



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

JOSEANE CRISTINA PINHEIRO POMBO

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM DA POLPA DE
CUPUAÇU EM *SPRAY DRYER***

BELÉM – PARÁ

2017

JOSEANE CRISTINA PINHEIRO POMBO

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM DA POLPA DE
CUPUAÇU EM *SPRAY DRYER***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, como pré-requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena

BELÉM – PARÁ

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pombo, Joseane Cristina Pinheiro 1983-
Otimização do processo de secagem da polpa de cupuaçu
em spray dryer/Joseane Cristina Pinheiro Pombo.- 2017.

Orientador: Rosinelson da Silva Pena

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará.
Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos, Belém, 2017

1. Frutas desidratadas 2. Polpa de frutas- desidratação
3. Cupuaçu I. Título

CDD 23.ed.664.0284

JOSEANE CRISTINA PINHEIRO POMBO

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM DA POLPA DE
CUPUAÇU EM *SPRAY DRYER***

Data da Avaliação: ____/____/____

Nota/Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena
(FEA/ITEC/UFPA – Orientador)

Profa. Dra. Alessandra Santos Lopes
(FEA/ITEC/UFPA – Membro Interno)

Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues
(FEA/ITEC/UFPA - Membro Interno)

Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria
(FEQ/ITEC/UFPA - Membro Externo)

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Maria Damásia e Jorge Haroldo, a
quem devo tudo o que sou.*

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela saúde, pela vida e pela existência da sabedoria que é a semente germinadora que transforma nossos sonhos em realidade.

À minha família, que mesmo sem entender todas as dificuldades do desenvolvimento de um trabalho científico, me apoia, torce e se alegra com as minhas conquistas. Em especial aos meus pais, Maria Damásia e Jorge Haroldo, pelo amor e pela dedicação durante todos esses anos e ao meu parceiro de todas as horas, meu namorado José Cosