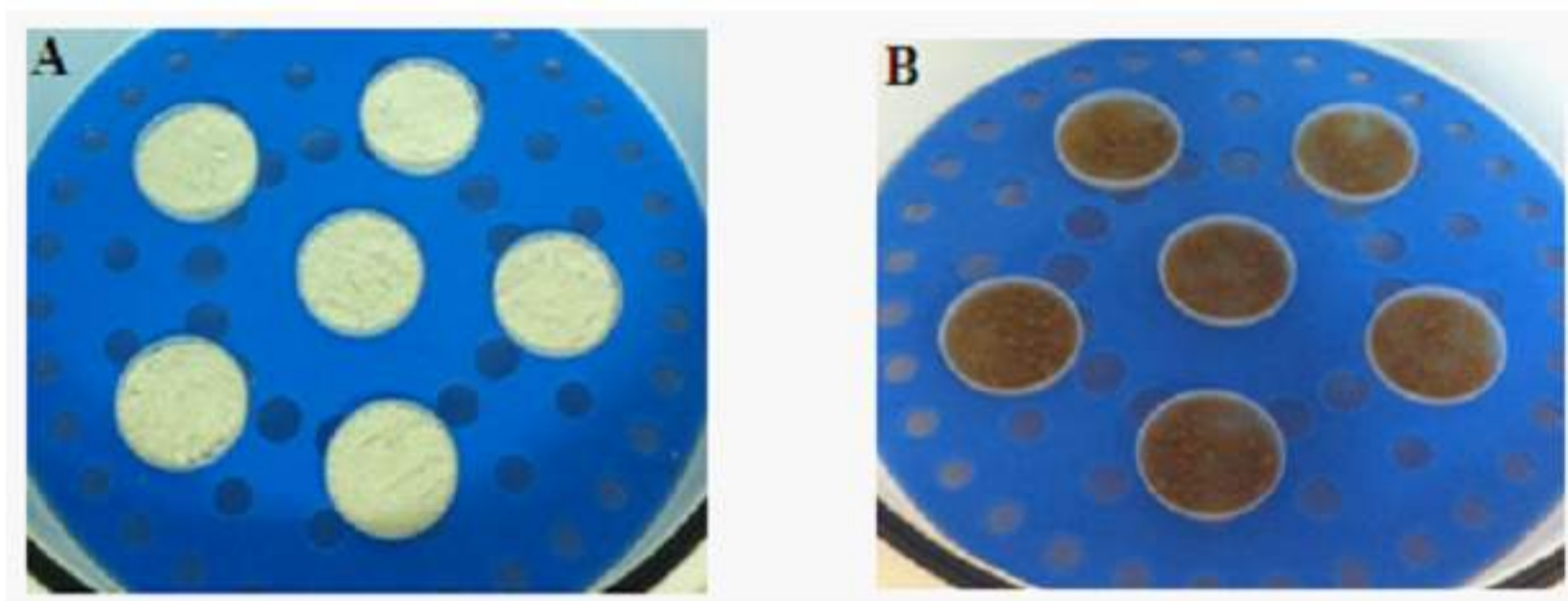
A higroscopicidade do umbu atomizado variou de 10,23 a 19,76 g/100g (Tabela 3), resultados que se enquadram na faixa apresentada por Silva et al. (2013) para própolis atomizado, usando goma arábica e OSA (anidro octenil-succínico) à base de amido como agentes carreadores (13,80 a 29,30 g/100g).

De forma geral, através da análise da Tabela 3, o valor da higroscopicidade diminuiu com o aumento da concentração do agente carreador, visto que a maltodextrina é um material que apresenta baixa higroscopicidade em umidades relativas menores que 50% e que o aumento do conteúdo de sólidos reduz a quantidade de água livre. Este mesmo comportamento foi observado por Moreira et al. (2009), utilizando diferentes concentrações de maltodextrina na secagem por atomização de polpa de acerola.



A higroscopicidade é a propriedade que certos materiais possuem de absorver água e, de acordo com Teunou e Fitzpatrick (1999), a adsorção de água por um alimento em pó depende do tempo de exposição do alimento a condição de alta umidade, pois a água tem que se difundir a partir do ar para dentro do alimento e, assim, à medida que a umidade relativa do ar circundante aumenta, o alimento tende a absorver água, podendo formar pontes líquidas entre as partículas, resultando em uma maior coesão do pó e, conseqüentemente, na redução da sua fluidez.

Assim, durante a análise de higroscopicidade, foram observadas mudanças nas características físicas das partículas decorrentes da adsorção de água. Após 7 dias, as amostras apresentaram aglomerados bastante úmidos e escuros, em relação ao produto original, com formação de uma solução saturada, fato que tornou as partículas pegajosas, causando a inutilização do produto (Figura 4).



**Figura 4.** Mudanças nas características físicas do pó de umbu mantido a 25°C e 75,29% de UR. (A) tempo = 0 dias; (B) tempo = 7 dias.

#### 5.3.2.4. Rendimento

Os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de rendimento do processo obtidos na secagem da polpa de umbu por atomização, são apresentados na Tabela 9.



**Tabela 9.** Coeficiente de regressão, erro padrão, coeficiente *t* e grau de significância estatística (*p*), para cada fator no modelo codificado para rendimento.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	Significância Estatística ( <i>p</i> )
Média	11,40964	1,928620	5,91596	0,027404
Temperatura do ar (L)	-0,10123	0,906226	-0,11170	0,921261
Temperatura do ar (Q)	0,44718	0,998369	0,44791	0,698059
Vazão mássica (L)	-0,26275	0,906226	-0,28994	0,799158
Vazão mássica (Q)	0,52867	0,998369	0,52954	0,649336
Concentração de agente (L)	-0,97142	0,906226	-1,07194	0,395941
Concentração de agente (Q)	0,90956	0,998369	0,91104	0,458441
Temperatura x Vazão mássica	-0,01625	1,183519	-0,01373	0,990292
Temperatura x Concentração	-2,20625	1,183519	-1,86414	0,203316
Vazão mássica x Concentração	-1,36375	1,183519	-1,15228	0,368340

De acordo com a Tabela 9, os coeficientes de regressão dos fatores lineares, quadráticos e da interação, não foram estatisticamente significativos sobre o rendimento do processo, em um nível de 95% e por isso não foi possível a obtenção do modelo. O rendimento do umbu atomizado variou na faixa de 7,34 a 20,49% (Tabela 3), sendo estes valores muito abaixo dos valores obtidos pela maioria dos estudos envolvendo o rendimento do processo de secagem por atomização (Maury et al., 2005; Tonon; Brabet; Hubinger, 2008; Gallo et al., 2011; Fazaeli et al., 2012).

Segundo Goula e Adamopoulos (2005 e 2006), um baixo rendimento no processo de secagem por atomização pode ser explicado pela natureza termoplástica das moléculas de açúcar com baixo peso molecular e dos ácidos orgânicos, causando aderência das gotículas pulverizadas e do pó seco na parede da câmara do secador e formação de aglomerados indesejáveis nos sistemas de transmissão. Durante o processo de atomização ocorreu retenção e incompleta recuperação das partículas, que permaneceram aderidas na parede da câmara do secador, nos tubos, nas juntas e nas paredes do ciclone separador, confirmando assim a afirmação dos autores.

#### 5.3.2.5. Retenção de compostos fenólicos

Os resultados da análise estatística, aplicados aos dados experimentais de retenção de compostos fenólicos obtidos na secagem da polpa de umbu por atomização,



são apresentados na Tabela 10. Os coeficientes de regressão dos fatores lineares, quadráticos e da interação, em negrito, são significativos a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 10.** Coeficiente de regressão, erro, coeficiente  $t$  e grau de significância estatística ( $p$ ), para cada fator no modelo codificado para retenção de compostos fenólicos.

Fatores	Coeficiente de Regressão	Erro Padrão	t(2)	Significância Estatística ( $p$ )
Média	43,32719	1,476892	29,33673	0,001160
Temperatura do ar (L)	0,16417	0,693967	0,23656	0,835019
Temperatura do ar (Q)	<b>-4,64090</b>	<b>0,764528</b>	<b>-6,07029</b>	<b>0,026081</b>
Vazão mássica (L)	<b>3,15906</b>	<b>0,693967</b>	<b>4,55218</b>	<b>0,045023</b>
Vazão mássica (Q)	<b>5,98658</b>	<b>0,764528</b>	<b>7,83042</b>	<b>0,015921</b>
Concentração de agente (L)	<b>7,62893</b>	<b>0,693967</b>	<b>10,99322</b>	<b>0,008173</b>
Concentração de agente (Q)	-1,09959	0,764528	-1,43826	0,286957
Temperatura x Vazão mássica	1,94500	0,906311	2,14606	0,165000
Temperatura x Concentração	1,39000	0,906311	1,53369	0,264838
Vazão mássica x Concentração	3,05500	0,906311	3,37081	0,077869

A temperatura quadrática do ar de secagem, a vazão mássica (linear e quadrática) e a concentração linear de agente carreador, foram os fatores estatisticamente significativos sobre a retenção de compostos fenólicos do processo, em um nível de 95% de confiança (Tabela 10).

Os efeitos quadráticos da temperatura, da vazão mássica e da concentração de agente carreador sugerem a existência de curvaturas nos gráficos de superfície de resposta. Enquanto a vazão mássica linear e a concentração de agente carreador linear apresentam efeito positivo, sendo assim, o aumento nesses parâmetros resultou em maiores valores de retenção de compostos fenólicos.

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 95% de confiança ( $p \leq 0,05$ ), através do teste  $F$ , na análise de variância (ANOVA). A Tabela 11 apresenta os valores calculados e tabelados de  $F$ .



**Tabela 11.** Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para retenção de compostos fenólicos.

	SQ	GL	MQ	F <sub>calculado</sub>	F <sub>tabelado*</sub>
<b>Regressão</b>	1649,85	4	412,46	17,44	3,26
<b>Resíduo</b>	283,68	12	23,64		
<b>Falta de Ajuste</b>	270,54	10	27,05	4,11	19,40
<b>Erro</b>	13,14	2	6,57		
<b>Total SS</b>	2133,61	16			

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

SQ = soma quadrática, GL = grau de liberdade, MQ = média quadrática

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 0,86704, indicando que o modelo explicou 86,70% da variação dos dados observados. O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 95% de confiança ( $F_{\text{calculado}}$  superior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança ( $F_{\text{calculado}}$  inferior ao  $F_{\text{tabelado}}$ ). Sendo assim, o modelo ajustado para o teor de retenção de compostos fenólicos no processo de secagem da polpa de umbu em atomizador foi considerado preditivo.

O modelo codificado proposto para representar a retenção de compostos fenólicos das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de umbu, dentro dos limites de temperatura do ar de secagem, vazão mássica e concentração de maltodextrina, é descrito pela Equação (4):

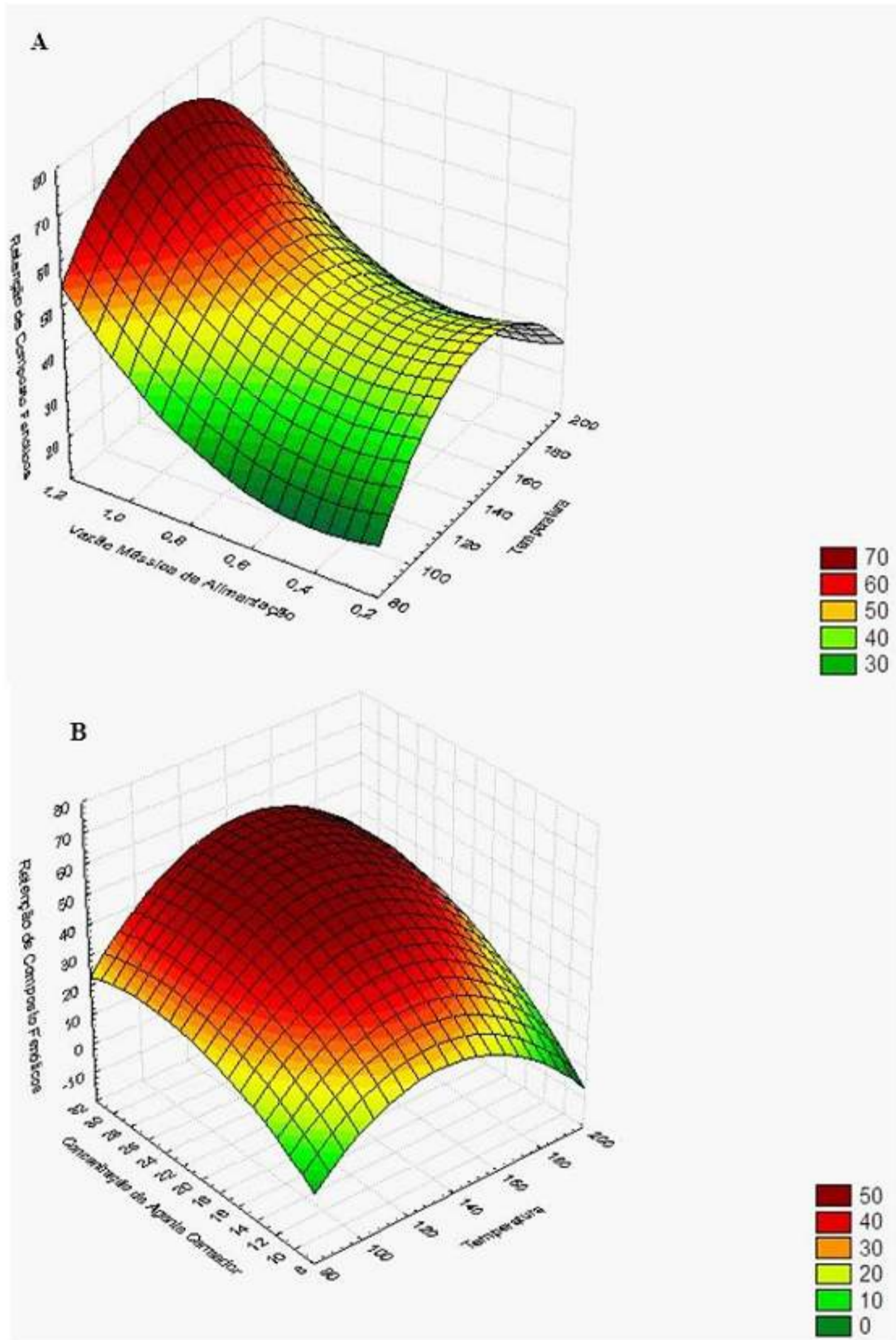
$$\text{Retenção de Compostos Fenólicos} = 41,92506 - 8,63448T^2 + 6,31813V + 12,62048V^2 + 15,25786C$$

[Equação 4]

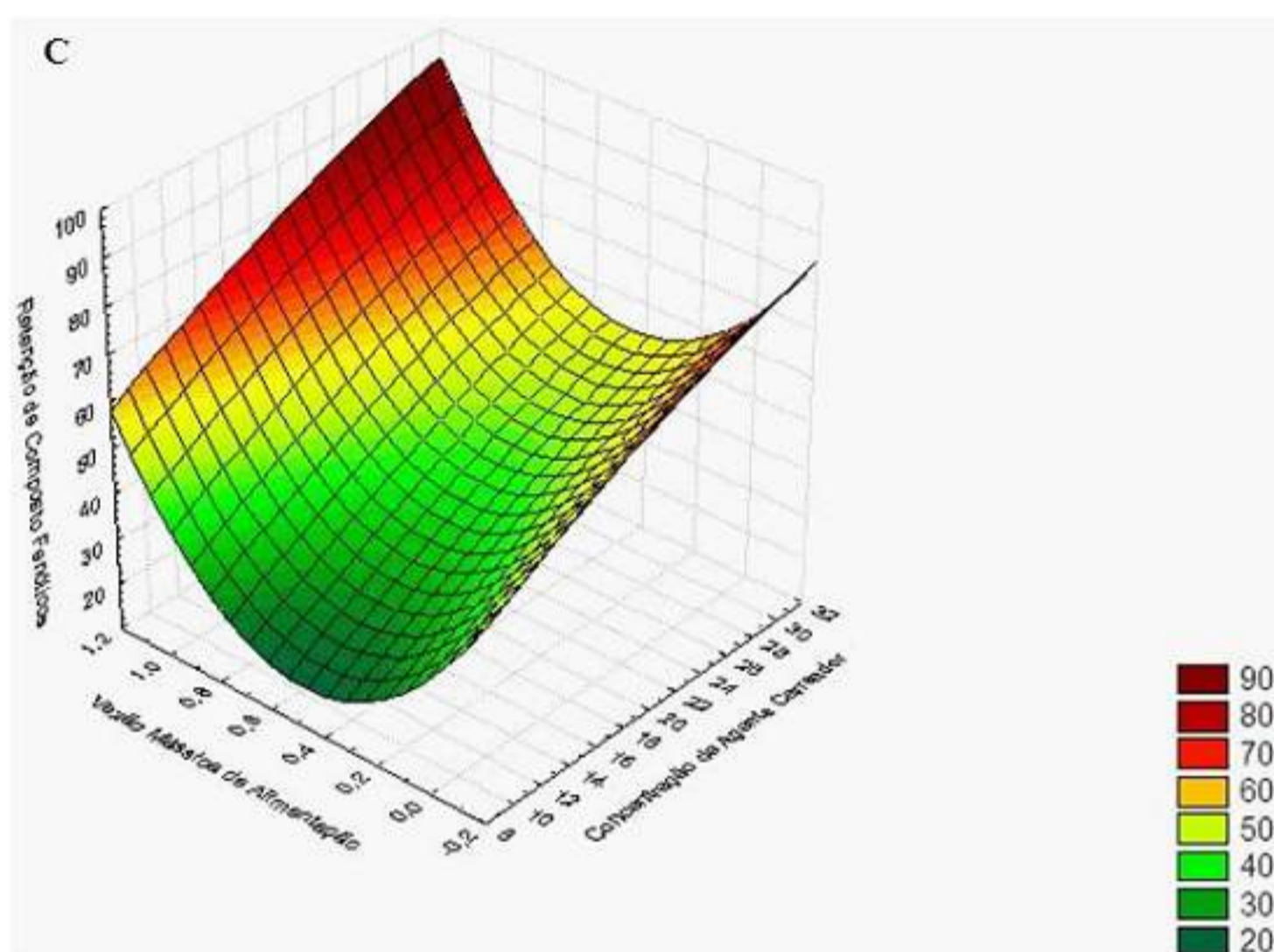
Onde: T = temperatura quadrática do ar de secagem; V = vazão mássica linear;  $V^2$  = vazão mássica quadrática; C = Concentração de agente carreador linear.

A Figura 5 mostra as superfícies de resposta geradas através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios de concentração de agente carreador, vazão mássica da mistura e temperatura do ar de secagem.









**Figura 5.** Superfície de resposta para a resposta retenção de compostos fenólicos, (A) em função da temperatura  $\times$  vazão mássica de alimentação, (B) em função da concentração de agente carreador  $\times$  temperatura e (C) em função da vazão mássica de alimentação  $\times$  concentração de agente carreador.

De acordo com a Figura 5 pode-se afirmar que, independente da temperatura utilizada, os pós de umbu produzidos sob vazão mássica máxima apresentaram maiores taxas de retenção de compostos fenólicos. Fang e Bhandari (2011), por sua vez, avaliaram o efeito da atomização e do armazenamento sobre a estabilidade de polifenóis em *bayberry* e constataram que a temperatura de entrada de 150°C foi associada a taxas elevadas de retenção de compostos fenólicos.

Por outro lado, a utilização de vazões de moderada a baixa, sob temperaturas elevadas, resultou em perdas significantes de compostos fenólicos. Situação que pode ser explicada pelo fato de que quanto maior a permanência das partículas na câmara de secagem, maior será sua exposição a temperaturas elevadas e, conseqüentemente, a perda dos compostos termossensíveis também será maior.

Além disso, segundo Quek, Chok e Swedlund (2007), as partículas produzidas em temperaturas mais baixas apresentam uma tendência à aglomeração, devido à sua



umidade mais alta. Esta aglomeração faz com que as partículas apresentem menor superfície exposta, diminuindo assim a exposição das mesmas às condições ambientais, protegendo os compostos contra a degradação. Tal fenômeno deve ser responsável pelo comportamento apresentado no gráfico A da Figura 5, onde é possível visualizar retenções maiores em temperaturas de moderada a baixa em função de uma vazão mássica mais lenta.

A variável concentração de agente carreador apresentou efeito positivo, desta forma, à medida que a concentração de maltodextrina aumentou, maiores foram os valores de retenção de compostos fenólicos do umbu atomizado. Tal fato era previsível, uma vez que, segundo Desai e Park (2005), dentre as diversas funções de um agente carreador encontra-se a capacidade de selar e segurar o material ativo dentro de sua estrutura durante o processamento ou armazenamento, bem como promover a máxima proteção do material ativo contra as condições ambientais.

Krishnaiah et al. (2012) ao estabelecer uma otimização das condições de secagem por pulverização do extrato de *Morinda citrifolia* L., utilizando a metodologia de superfície de resposta, concluíram que um aumento na concentração de maltodextrina foi favorável para a obtenção de um total elevado de compostos fenólicos em temperaturas mais amenas. No entanto, em temperaturas mais altas, a preservação dos compostos fenólicos foi afetada mesmo com aplicação de altas concentrações de maltodextrina.

No estudo de Krishnaiah et al. (2012), a temperatura exerceu maior influência sobre a retenção dos compostos fenólicos do que a concentração de agente carreador, enquanto no presente estudo a concentração de agente carreador foi o fator que apresentou maior influência sobre a retenção dos compostos fenólicos (Tabela 10).

No que diz respeito à vazão mássica em função da concentração de agente carreador (Figura 5), pode-se afirmar que o aumento, tanto da vazão mássica quanto da concentração de agente carreador levou a perdas menores dos compostos fenólicos.

### **5.3.3. Seleção das melhores condições de secagem**

Através da determinação dos coeficientes de regressão e da análise de variância (ANOVA), foi possível obter modelos para prever as respostas: atividade de água,



umidade e retenção dos compostos fenólicos. Para as respostas rendimento e higroscopicidade, os modelos obtidos não foram estatisticamente significativos, dentro dos valores (níveis) utilizados para cada variável independente do planejamento experimental. Isto indica ser necessário o estabelecimento de outros níveis de estudo para que seja realizada a otimização destas propriedades do pó, o que, no caso do presente trabalho, não foi possível devido as condições operacionais disponíveis no atomizador utilizado.

Uma vez que a atividade de água e a umidade de todas as amostras obtidas foram baixas (variou entre 0,09 e 0,25 para atividade de água e entre 2,01 e 5,62% para umidade) e que as respostas apresentadas pela higroscopicidade e pelo rendimento não foram estatisticamente significativas, o principal critério utilizado para a seleção das melhores condições de secagem foi a retenção de compostos fenólicos.

Conforme discutido no item 5.3.2.5, as maiores retenções de compostos fenólicos foram observadas sob as seguintes condições: vazão mássica máxima, independente da temperatura utilizada; temperaturas de moderada a baixa em função de uma vazão mássica mais lenta; altas concentrações de maltodextrina aliadas a vazões mássicas mais rápidas e temperaturas mais amenas.

Dessa forma, foram selecionadas duas condições de processo apontadas como mais favoráveis para a secagem por atomização da polpa de umbu: Ensaio A, com temperatura do ar de 117°C, vazão mássica de 0,24 L/h e concentração de agente carreador igual a 25% e ensaio B, com temperatura do ar de 133°C, vazão mássica de 0,91 L/h e concentração de agente carreador de 22%. Nenhum dos ensaios selecionados foi idêntico aos ensaios utilizados no planejamento experimental, assim, os ensaios foram escolhidos de acordo com a análise dos gráficos de superfície de resposta.

#### **5.3.4. Validação dos modelos obtidos**

Para validação dos modelos obtidos no planejamento experimental, foram realizados dois ensaios nas condições de secagem descritas no tópico 5.3.3. Os resultados experimentais e os valores preditos pelos estão apresentados na Tabela 12.



**Tabela 12.** Valores experimentais e preditos para as análises realizadas no pó produzido sob as condições selecionadas pela análise dos gráficos de superfície de resposta.

Análise	Ensaio A			Ensaio B		
	Valores Experimentais	Valores Preditos	DR %	Valores Experimentais	Valores Preditos	DR %
Atividade de Água	0,28	0,29	1,30	0,14	0,16	9,13
Umidade (%)	3,63	3,33	5,51	5,51	5,58	1,25
RCF (%)	60,00	67,52	11,13	60,00	75,26	20,27

DR = Desvio Relativo, RCF = Retenção de Compostos Fenólicos

Os valores experimentais foram, em sua maioria, coerentes com os preditos pelos modelos obtidos no planejamento experimental, apresentando desvios relativos inferiores a 10% para as análises de atividade de água e de umidade nos dois ensaios. A retenção de compostos fenólicos, no entanto, apresentou desvios relativos superiores nos dois ensaios, o que pode indicar que a capacidade de predição do modelo para esta resposta não tenha sido tão eficiente quanto para as demais.

Entretanto, os valores de desvio relativo mais elevados para a retenção de compostos fenólicos podem ser explicados levando-se em conta os possíveis erros ocorridos durante a análise de compostos fenólicos (que são compostos sensíveis à luz, calor e oxigênio). Além disso, a retenção é calculada pela diferença entre duas análises realizadas em triplicata (acumulando, desta forma, o erro das duas análises) e o teor de compostos fenólicos calculado em base seca (acumula possíveis erros na determinação de umidade).



#### 5.4. CONCLUSÕES

Diante do exposto é possível concluir que temperaturas elevadas produziram amostras com menores teores de atividade de água e de umidade. Vazões mássicas maiores, além de tornarem o processo mais rápido, contribuíram com o controle da umidade e preservação dos compostos fenólicos. A concentração de agente carreador também apresentou efeito positivo sobre a retenção de compostos fenólicos, o que pode ser explicado devido ao poder protetor inerente à maltodextrina.

No entanto, é possível afirmar que o planejamento experimental utilizado durante a pesquisa não foi capaz de otimizar o processo de secagem por atomização para o umbu. Desta forma, tendo em vista que as variáveis higroscopicidade e rendimento do processo não apresentaram significância estatística e que as variáveis atividade de água e umidade de todos os ensaios demonstraram valores dentro do permitido pela legislação de alimentos desidratados, o principal critério utilizado para a seleção das melhores condições de secagem foi a retenção de compostos fenólicos.

Assim, de acordo com a análise dos gráficos de superfície de resposta, foram eleitos dois ensaios para dar continuidade à pesquisa: o ensaio A, com temperatura do ar de 117°C, vazão mássica de 0,24 L/h e 25% de agente carreador e o ensaio B, com temperatura do ar de 133°C, vazão mássica de 0,91 L/h e 22% de agente carreador.



## 5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIO, F.D.B.; DOMINGUES, A.M.; BORGES, S.V. ; OLIVEIRA, V.M. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice: Effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 285–287, 2004.

A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**. 18<sup>a</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, 2006.

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B. R.; TROUNG, V. Characterization of the surface stickiness of fructose-maltodextrin solutions during drying, **Drying Technology**, v. 21, p. 17-34, 2003.

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B.R.; TROUNG, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: Experiments and modeling. **Journal of Food Engineering**, v.62, p. 53–68, 2004.

BARRETT, D.M.; SOMOGYI, L.; RAMASWAMY, H. **Processing fruits**. 2<sup>a</sup> ed., Boca Raton: CRC Press, 2004. 841 p.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 de dezembro de 2005.

CAI, Y.Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. **Journal of Food Science**, v.65, p. 1248-1252, 2000.

COSTA, N.P.; LUZ, T.L.B.; GONÇALVES, E.P.; BRUNO, R.L.A. Caracterização físico-química de frutos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* ARR. CÂM.), colhidos em quatro estádios de maturação. **Boisience Journal**, v.20, p. 65-71, 2004.

DESAI, K.G.H.; PARK, H.J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**, v.23, p. 1361–1394, 2005.



- FANG, Z.; BHANDARI, B. Effect of spray drying and storage on the stability of *bayberry* polyphenols. **Food Chemistry**, v. 129, p. 1139–1147, 2011.
- FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A.K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 667–675, 2012.
- GALLO, L.; LLABOT, J.M.; ALLEMANDI, D.; BUCALÁ, V.; PIÑA, J. Influence of spray-drying operating conditions on *Rhamnus purshiana* (Cáscara sagrada) extract powder physical properties. **Powder Technology**, v. 208, p. 205–214, 2011.
- 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, p. 1107-1121, 2007.
- GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.11, p. 342–351, 2010.
- GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p.25-34, 2005.
- GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. Retention of ascorbic acid during drying of tomato halves and tomato pulp. **Drying Technology**, v. 24, p.57-64, 2006.
- HUI, Y.H. **Handbook of food science, technology and engineering**. v. 1, Boca Raton: CRC Press, 2006. 3618 p.
- KRISHNAIAH, D.; SARBATLY, R.; NITHYANANDAM, R. Microencapsulation of *Morinda citrifolia* L. extract by spray-drying. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 622–632, 2012.
- MAURY, M.; MURPHY, K.; KUMAR, S.; SHI, L.; LEE, G. Effects of process variables on the powder yield of spray-dried trehalose on a laboratory spray-dryer. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 59, p. 565–57, 2005.



MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **Horticultural Science**, v.27, p. 1254-1255, 1992.

MOREIRA, G.E.G.; COSTA, M.G.M.; SOUZA, A.C.R.; BRITO, E.S.; MEDEIROS, M.F.D.; AZEREDO, H.M.C. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying AIDS. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, p. 641–645, 2009.

NARAIN, N.; BORA, P.S.; HOLSCHUH, H.J.; VASCONCELOS, M.A.S. Variation in physical and chemical composition during maturation of umbu (*Spondias tuberosa*) fruits. **Food Chemistry**, v.44, p. 255-259, 1992.

NETO, E.M.D.F.L.; PERONI, N.; MARANHÃO, C.M.C.; MACIEL, M.I.S.; ALBUQUERQUE, U.P.D. Physical and Chemical Characterization of *Spondias tuberosa* Arruda Fruit from Different Caatinga Landscapes in Altinho-PE. **The Natural Products Journal**, v.2, p. 1-5, 2012.

OSORIO, C.; FORERO, D.P.; CARRIAZO, J.G. Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spray-drying. **Food Research International**, v. 44, p. 1174–1181, 2011.

QUEK, S.Y.; CHOK, N.K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 386–392, 2007.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURACALIXTO, 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.

SAÉNZA, C.; TAPIAA, S.; CHÁVEZC, J.; ROBERTB, P.; Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, Pages 616–622, 2009.

SILVA, F.C.; FONSECA, C.R.; ALENCAR, S.M.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J.C.C.; PITTIA, P.; FAVARO-TRINDADE, C.S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried propolis, a natural food



additive, using gum Arabic and OSA starch-based carrier systems. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, p. 28–36, 2013.

SINGLETON, V.I.; ORTHOFER, R.; LAMUCLA-REVERENTOS, R.M. Analysis of total phenol and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu. **Methods in Enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1999.

SOLVAL, K.M.; SUNDARARAJAN, S.; ALFARO, L.; SATHIVEL, S. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology. **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, p. 287-293, 2012.

TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J.J. Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, v 42, p. 109–116, 1999.

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.

TROLLER, J.A. Trends in research related to the influence of “water activity” on microorganisms in food. In: LEVINE, H.; SLADE, L. (Eds.). **Water relationships in foods: Advances in the 1980's and trends for the 1990's**. Nova York: Plenum Press, 1991. 305-313.

TURCHIULI, C.; GIANFRANCESCO, A.; PALZER, S.; DUMOULIN, E. Evolution of particle properties during spray drying in relation with stickiness and agglomeration control. **Powder Technology**, v.208, p. 433–440, 2011.

WANG, S.; LANGRISH, T. A review of process simulations and the use of additives in spray drying. **Food Research International**, v.42, p. 13–25, 2009.

WETTASINGHE, M.; SHAHIDI, F. Evening primrose meal: a source of natural antioxidants and scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v.47, p. 1801-1812, 1999.



## 6. ARTIGO 2 – AVALIAÇÃO SENSORIAL, CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DO UMBU ATOMIZADO

### RESUMO

Atualmente, entre as principais exigências do consumidor encontram-se alimento de rápido preparo, seguro, atrativo e que apresente boas características nutricionais, satisfazendo ao máximo seu paladar. Desta forma, a análise sensorial tem um papel de suma importância no desenvolvimento de novos produtos e é através dela que a indústria alimentícia caracteriza matérias-primas, identifica as preferências dos consumidores e otimiza a qualidade do produto. Neste trabalho foram avaliadas a aceitação, a intenção de compra e a preferência do suco de umbu reconstituído, bem como as propriedades físicas e o potencial antioxidante do umbu atomizado mais aceito durante a análise sensorial. As análises microbiológicas apontaram que o umbu estava dentro das exigências de higiene estabelecidas pela legislação vigente. Desta forma, foram realizados testes afetivos com 61 provadores não treinados, que por meio de escala hedônica de sete pontos, indicaram o quanto gostaram ou não em relação aos atributos de qualidade e, com escala hedônica de cinco pontos, a intenção de compra foi avaliada. Um teste de preferência também foi aplicado. O produto foi então caracterizado em relação à densidade aparente, solubilidade, morfologia e potencial antioxidante. O suco de umbu reconstituído cujas condições de secagem por atomização foram temperatura do ar de secagem de 133°C, vazão mássica de alimentação de 0,91 L/h e 22% de agente carreador (maltodextrina DE 15) apresentou as maiores médias no teste de aceitação, intenção de compra e preferência. Vale salientar que em relação ao índice de aceitabilidade foi comprovada uma aceitação acima de 70%. Os resultados da caracterização física do referido ensaio foram: densidade aparente de 0,61 g/mL, solubilidade de 80,28% e em relação à morfologia as partículas de umbu atomizado apresentaram tamanho uniforme, formação de numerosos e pequenos aglomerados, formato esférico e superfície predominantemente rugosa com presença de depressões, embora uma minoria tenha apresentado superfície lisa. O potencial antioxidante do umbu atomizado, medido pelos métodos DPPH e ABTS, não foi expressivo quando comparado ao potencial antioxidante de outras frutas atomizadas, fato que pode ser explicado pelo baixo teor de compostos fenólicos apresentado pelo produto. Neste cenário, percebe-se que o umbu atomizado tem um expressivo espaço para desenvolvimento em termos de consumo. No entanto, ajustes no planejamento experimental devem ser feitos para que o processo de secagem por atomização ofereça um produto com características físicas e potencial antioxidante dentro do esperado para produtos atomizados provenientes de frutas.

**Palavras-chave:** análise sensorial; propriedades físico-químicas; *Spondias tuberosa* Arr. Câm.; atomização.



## ABSTRACT

Currently, among the main demands of the consumer are food preparation fast, safe, attractive and to present good nutritional characteristics, the most satisfying your palate. Thus, sensory analysis has a role of paramount importance in the development of new products and through it that the food industry is characterized raw materials, identifies consumer preferences and optimizes product quality. In this work, acceptance, purchase intent and preference umbu reconstituted juice as well as the physical properties and the antioxidant potential of umbu atomized more accepted during the sensory analysis. Microbiological analysis showed that umbu was within the hygiene requirements established by law. Thus, affective tests were performed with 61 untrained panelists, who through seven-point hedonic scale, indicate how liked or not in relation to quality attributes, and with five-point hedonic scale, purchase intent was assessed. A preference test was also applied. The product was then characterized with respect to density, solubility, morphology, and antioxidant potential. The reconstituted juice umbu whose conditions of spray drying were drying air temperature of 133°C, mass flow rate of supply of 0,91 L/h and 22% maltodextrin (DE 15 maltodextrin) had the highest average in acceptance testing, purchase intent and preference. It is noteworthy that in relation to the acceptability index was proven acceptance above 70%. The results of the physical characterization of the experiment were: density 0,61 g/mL, solubility and 80,28% in relation to the morphology umbu atomized particles showed uniform size and number of formation of small agglomerates, spherical and predominantly rugged surface with the presence of depressions, although a minority has presented a smooth surface. The antioxidant potential of umbu atomized, measured by DPPH and ABTS, was not significant when compared to other antioxidant fruits atomized, which can be explained by the low content of phenolic compounds presented by the product. In this scenario, it is clear that the atomized umbu has a significant room for development in terms of consumption. However, in the experimental adjustments should be made to the spray drying process provides a product having physical characteristics and antioxidant activity expected for atomized product derived from fruit.

**Keywords:** Sensory analysis, physicochemical properties; *Spondias tuberosa* Arr. Câm.; spray drying.



## 6.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de possui amplo território, o que explica sua enorme diversificação de espécies vegetais. As frutas, por sua vez, assumem forte papel econômico no país, movimentando o mercado, gerando emprego e renda. Além da contribuição na economia, o consumo de frutas representa uma fonte segura de nutrientes e compostos bioativos que atuam na prevenção de doenças.

A região nordeste do Brasil, em função das condições climáticas, é conhecida pela produção em larga escala de diversas frutas tropicais e sub-tropicais. Entre as frutas exóticas produzidas na Região, o gênero *Spondias* se destaca. Dentre os frutos desse gênero encontra-se o umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara), fruto bastante apreciado na região (NARAIN; GALVÃO; MADRUGA, 2007).

Na época da safra pequenos agricultores familiares aproveitam a disponibilidade do umbu, tomando-o uma fonte de renda na entressafra de outras culturas tradicionais. No entanto, sua safra não é de todo aproveitada, uma vez que o fruto apresenta alta perecibilidade.

Considerando as tendências atuais dos consumidores que buscam por praticidade e por alimentos mais nutritivos e benéficos à saúde, o processamento do umbu *in natura* para a obtenção do umbu em pó por meio da desidratação por atomização surge como uma alternativa viável. O produto obtido com a aplicação dessa tecnologia é natural, estável, versátil, além de contribuir para reduzir as perdas pós-colheita e agregar valor ao produto final. Entretanto, torna-se relevante avaliar a aceitação deste novo produto pelos consumidores, pois a satisfação ou não do consumidor pode interferir nas decisões de compra.

A análise sensorial é uma ferramenta utilizada pela indústria alimentícia que permite a caracterização de diferenças e semelhanças entre produtos, a otimização de atributos como aparência, cor, aroma, sabor e textura, bem como avaliar possíveis alterações sensoriais que podem ocorrer durante o armazenamento de um alimento e a aceitação do produto pelo consumidor.

Para investigar a preferência e a aceitação dos consumidores são comumente usados testes afetivos. A abordagem afetiva é influenciada pela mente e por um



conjunto de sentimentos subjetivos do indivíduo. Os dois métodos mais utilizados para medir diretamente a preferência e a aceitação são os testes de comparação pareada e escala hedônica, respectivamente (CHAE; LEE; LEE, 2010; STONE; SIDEL, 2004).

Assim como as características sensoriais, as propriedades físicas e o potencial antioxidante de um alimento em pó são importantes, pois exercem influência sobre a qualidade do produto final. Segundo Barbosa-Cánovas e Juliano (2005), as propriedades de pós alimentares podem ser classificadas em primárias ou secundárias, ou ainda, em propriedades físicas ou químicas. As propriedades físicas incluem morfologia, densidade, porosidade, características de superfície, diâmetro e tamanho da partícula, enquanto que, as químicas estão relacionadas à composição do alimento e sua interação com outras substâncias, tais como solventes ou mesmo materiais da própria estrutura do alimento.

O conhecimento das características sensoriais e das propriedades físicas de um novo produto é necessário para otimizar processos, reduzir custos e ofertar um produto apto a competir com os produtos já existentes no mercado. Desta forma, o presente estudo objetivou avaliar a aceitação, a intenção de compra e a preferência do néctar de umbu atomizado, caracterizar suas propriedades físicas e mensurar seu potencial antioxidante.



## **6.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **6.2.1. Material**

#### **6.2.1.1. Matéria-prima**

Para a produção do umbu atomizado foram utilizados frutos do umbuzeiro adquiridos no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco – CEASA/PE. Após selecionados de acordo com o estágio de maturação (meio maduros e maduros) os frutos foram lavados em água corrente, sanitizados com água clorada (teor de cloro ativo de 2,38%) e despulpados em despulpadeira semi-industrial, modelo bobina compacta (Itabauna/BA). A polpa obtida foi acondicionada em sacos plásticos de polietileno e, imediatamente, congelada. A polpa foi descongelada conforme a necessidade, para ser submetida ao processo de atomização.

#### **6.2.1.2. Agente carreador**

O agente carreador utilizado foi a maltodextrina *MOR-REX® 1914*, com dextrose equivalente (DE) 15, da Corn Products (Mogi-Guaçu, Brasil). Este material foi escolhido por apresentar um baixo custo e por ser comumente usado na secagem de sucos de fruta por atomização.

### **6.2.2. Métodos**

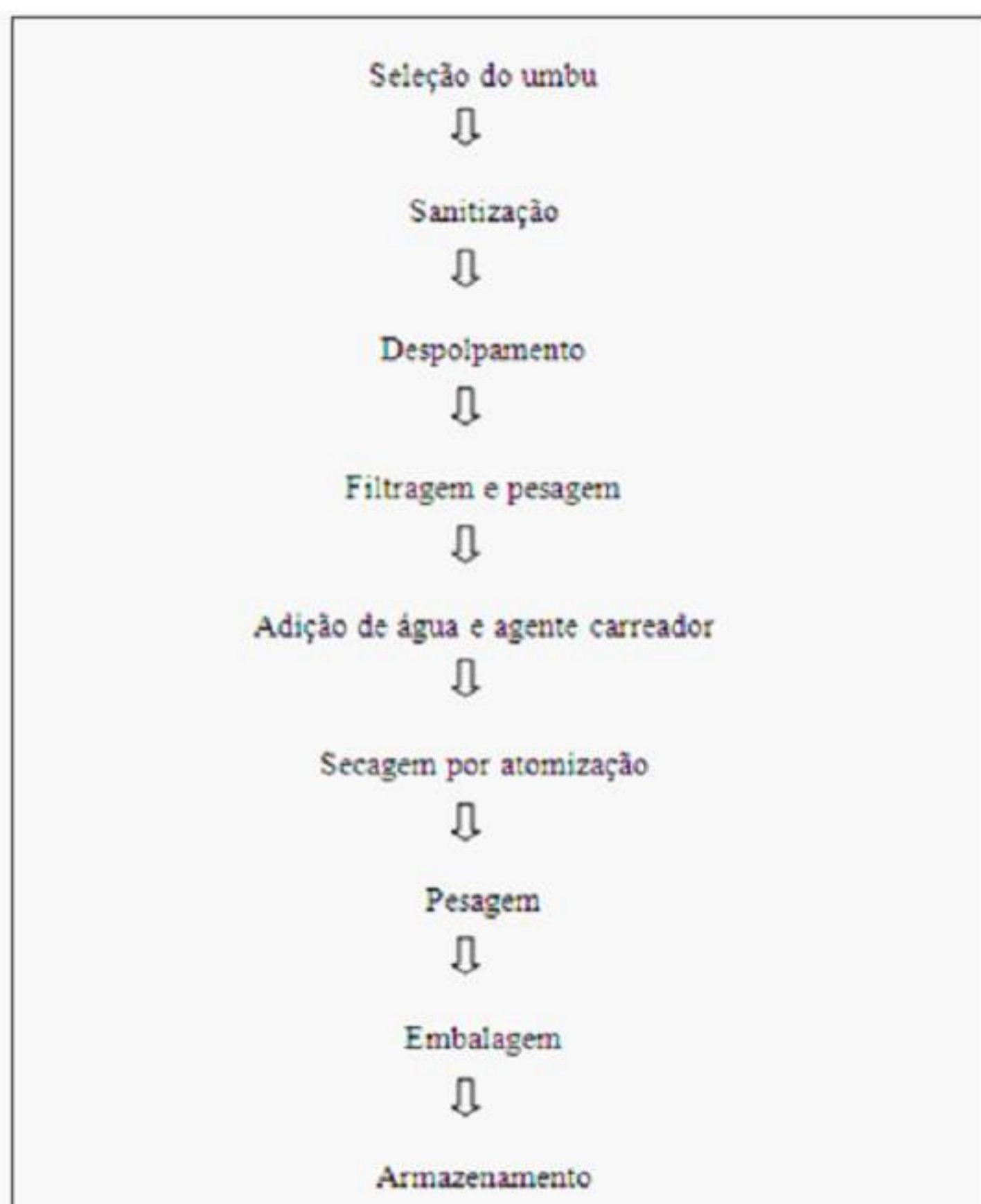
#### **6.2.2.1. Obtenção do umbu atomizado**

Os ensaios utilizados para a avaliação sensorial, caracterização física e investigação do potencial antioxidante foram selecionados a partir dos gráficos de superfície de resposta e de curvas de contorno para a variável dependente retenção de compostos fenólicos de acordo com o item 5.3.3 descrito no primeiro artigo. Os ensaios foram denominados de ensaio A e B, cujas condições de secagem foram: Temperatura do ar de secagem 117°C, vazão mássica de alimentação 0,24 L/h, concentração do agente carreador 25% e temperatura do ar de secagem 133°C, vazão mássica de alimentação 0,91 L/h, concentração do agente carreador 22%, respectivamente.

O fluxograma apresentado na Figura 1 descreve as etapas para a obtenção do produto em estudo. Inicialmente, a polpa de umbu foi descongelada e peneirada. Após a



pesagem da polpa peneirada foi adicionado cerca de 50% de água e, posteriormente, o agente carreador nas concentrações pré-determinadas (calculadas em função da polpa de umbu peneirada sem a adição de água), sendo esta mistura mantida sob agitação em homogeneizador Tecnal, modelo TE-102 (Piracicaba/SP) até completa dissolução. Para a secagem em escala laboratorial foi utilizado um mini atomizador – Labmaq, modelo MSD 1.0 (Ribeirão Preto/SP). Após a atomização o umbu atomizado foi pesado, acondicionado em pote de vidro (240 mL), que foi hermeticamente fechado e armazenado em temperatura ambiente ( $21\pm 2^{\circ}\text{C}$ ) ao abrigo da luz até a realização das determinações analíticas.



**Figura 1.** Fluxograma do desenvolvimento do umbu atomizado.



As análises foram realizadas nos Laboratórios de Análises Sensorial de Alimentos e Análise Físico-química de Alimentos, do Departamento de Ciências Domésticas da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

#### **6.2.2.2. Aprovação do Comitê de Ética**

Antes da realização dos testes sensoriais, este trabalho foi submetido à análise do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Pernambuco, que aprovou a realização dos experimentos (Registro CEP/UPE: 235/11 e Registro CAAE: 0236.0.097.000-11) (Anexo 1). O termo de consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) foi afixado na porta do local de aplicação da avaliação sensorial do néctar de umbu atomizado e cada julgador assinou uma ficha na qual declarou concordar em participar voluntariamente da avaliação sensorial (Anexo 2).

#### **6.2.2.3. Análises microbiológicas**

As análises microbiológicas do umbu atomizado foram realizadas no Laboratório Experimental de Análise de Alimentos Nonete Barbosa Guerra (LEAAL), do Departamento de Nutrição (UFPE). Foram investigados Coliformes a 45°C (NMP/g) de acordo com a AOAC (2005; Método: 966.24) e *Salmonella* SSP/25g (AOAC, 2005; Método: 967.26), de acordo com o estabelecido na Resolução - CNNPA nº 12 (BRASIL, 1978) e na Resolução - RDC nº 12 (BRASIL, 2001).

#### **6.2.2.4. Avaliação Sensorial do néctar de umbu atomizado**

As formulações do néctar de umbu atomizado foram submetidas aos testes de aceitação, intenção de compra e preferência. Participaram da avaliação sensorial 61 julgadores não treinados, sendo 18 homens e 43 mulheres na faixa etária entre 17 a 64 anos de idade.

##### **6.2.2.4.1 Preparo dos néctares**

Para a avaliação sensorial, utilizou-se a polpa de umbu *in natura* e o umbu atomizado (Ensaio A e B, conforme tópico 6.2.2.1.). O néctar obtido a partir da polpa de umbu *in natura* foi preparado diluindo-se a polpa na proporção de 1:4 (polpa:água mineral). Para o néctar de umbu atomizado, foi utilizado 60 g de pó (equivalente a 500 g de polpa de acordo com testes prévios) para 2 litros de água mineral. Todos os



néctares foram adoçados com 8% de sacarose, preparados com uma hora de antecedência e mantidos a  $9 \pm 2^\circ\text{C}$  até o momento de serem servidos aos provadores.

#### 6.2.2.4.2. Teste de aceitação e intenção de compra

O teste de aceitação foi realizado utilizando-se escala hedônica de sete pontos, na qual os julgadores não treinados avaliaram o quanto gostaram ou não dos seguintes atributos: cor, aroma, sabor e aparência. Enquanto a intenção de compra foi investigada empregando escala estruturada de cinco pontos, variando de “certamente não compraria” a “certamente eu compraria” (Figura 2).

##### Teste de aceitação do néctar de umbu atomizado

Nome: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Avalie a amostra de néctar de umbu codificada e use a escala abaixo para indicar o quanto você gostou ou desgostou da amostra.

**Código da amostra:** \_\_\_\_\_

- 7 – Gostei extremamente
- 6 – Gostei moderadamente
- 5 – Gostei ligeiramente
- 4 – Indiferente
- 3 – Desgostei ligeiramente
- 2 – Desgostei moderadamente
- 1 – Desgostei extremamente

<p><b>Cor:</b> _____</p> <p><b>Aroma:</b> _____</p> <p><b>Sabor:</b> _____</p> <p><b>Aparência:</b> _____</p>
---

Por favor, indique na escala abaixo se você **compraria** ou **não compraria** este produto.

**Marque com um X.**

- Certamente eu compraria
- Provavelmente eu compraria
- Talvez eu compraria / Talvez eu não compraria
- Provavelmente eu não compraria
- Certamente eu não compraria

**Figura 2.** Ficha de respostas para o teste de aceitação e intenção de compra.

Os testes foram conduzidos em cabines individuais, sob luz branca. As amostras foram codificadas com números aleatórios de três dígitos e apresentadas monadicamente, seguindo ordem de apresentação em blocos completos casualizados. Os néctares foram servidos à temperatura de  $9^\circ\text{C}$ , em copos de 50 mL contendo,



aproximadamente, 30 mL do néctar, acompanhados de água e bolacha para limpeza do palato entre as amostras.

O índice de aceitação (IA) global e de cada atributo foi calculado somando as médias acima de 4 e calculando o percentual de acordo com a quantidade de julgadores. Enquanto o índice de rejeição (IR) foi calculado somando as médias abaixo de 4 (TEIXEIRA; MEINERT; BARBETTA, 1987). Os dados de intenção de compra foram tabulados em planilhas do programa Microsoft Excel® e a porcentagem calculada da seguinte forma: a soma da nota máxima que poderia ser dada pelos 61 julgadores representa 100% e a soma das notas reais obtidas pelos 61 julgadores representa o percentual de intenção de compra. A soma dos percentuais da escala de intenção de compra deve ser semelhante ao percentual de intenção de compra.

#### 6.2.2.4.3. Teste de Preferência

O teste de preferência de comparação pareada foi aplicado para avaliar os atributos, aroma e sabor dos néctares, utilizando uma escala de sete pontos variando de extremamente menos preferido que o padrão (1) para extremamente mais preferido que o padrão (7), sendo o 4 igual ao padrão (Figura 3). Considerando-se como amostra Padrão o suco obtido a partir da polpa de umbu *in natura*.

Teste de preferência de comparação pareada entre os néctares de umbu atomizado e o néctar natural		
Nome: _____ Idade: _____ Data: _____		
Você recebeu uma amostra-padrão (P) e 2 amostras codificadas. Compare cada amostra com o padrão (se é MELHOR, IGUAL OU PIOR que o PADRÃO) em relação à sua preferência, avaliando o grau de preferência de acordo com a ESCALA abaixo.		
7 <b>Extremamente</b> MAIS PREFERIDO que o padrão		
6 <b>Regularmente</b> MAIS PREFERIDO que o padrão		
5 <b>Ligeiramente</b> MAIS PREFERIDO que o padrão		
4 <b>IGUAL</b> ao padrão		
3 <b>Ligeiramente</b> MENOS PREFERIDO que o padrão		
2 <b>Regularmente</b> MENOS PREFERIDO que o padrão		
1 <b>Extremamente</b> MENOS PREFERIDO que o padrão		
Código da amostra	AROMA	SABOR
_____	_____	_____
_____	_____	_____

**Figura 3.** Ficha de respostas para o teste de preferência.



Os testes foram conduzidos em cabines individuais, sob luz vermelha, para mascarar as diferenças de coloração entre os sucos. As amostras foram codificadas com números aleatórios de três dígitos, seguindo ordem de apresentação em blocos completos casualizados e servidas à temperatura de 9°C, em copos de 50 mL contendo, aproximadamente, 30 mL do néctar, acompanhadas de água e bolacha para limpeza do palato entre as amostras.

#### 6.2.2.5. Caracterização física do umbu atomizado

O produto desenvolvido foi caracterizado de acordo com as seguintes determinações:

##### 6.2.2.5.1. Densidade aparente

A densidade aparente ( $\rho_b$ ) foi medida seguindo o procedimento descrito em estudos anteriores com algumas modificações (BARBOSA-CANOVAS et al., 2005; CAPARINO et al., 2012). Aproximadamente 2 g de umbu atomizado foram transferidos para uma proveta graduada de 10 mL. O pó foi compactado batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada. A densidade foi calculada de acordo com a Equação (1):

$$\rho_b = \frac{m_s}{V_t}$$

[Equação 1]

Onde:  $m_s$  é a massa do pó e  $v_t$  é o volume total que o pó ocupou na proveta.

##### 6.2.2.5.2. Solubilidade

A análise de solubilidade foi feita de acordo com a metodologia descrita por Canochauca et al. (2005), a saber: 1g da amostra foi adicionado a 100mL de água destilada e submetido a agitação em agitador magnético Fisatom, modelo 752 (São Paulo/SP) durante 5 minutos, formando uma solução aquosa, que em seguida foi centrifugada a 3000 rpm por 5 min em centrífuga Cientec, modelo CT-6000R (Charqueada/SP). Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi retirada e colocada em placa de Petri, esterilizada e previamente pesada. A solução aquosa foi então levada para estufa com circulação e renovação de ar Marconi, modelo MA-035 (Piracicaba/SP) a 105°C por 5



h. Ao término do processo a placa foi pesada em balança analítica e a solubilidade obtida através da diferença de peso.

#### **6.2.2.5.3. Morfologia das partículas**

O estudo da morfologia das partículas foi realizado através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Microanálise (Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste – CETENE). As amostras foram fixadas em porta espécimens metálicos (*stubs*), com uma fita adesiva de dupla face condutora convencional. Em seguida, foram metalizadas com ouro, em um metalizador Leica, modelo EM SCD500 (Wetzlar/Alemanha), a uma taxa de recobrimento de 10nm de espessura, por 80 segundos, com corrente de 40 mA. As amostras foram então observadas em microscópio eletrônico de varredura FEI, modelo Quanta 200 FEG (Holanda), operando com 20 kV. A aquisição das imagens foi realizada pelo software, XT microscop.

#### **6.2.2.6. Potencial antioxidante do umbu atomizado**

##### **6.2.2.6.1. Capacidade de sequestrar o radical DPPH**

A capacidade de sequestrar o radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazina (DPPH) foi determinada segundo método descrito por Brand-Williams et al. (1995), modificado por Sánchez-Moreno, Larrauri e Saura-Calixto (1998). Aliquotas da solução de umbu atomizado em etanol foram adicionadas à solução de DPPH• em metanol (0,1 M), atingindo concentração final de 4; 8 e 12 g/L e a absorbância a 515 nm monitorada, em espectrofotômetro Shimadzu, modelo UV-1650PC (Japão) até atingir o platô. A capacidade de sequestrar o radical DPPH• foi expressa em percentual, calculada em relação ao controle (sem antioxidante) e em EC<sub>50</sub>, concentração do extrato eficiente para diminuir em 50% a concentração inicial do DPPH• que foi calculada a partir do gráfico da concentração da amostra (g de umbu atomizado/g DPPH<sup>-1</sup>) versus DPPH<sub>REM</sub>%.

##### **6.2.2.6.2. Capacidade de sequestro do radical ABTS**

A capacidade de sequestro do radical 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico (ABTS<sup>•+</sup>) foi determinada segundo o método descrito por RE et al. (1999). O radical ABTS<sup>•+</sup> foi gerado a partir da reação da solução aquosa de ABTS (7



mM) com 2,45 mM de persulfato de potássio. Esta solução foi mantida ao abrigo da luz, em temperatura ambiente por 16 h. Em seguida, a solução do radical foi diluída em etanol até obter uma medida de absorvância de  $0,7 \pm 0,05$ , em comprimento de onda de 734 nm. A solução de umbu atomizado/etanol foi adicionada à solução do ABTS<sup>•+</sup>, atingindo concentração final de 2; 4 e 6 g/L e a absorvância medida, após 6 minutos, em espectrofotômetro Shimadzu, modelo UV-1650PC (Japão) a 734 nm. O potencial antioxidante da amostra foi calculado em relação a ação do antioxidante sintético Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) e os resultados foram expressos em capacidade antioxidante equivalente ao Trolox (TEAC) ( $\mu\text{Mol TE.g}^{-1}$  de amostra).

#### **6.2.2.7. Compostos fenólicos**

##### **6.2.2.7.1. Obtenção dos extratos**

Uma alíquota do umbu atomizado (2 g) foi adicionada a 20 mL de acetona e submetida a agitação permanente em agitador magnético Fisatom, modelo 752 (São Paulo/SP), à temperatura ambiente ( $24 \pm 2^\circ\text{C}$ ), por 20 minutos e, em seguida, centrifugada a 4000 g em centrífuga Cientec, modelo CT-6000R (Charqueada/SP), por 20 minutos. O sobrenadante foi coletado e filtrado, o precipitado ressuspense no mesmo solvente e submetido ao mesmo processo acima descrito, por mais duas vezes, totalizando 120 minutos de extração. Os sobrenadantes foram combinados, concentrados sob pressão reduzida a  $40^\circ\text{C}$ , e o volume final aferido para 25 mL. Todo o processo de extração foi efetuado em triplicata.

##### **6.2.2.7.2. Fenólicos totais**

A determinação do teor de fenólicos totais dos extratos foi efetuada, por método espectrofotométrico, utilizando o reagente Folin-Ciocalteu (Merck), segundo metodologia descrita por Wettasinghe e Shahidi (1999). O teor de fenólicos totais foi determinado por interpolação da absorvância das amostras contra uma curva de calibração construída com ácido gálico (20 a 240  $\mu\text{g/mL}$ ). O resultado final foi expresso em mg/g da amostra.



#### **6.2.2.8. Análise estatística**

Todas as determinações foram efetuadas em triplicata e ao Teste t-Student ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Statistica 7.0 (StatSoft, Tulsa, EUA).



### 6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 6.3.1. Análises microbiológicas

As análises microbiológicas (Tabela 1) comprovaram que o umbu utilizado como matéria-prima para a obtenção dos néctares de umbu atende ao item 1c da RDC 12/2001 – ANVISA, quanto aos parâmetros obrigatórios para a amostra. A ausência de *Salmonella* e Coliformes confirma que os procedimentos sanitários e higiênicos foram corretamente seguidos durante as etapas de armazenamento, processamento e preparo dos néctares.

**Tabela 1.** Resultados das análises microbiológicas nas amostras de umbu.

Análises	Ensaio A	Ensaio B
<i>Salmonella</i> spp/25g	Ausência	Ausência
Coliformes a 45 °C (NMP/g)	< 3,0	< 3,0

NMP – número mais provável.

A contaminação microbiana ainda é considerada o fator de risco mais crítico para a água e para os alimentos. De acordo com Zhao et al. (2003), a contaminação por *Salmonella* pode ocorrer em várias etapas ao longo da cadeia alimentar, incluindo a manipulação/preparação, produção, transformação, distribuição e comercialização.

Coliformes, por sua vez, estão amplamente dispersos no solo, plantas, águas superficiais e intestino de animais de sangue quente. A presença de bactérias do grupo dos coliformes pode influenciar a segurança e preservação alimentar, pois são microrganismos indicadores de contaminação fecal (LEE; PARK; HA, 2007).

Desta forma, a ausência de coliformes e *Salmonella* no umbu é indicativo de que as práticas de higiene adequadas foram adotadas durante e após o processo de atomização.



### 6.3.2. Avaliação sensorial do néctar feito com umbu atomizado

#### 6.3.2.1. Teste de aceitação e Intenção de compra do néctar de umbu

De acordo com Silva et al. (2013a), a função básica da análise sensorial é avaliar as características sensoriais dos alimentos, tais como a aparência, o aroma, o sabor e a textura e como estes atributos são percebidos pelos seres humanos. Desta forma, o teste afetivo de aceitação foi aplicado com o propósito de avaliar sensorialmente os atributos cor, aroma, sabor e aparência do néctar de umbu, cuja matéria-prima foi o umbu atomizado. As médias das notas atribuídas pelos prováveis consumidores, para cada atributo, estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Médias das notas seguidas do desvio padrão para os atributos avaliados pelo teste de aceitação do néctar feito com umbu atomizado.

	Cor	Aroma	Sabor	Aparência
Ensaio A	5,49 <sup>a</sup> ± 1,23	4,6 <sup>a</sup> ± 1,39	5,19 <sup>a</sup> ± 1,43	5,26 <sup>a</sup> ± 1,16
Ensaio B	5,72 <sup>a</sup> ± 0,93	4,77 <sup>a</sup> ± 1,07	5,62 <sup>a</sup> ± 1,41	5,57 <sup>a</sup> ± 1,10

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste t-Student.

A análise dos dados revela que não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os atributos do néctar de umbu obtido a partir do umbu atomizado em duas diferentes condições de secagem. A aceitação do pó de umbu também poderia ser avaliada se o mesmo fosse utilizado como ingrediente em outros tipos de produtos como sorvete, bebida láctea, iogurte ou até mesmo como matéria-prima da umbuzada. Contudo, o néctar foi escolhido, por ser a opção que menos mascararia as características inerentes ao umbu, pois na sua elaboração utilizou-se apenas, água, açúcar e o pó de umbu estudado.

Para um melhor entendimento dos resultados realizou-se a análise do índice de aceitação (IA) e rejeição (IR) para cada um dos atributos avaliados (Tabela 3), bem como para as amostras de forma geral (Tabela 4).



**Tabela 3.** Índice de aceitação e rejeição dos atributos do néctar de umbu atomizado.

	Índice de aceitação (%)*				Índice de rejeição (%)**			
	Cor	Aroma	Sabor	Aparência	Cor	Aroma	Sabor	Aparência
Ensaio A	79	52	72	82	3	12	7	5
Ensaio B	89	54	87	85	0	5	7	4

\* Notas superiores a 4,0.

\*\* Notas inferiores a 4,0.

Para que um produto seja considerado aceito pelo consumidor, o mesmo deve receber percentual de aceitação igual ou superior a 70% e percentual de rejeição inferior a 50%. Observando a Tabela 3 pode-se afirmar que os atributos cor, sabor e aparência, dos dois ensaios obtiveram IA acima de 70%, caracterizando ambos os ensaios como aceitos. No entanto, para o atributo aroma, o índice de aceitação para o umbu atomizado dos dois ensaios foi inferior a 70%, provavelmente devido às perdas dos compostos voláteis ocorridas durante o processo de desidratação por atomização.

O IR médio das amostras foi inferior a 50% (Tabela 3). O suco produzido a partir do umbu atomizado nas condições de secagem do ensaio B apresentou maior média (5,42) e, conseqüentemente, maior aceitabilidade, sem contudo diferir significativamente do suco do ensaio A para os parâmetros analisados (Tabela 2).

**Tabela 4.** Índice de aceitação e rejeição para os ensaios do néctar de umbu atomizado.

Formulações	Média	Índice de aceitação (%)*	Índice de rejeição (%)**
Ensaio A	5,13	71,25	4,25
Ensaio B	5,42	78,75	4,00

\* Notas superiores a 4,0.

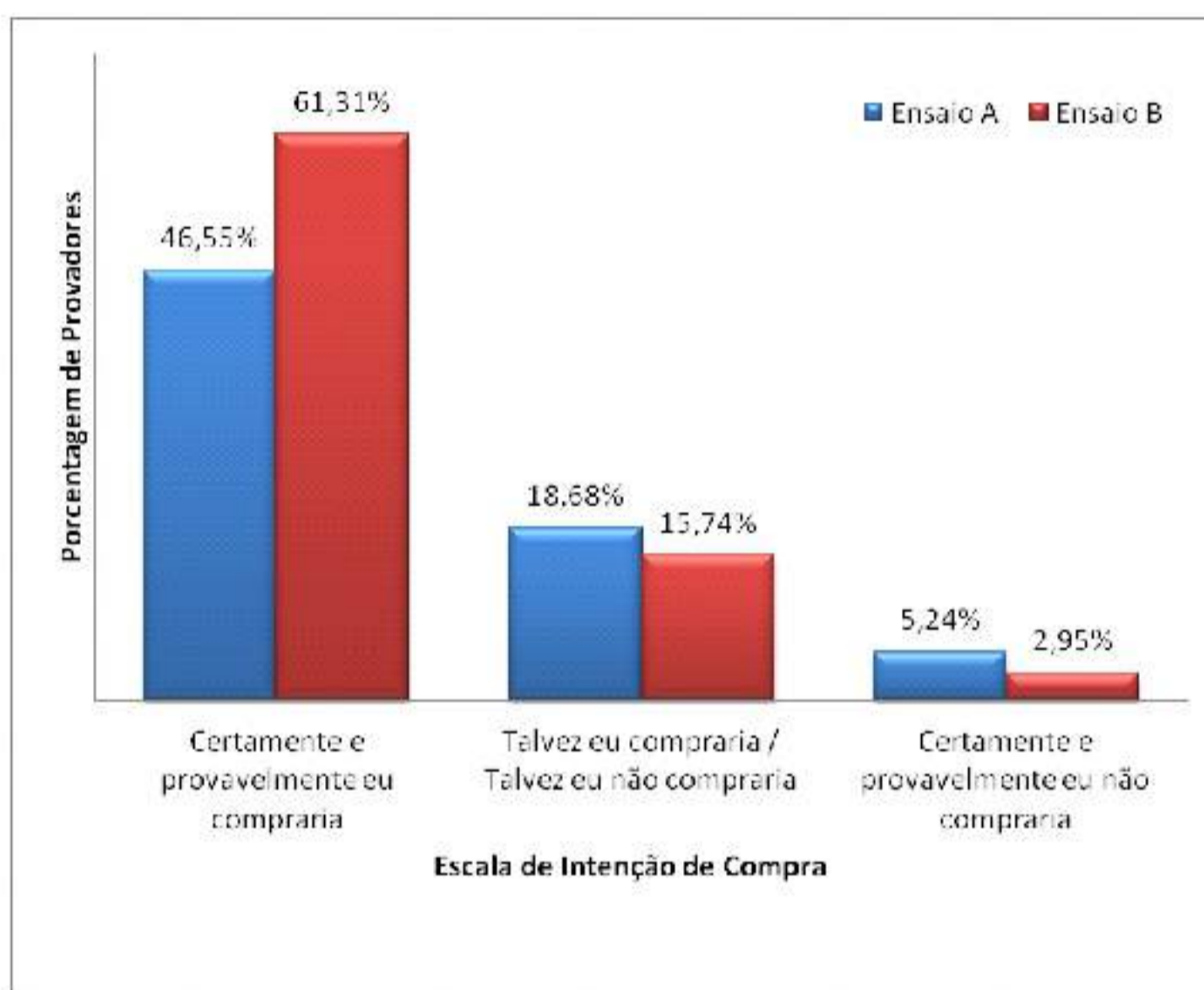
\*\* Notas inferiores a 4,0.

DIB TAXI (2001) ao estudar o suco de camu-camu microencapsulado obtido através da secagem por atomização verificou que, entre os sucos de camu-camu avaliados sensorialmente (integral, liofilizado, microencapsulado com maltodextrina e microencapsulado com goma arábica), os atomizados apresentaram as maiores porcentagens de aceitação, 62 e 57%, respectivamente. No presente estudo os índices de aceitação foram ainda maiores, 71,25% e 78,75% para os ensaios A e B,



respectivamente (Tabela 4). Indicando um forte potencial de comercialização para o produto.

Quanto à intenção de compra para os néctares de umbu atomizado, observa-se nas Figuras 4 e 5 que a maioria dos prováveis consumidores certamente e provavelmente compraria o produto, tendo preferência pelo o umbu atomizado do ensaio B.



**Figura 4.** Intenção de compra dos provadores para as duas formulações do néctar de umbu atomizado.

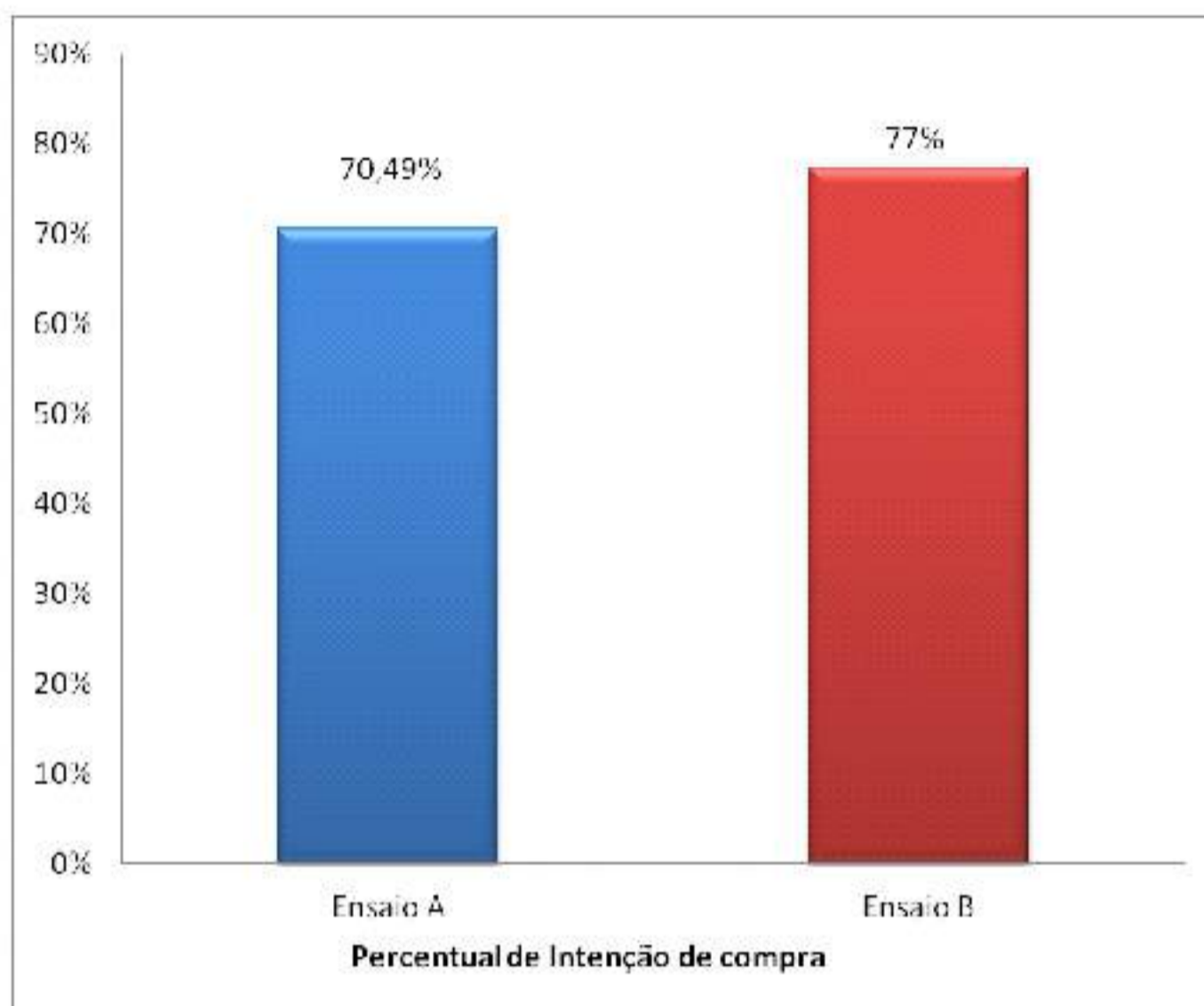
A análise da Figura 4 permite afirmar que os néctares de umbu atomizado obtiveram índices de intenção de compra positivos, com destaque para o ensaio B que obteve mais de 60% das notas dentro das categorias “certamente e provavelmente compraria”.

No tocante às atitudes que indicam indecisão, “talvez compraria/talvez não compraria”, os valores apresentados foram de 18,68% para o ensaio A e de 15,74% para o ensaio B. Ao mesmo tempo, verificou-se que as atitudes de recusa ao produto,



“certamente não compraria” e “provavelmente não compraria”, apresentaram índices significativamente baixos, sendo a porcentagem de recusa do ensaio B inferior a porcentagem de recusa apresentada pelo ensaio A.

Dessa forma, o néctar de umbu atomizado oriundo do ensaio B obteve porcentagem de intenção de compra superior a do néctar obtido a partir das condições de secagem por atomização do ensaio A (Figura 5).



**Figura 5.** Intenção de compra dos provadores para as duas formulações de néctar de umbu atomizado.

#### 6.3.2.2. Teste de preferência do néctar de umbu

O teste de preferência entre os néctares de umbu atomizado e o néctar da polpa *in natura* foi realizado aplicando-se o teste de comparação pareada, avaliando os atributos aroma e sabor, os resultados encontram-se na Tabela 5.



**Tabela 5.** Teste de preferência – comparação pareada para as formulações de néctar de umbu atomizado.

	Médias *	
	Aroma	Sabor
Ensaio A	2,57 <sup>b</sup> ± 1,73	3,63 <sup>a</sup> ± 2,20
Ensaio B	3,4 <sup>a</sup> ± 1,80	3,91 <sup>a</sup> ± 2,14

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Teste t-Student.

Ao comparar as médias dos valores obtidos, observa-se que para o atributo aroma, os néctares de umbu atomizado apresentaram médias entre os termos hedônicos “regularmente menos preferido que o padrão” e “ligeiramente menos preferido que o padrão” para o ensaio A e “ligeiramente menos preferido que o padrão” para o ensaio B.

Tanto para o atributo aroma quanto para o atributo sabor, o néctar obtido a partir das condições de secagem por atomização do ensaio B foi o que mais se aproximou da formulação *in natura* e o néctar do ensaio A o menos preferido pelos prováveis consumidores. No entanto, quando os dois ensaios foram comparados entre si, houve diferença significativa apenas no que se refere ao atributo aroma.

Contudo, nessa avaliação sensorial, foi possível verificar que os atributos sabor e aroma foram afetados pelo processamento da polpa, uma vez que os resultados indicam que os prováveis consumidores preferiram o néctar de umbu *in natura* aos néctares feitos com umbu atomizado.

Essa preferência possivelmente se deve a alterações ocorridas no produto em consequência da perda de componentes com características termossensíveis, como por exemplo, as substâncias voláteis do aroma que podem ser perdidas com aquecimento em corrente de ar. Além disso, a adição do agente carreador durante o processo de desidratação também pode estar associada a modificações, tanto no aroma quanto no sabor da polpa de umbu. No entanto maiores estudos seriam necessários para uma afirmação mais concreta.



### **6.3.3. Seleção do ensaio para realização da caracterização física e potencial antioxidante**

Embora os atributos avaliados pelo teste de aceitação não tenham apresentado diferença significativa entre os néctares dos ensaios A e B, os índices de aceitação, a intenção de compra e a preferência do atributo aroma foram maiores para o suco do ensaio B, apontando-o como o mais preferido.

Além disso, considerando que a indústria alimentícia prima por processos rápidos e econômicos, o ensaio B apresenta condições de secagem mais apropriadas do que o ensaio A. A vazão mássica do ensaio B (0,91 L/h), maior do que a vazão do ensaio A (0,24 L/h), confere maior rapidez ao processo de secagem por atomização; a concentração de agente carreador do ensaio B (22%) foi menor do que a concentração de agente carreador utilizada no ensaio A (25%), contribuindo para o menor custo do processo.

Assim, o umbu atomizado oriundo do ensaio B foi selecionado para dar continuidade aos estudos, caracterizando-o quanto a densidade aparente, solubilidade, morfologia das partículas e análise do potencial antioxidante (DPPH e ABTS).

### **6.3.4. Análises físicas e potencial antioxidante**

#### **6.3.4.1. Densidade aparente e solubilidade**

A densidade aparente do umbu atomizado foi 0,61 g/mL, valor semelhante ao apresentado por Abadio et al. (2004) em seu estudo com abacaxi atomizado e dentro da faixa apresentada por Caparino et al. (2012), ao estudarem manga atomizada (de 0,40 a 0,80 g/mL). No entanto, valores menores de densidade aparente foram apresentados por Tonon, Brabet e Hubinger (2010) ao estudarem o açaí atomizado (de 0,37 a 0,48 g/mL).

O volume de ar presente nos alimentos em pó apresenta uma relação inversamente proporcional à densidade. Desta forma, segundo Goula e Adamopoulos (2008b), normalmente uma diminuição no volume de ar causa aumento da densidade aparente. Portanto, um fato que explica a variação entre as densidades apresentadas pelo umbu, abacaxi, manga e açaí atomizados é que cada matéria possui um determinado volume de ar inerente a suas partículas.



Além disso, diferenças nas condições de secagem também podem exercer influência sobre a densidade de pós alimentares. Fazaeli et al. (2012), por exemplo, citam variações de densidade devido a mudanças na temperatura de secagem aplicada durante a atomização de amora.

Goula e Adamopoulos (2008a) afirmam que o caráter pegajoso de um pó pode estar associado a uma elevada densidade aparente, tendo em vista que as partículas que tendem a formar aglomerados apresentam espaços intragranulares menores, resultando numa maior densidade. Diante do exposto, é possível afirmar que, no tocante à densidade, as partículas do açaí atomizado possui qualidade superior às partículas do umbu, tendo em vista que sua densidade foi menor.

A solubilidade do umbu atomizado foi de 80,28%. Dados semelhantes foram apresentados por Fazaeli et al. (2012), estudando o efeito das condições de secagem por atomização sobre as propriedades físicas do suco de amora preta em pó e por Abadio et al. (2004), ao estudarem as propriedades físicas do abacaxi atomizado, avaliando o efeito da concentração de maltodextrina e da velocidade de atomização.

Valores de solubilidade bastante inferiores ao apresentado pelo umbu foram encontrados por Kha et al. (2010), que obtiveram uma média de 37%. No entanto, Cano-Chauca et al. (2005), em seu trabalho sobre secagem por atomização de manga, observaram valores de solubilidade em torno de 95%.

Características próprias da matéria, condições de secagem utilizadas durante o processo de atomização e o tipo de agente carreador adicionado ao produto atomizado influenciam diretamente na solubilidade dos pós alimentares. De acordo com Cano-Chauca et al. (2005), dentre os agentes carreadores presentes no mercado, a maltodextrina é o mais utilizado em processos de secagem por atomização devido a suas propriedades físicas, dentre as quais está sua elevada solubilidade em água.

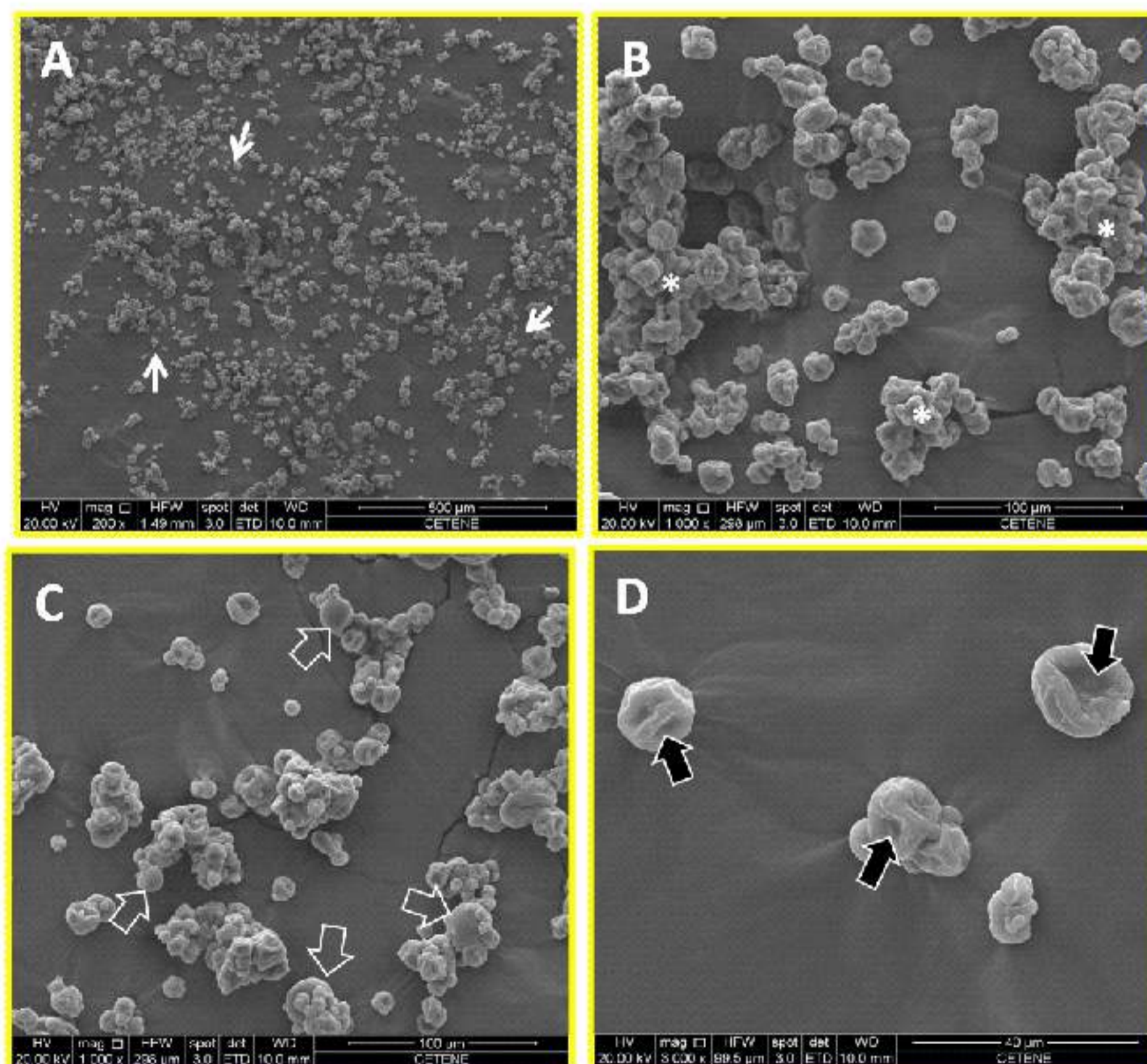
Desta forma, é comum que alimentos atomizados com maltodextrina apresentem uma solubilidade satisfatória. No entanto, as condições de secagem devem atuar em conjunto para a obtenção de bons resultados. Abadio et al. (2004) afirmaram que velocidades de atomização mais baixas foram suficientes para a obtenção de produtos com boa solubilidade.



Enquanto Teunou e Fitzpatrick (1999) e Goula e Adamopoulos (2008b) destacam que o aumento da temperatura do ar de secagem tende a aumentar a solubilidade do alimento atomizado, de acordo com Goula e Adamopoulos (2005), isto ocorre devido ao efeito que a temperatura do ar exerce sobre o teor de umidade residual do pó, quanto menor o teor de umidade, maior será a sua solubilidade.

#### 6.3.4.3. Morfologia das partículas

A análise de superfície das partículas de umbu atomizado foi realizada por microscopia eletrônica de varredura e os resultados podem ser observados na Figura 6.



**Figura 6.** Eletromicrografias das partículas de umbu atomizado a 133°C. **A** – Visão geral da distribuição das partículas (setas curtas); **B** – Presença de partículas



aglomeradas (asteriscos); **C** – Presença de partículas com superfície lisa (setas abertas) e **D** – Detalhe de partículas isoladas com superfície rugosa e presença de depressões (setas fechadas).

De acordo com a Figura 7, as partículas de umbu atomizado apresentaram tamanho uniforme (A) com formação de pequenos e numerosos aglomerados (B). Pode-se observar ainda partículas com formato esférico, característica de pós alimentares produzidos pelo processo de atomização e superfície predominantemente rugosa com presença de depressões, embora uma minoria tenha apresentado superfície lisa (C e D).

Resultados semelhantes foram obtidos por Caliscan e Nur Dirim (2013) para extrato de sumagre microencapsulado com maltodextrina utilizando temperatura de secagem de 160°C, e por Tonon, Brabet e Hubinger (2008), ao estudarem a influência das condições do processo sobre as propriedades físico-químicas do açaí atomizado, especialmente quando as condições de processo aplicadas foram 20% de maltodextrina sob temperatura de 138°C, condições semelhantes às utilizadas no presente estudo.

Nijdam e Langrish (2006) explicam que a presença de partículas com superfície rugosa indica a formação de um vacúolo no interior da partícula, com posterior desenvolvimento de um envoltório em sua superfície, originando uma partícula oca. Os autores explicam ainda que à medida que a temperatura excede o ponto de ebulição ambiente a partícula infla e a pressão de vapor no interior do vacúolo ultrapassa a pressão ambiente. Quando a temperatura de secagem é suficientemente alta, a umidade é evaporada muito rapidamente e o envoltório se torna seco e duro, evitando o esvaziamento da partícula. Contudo, quando a temperatura de secagem é menor, o envoltório permanece úmido e maleável por mais tempo, permitindo que a partícula esvazie e murche durante o arrefecimento.

Portanto, em seu estudo sobre a descrição das alterações morfológicas das partículas ao longo da secagem por atomização, Alamilla-Beltrán et al. (2005) observaram que as partículas de maltodextrina produzidas sob temperatura de secagem de 170 a 200°C apresentavam formato esférico e superfície lisa, enquanto as partículas produzidas a 110°C possuíam uma aparência enrugada, assim como as partículas de umbu atomizado produzidas a 133°C. Os autores perceberam ainda que o tamanho médio das partículas atomizadas a 110°C tende a ser menor do que aquele correspondente ao material obtido a temperaturas mais elevadas.



Segundo Tonon et al. (2009), partículas com superfícies rugosas, como as apresentadas pelo umbu atomizado, podem ter problemas em suas propriedades de escoamento, de forma que este torna-se mais difícil com o maior número de depressões na partícula. Além disso, partículas com superfícies rugosas apresentam áreas de contato maiores do que aquelas com superfícies lisas, o que pode torná-las mais susceptíveis a reações de degradação, tais como a oxidação.

De acordo Turchiuli et al. (2011), a aglomeração dentro da câmara do atomizador requer colisões entre duas ou mais partículas seguida da adesão entre as superfícies. Com a secagem, são criadas pontes sólidas estáveis entre as partículas, levando à formação de uma nova estrutura (aglomerados). No que se refere à aglomeração o comportamento das partículas produzidas por atomização está intimamente relacionado à origem e à concentração do agente carreador utilizado durante o processo.

Em seu estudo sobre o efeito do agente carreador na microestrutura de manga atomizada, Cano-Chauca et al. (2005) evidenciaram que o tratamento usando apenas maltodextrina com concentração de 12% apresentou a formação de partículas maiores, amorfas, e aglomeradas com uma forte atração entre si. Resultados semelhantes foram apresentados por Fazaeli et al. (2012) ao utilizarem 8% de maltodextrina sob temperatura de 130°C em seu estudo sobre o efeito das condições de secagem nas propriedades da amora preta atomizada

Se comparado aos resultados obtidos por Cano-Chauca et al. (2005) e Fazaeli et al. (2012), o presente estudo, utilizando 22% de maltodextrina, apresentou partículas com baixo grau de aglomeração (Figura 7). Isso se deve ao fato que as frutas possuem em sua composição um elevado teor de açúcar e de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, sendo que tais substâncias originam o comportamento pegajoso da matéria-prima, resultando num produto altamente viscoso quando seco por atomização. A maltodextrina, por sua vez, é considerada um bom agente de encapsulação por exibir, dentre outras características, baixa viscosidade (ADHIKARI et al., 2004; GHARSALLAOUI et al., 2007; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010). Desta forma, é possível afirmar que maiores concentrações de maltodextrina utilizadas durante o processo de atomização de frutas tendem a formar partículas menos aglomeradas.



#### 6.3.4.4. Potencial antioxidante

O potencial antioxidante do umbu atomizado foi medida pelos métodos DPPH, cujos resultados foram expressos em EC<sub>50</sub> e percentual de sequestro do radical, e ABTS, com resultados expressos em  $\mu\text{mol TE/g}$  de produto (TEAC).

O potencial antioxidante de polifenóis é decorrente do grupo hidroxil fenólico das moléculas que podem doar hidrogênio e/ou elétron para a estabilização do radical livre e, assim, impedir a oxidação dos lipídeos, proteínas e DNA, e, por conseguinte, reduzir os efeitos adversos da oxidação (RICE-EVANS; MILLER; PAGANGA, 1996). A capacidade de sequestro da amostra expressa em EC<sub>50</sub> indica a concentração da amostra necessária para reduzir em 50% a concentração inicial do DPPH da solução. Ressalta-se que quanto menor o valor de EC<sub>50</sub> melhor é a capacidade de sequestro do antioxidante (BRAND-WILLIAMS et al., 1995; SANCHEZ-MORENO et al., 1998).

A capacidade do umbu atomizado de sequestrar o radical DPPH (EC<sub>50</sub>) foi de  $505,47 \pm 1,84$  g de amostra/g DPPH•, capacidade superior a do fruto *in natura* (933g de amostra/g DPPH•), relatada por Rufino et al. (2010). No entanto, ao comparar o valor de EC<sub>50</sub> do umbu atomizado com o de outros produtos atomizados relatados na literatura, evidencia-se que o umbu atomizado não apresenta capacidade antirradical expressiva. Fang e Bhandari (2011) relatam valor de 0,013g de amostra/g DPPH• em seu estudo sobre o efeito da secagem por atomização e do armazenamento sobre a estabilidade dos polifenóis de *bayberry* e Couto et al. (2012), referem-se ao valor de 0,0176 a 0,0219 g de amostra/g DPPH• para extratos de alecrim atomizados.

A capacidade de sequestro do DPPH• expressa em percentual de sequestro aos 10 minutos de reação, foi de aproximadamente 22%. Segundo a classificação estabelecida por Melo et al. (2008), que consideram a capacidade de sequestro do DPPH• forte, moderada e fraca quando o percentual de sequestro atinge, respectivamente, valores acima de 70%, entre 70 e 50% e abaixo de 50%, a capacidade de sequestro apresentada pelo umbu atomizado foi considerada fraca.

Em relação à capacidade de sequestrar o radical ABTS, elevados valores de TEAC demonstram elevada capacidade antioxidante, uma vez que a ação antirradical está diretamente relacionada ao valor de TEAC. Desta forma, ao comparar a ação



antioxidante do umbu atomizado ( $16,01 \pm 0,46 \mu\text{mol trolox/g}$  de amostra) com os resultados apresentados por Silva et al. (2013b) para casca de jabuticaba atomizada utilizando maltodextrina como agente carreador ( $9470 \mu\text{mol trolox/g}$  de amostra), é possível afirmar que o umbu não apresentou uma ação antioxidante satisfatória frente a este radical.

A análise do teor de compostos fenólicos do umbu atomizado apresenta um resultado significativamente baixo ( $0,428 \text{ mg/g}$  da amostra). Uma possível razão para a baixa ação antioxidante apresentada pela amostra, tendo em vista que o teor de compostos fenólicos geralmente está intimamente ligado ao potencial antioxidante apresentado por frutas e vegetais (RICE-EVANS; MILLER; PAGANGA, 1997).

Objetivando o esclarecimento da relação teor de compostos fenólicos/ação antioxidante, Krishnaiah, Sarbatly e Nithyanandam (2012) evidenciaram um coeficiente de correlação positivo entre a atividade de sequestro e o teor de fenólicos totais das micropartículas de *M. citrifolia* L. Desta forma, aproximadamente, 85% da capacidade antioxidante da amostra analisada pelos referidos autores pode ser atribuída aos compostos fenólicos, enquanto que os outros 25% ficam a cargo de outros compostos fitoquímicos bioativos presentes no fruto.



#### 6.4. CONCLUSÕES

Os néctares de umbu atomizado apresentaram características sensoriais aceitáveis, porém aquele obtido empregando temperatura do ar de secagem de 133°C, vazão mássica de 0,91 L/h e concentração do agente carreador de 22%, obteve os maiores índices de aceitação, intenção de compra e preferência do atributo aroma. Nestas condições de processo, o produto elaborado apresentou densidade, solubilidade e morfologia das partículas (esféricas, com superfície lisa e pouco aglomerada) semelhantes a de produtos atomizados relatados na literatura que foram obtidos em condições de secagem similares. A polpa de umbu atomizada exibiu, entretanto, fraca capacidade de sequestro dos radicais DPPH e ABTS.



## 6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIO, F.D.B.; DOMINGUES, A.M.; BORGES, S.V.; OLIVEIRA, V.M. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) Juice: effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 285–287, 2004.

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B.R.; TROUNG, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: Experiments and modeling. **Journal of Food Engineering**, v.62, p. 53–68, 2004.

ALAMILLA-BELTRÁN, L.; CHANONA-PÉREZ, J.J.; JIMÉNEZ-APARICIO, A.R.; GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G.F. Description of morphological changes of particles along spray drying. **Journal of Food Engineering**, v.67, p. 179–184, 2005.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – A.O.A.C. **Official methods of analysis of the Association Analytical Chemists**. 18<sup>a</sup> ed., Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2005.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. 39-71 p.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**, v.28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. RDC nº 12 de 24 de julho de 1978. Aprova: Normas técnicas especiais, do Estado de São Paulo, revistas pela CNNPA, relativas a alimentos (e bebidas), para efeito em todo território brasileiro. **Diário Oficial da União**, Brasília, p.1-75, 24 de julho de 1978.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 10 de janeiro de 2001.



CALISKAN, G., NUR DIRIM, S., The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrina addition during spray drying of sumac extract. **Food Bioprod Process** (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2013.06.004>

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

CAPARINO, O.A.; TANG, J.; NINDO, C.I.; SABLANI, S.S.; POWERS, J.R.; FELLMAN, J.K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, p. 135–148, 2012.

CHAE, J.E.; LEE, Y.M.; LEE, H.S. Affective same-different discrimination tests for assessing consumer discriminability between milks with subtle differences. **Food Quality and Preference**, v. 21, n. 4, p. 427–438, 2010.

COUTO, R.O.; CONCEIÇÃO, E.C.; CHAUL, L.T.; OLIVEIRA, E.M.S.; MARTINS, F.S. BARA, M.T.F.; REZENDE, K.R.; ALVES, S.F.; PAULA, J.R. Spray-dried rosemary extracts: Physicochemical and antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 131, p. 99–105, 2012.

DIB TAXI, C.M.A. Suco de camu-camu (*Myrciaria dubia*) microencapsulado obtido através de secagem por atomização. Campinas, 2001. 172p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v. 129, p. 1139–1147, 2011.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A.K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioprocess Processing**, v. 90, p. 667-675, 2012.



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, p. 1107-1121, 2007.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.11, p. 342–351, 2010.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: I. Drying Kinetics and Product Recovery. **Drying Technology**. v. 26, p.714-725, 2008a.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: II. Powder Properties. **Drying Technology**. v. 26, p. 726–737, 2008b.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: I. The effect on product recovery. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p.25-34, 2005.

HA, T.C.; NGUYEN, M.H.; ROACH, P.D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**. v. 98, p. 385–392, 2010.

KRISHNAIAH, D.; SARBATLY, R.; NITHYANANDAM, R. Microencapsulation of *Morinda citrifolia* L. extract by spray-drying. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 622–632, 2012.

LEE, M.J.; PARK, S.Y.; HA, S.D. Reduction of *Coliforms* in rice treated with sanitizers and disinfectants. **Food Control**. v. 18, p. 1093–1097, 2007.

MELO, E.A.; MACIEL, M.I.S.; LIMA, V.L.A.G.; ARAÚJO, C.R. Teor de Fenólicos Totais e Capacidade Antioxidante de Polpas Congeladas de Frutas. **Alimentos e Nutrição**, v.19, p. 67-72, 2008.



NARAIN, N.; GALVÃO, M.S.; MADRUGA, M.S. Volatile compounds captured through purge and trap technique in caja-umbu (*Spondias* sp.) fruits during maturation. **Food Chemistry**, v. 102, n. 3, p. 726-731, 2007.

NIJDAM, J.J.; LANGRISH, T.A.G. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v.77, p. 919–925, 2006.

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, p. 1231–1237, 1999.

RICE-EVANS, C.A.; MILLER, N.J.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science**, v. 2, p. 152-159, 1997.

RICE-EVANS, C.A.; MILLER, N.J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology & Medicine**, v.20, n.7, p. 933-956, 1996.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURACALIXTO, 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.

SÁNCHEZ-MORENO, C.; LARRAURI, J.A.; SAURACALIXTO, F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.76, p. 270-276, 1998.

SILVA, A.N.; SILVA, R.C.S.N.; FERREIRA, M.A.M.; MINIM, V.P.R.; COSTA, T.M.T.; PEREZ, R. Performance of hedonic scales in sensory acceptability of strawberry yogurt. **Food Quality and Preference**, v. 30, p. 9–21, 2013a.

SILVA, P.I.; STRINGHETA, P.C.; TEÓFILO, R.F.; OLIVEIRA, I.R.N. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, v. 117, p. 538–544, 2013b.



STONE, H.; SIDEL, J.L. **Sensory evaluation practices**. 3<sup>a</sup> ed., London: Academic Press is an imprint of Elsevier. 2004. 408 p.

TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J.J. Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 109-116, 1999.

TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, v. 43, p. 907–914, 2010.

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

TURCHIULI, C.; GIANFRANCESCO, A.; PALZER, S.; DUMOULIN, E. Evolution of particle properties during spray drying in relation with stickiness and agglomeration control. **Powder Technology**, v. 208, p. 433–440, 2011.

WETTASINGHE, M.; SHAHIDI, F. Evening primrose meal: a source of natural antioxidants and scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. **Journal Agriculture Food Chemistry**, v.47, p. 1801-1812, 1999.

ZHAO, S.; DATTA, A.R.; AYERS, S.; FRIEDMAN, WALKER, S.; R.D.; WHITE, D.G. Antimicrobial-resistant *Salmonella* serovars isolated from imported foods. **International Journal of Food Microbiology**, v. 84, p. 87-92, 2003.



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento fatorial aplicado no presente trabalho não foi capaz de otimizar o processo de secagem por atomização do umbu. No entanto, a análise dos gráficos de superfície de resposta para a retenção de compostos fenólicos, bem como a avaliação sensorial demonstraram ser viável o desenvolvimento de umbu atomizado aplicando-se temperatura do ar de secagem de 133°C, vazão mássica de alimentação da mistura de 0,91 L/h e 22% de agente carreador.

O néctar de umbu reconstituído oriundo deste ensaio teve aceitação de 77% dos prováveis consumidores e apresentou resultados satisfatórios no que se refere às características físicas esperadas para um alimento em pó. Entretanto sua ação antioxidante não foi expressiva, devido ao baixo teor de compostos fenólicos apresentado pelo fruto *in natura* e, conseqüentemente, por seu produto processado.

Os resultados obtidos demonstram que há boa perspectiva para utilização da produção de umbu no desenvolvimento de polpa de fruta atomizada, ampliando as perspectivas econômicas relacionadas aos pequenos produtores, como também a diversificação de produtos elaborados com o pó de umbu. Contudo estudos futuros serão necessários para a otimização do processo.



# ANEXOS



## Anexo 1 – Parecer do comitê de ética



COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA



## PARECER CONSUBSTANCIADO

Registro CEP/UPE: 235/11

Registro CAAE: 0236.0.097.000-11

Área de Conhecimento: Ciências Domésticas/Tecnologia de Alimentos Grupo: III

Instituição de Origem: Universidade Federal Rural de Pernambuco

Título: Desenvolvimento de produtos alimentícios inovadores a partir de polpas de frutos diversos.

Pesquisador Responsável: Maria Inez Sucupira Maciel

Pesquisadoras: Diana Teresa de B. Cavalcanti, Jackeline de A. Silva e Náira Paes de Moura

O plenário do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Pernambuco CEP/UPE, no exercício de suas atribuições legais e em consonância com a Resolução 196/96 do CNS/MS, considera que o estudo objeto deste documento, é pertinente, com metodologia adequada aos objetivos propostos, não apresenta riscos, contém medidas protetoras ao sujeito, apresenta toda documentação exigida e não apresenta agravo ético. Sendo assim o CEP opina favoravelmente ao pleito do pesquisador, considerando o projeto como **"APROVADO"**.

O CEP/UPE informa ao pesquisador que tem por obrigação:

- Comunicar toda e qualquer alteração do projeto e/ou do TCLE. Nestas circunstâncias, a inclusão de pacientes deve ser suspensa temporariamente, até a resposta do Comitê, após análise das mudanças propostas;
- Comunicar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento do estudo;
- Para pesquisas com duração até 18 meses, apresentar relatório final após o término da pesquisa;
- Para pesquisas com duração acima de 18 meses, apresentar relatório parcial neste período e o final após o término da pesquisa;
- O relatório final deverá ser entregue ao CEP uma via em CD.

Agradecemos a oportunidade de podermos contribuir para o avanço da ciência e na apreciação do referido projeto. Colocamo-nos à disposição, para quaisquer esclarecimentos que se fizerem necessários.

Reiteramos votos de sucesso.

Recife, 20 de dezembro de 2011.

*Prof. Dr. Antônio Carlos de A. Silva*  
 Presidente do Comitê de Ética em Pesquisa  
 CEP/UE



**Anexo 2 – Ficha de concordância e voluntariedade para participação da avaliação sensorial.**

Eu, _____, RG/CPF _____, abaixo assinado, concordo em participar do estudo Obtenção de polpa de umbu ( <i>Spondias tuberosa</i> Arr. Câm.) em pó com propriedades antioxidantes utilizando atomizador, como sujeito. Fui devidamente informado(a) e esclarecido(a) pela pesquisadora Jackeline de Andrade Silva sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade. Recife, _____ de _____ de _____ Nome e Assinatura do sujeito ou responsável: _____ Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e aceite do sujeito em participar. 02 testemunhas (não ligadas à equipe de pesquisadores): Nome: _____ Assinatura: _____ Nome: _____ Assinatura: _____
---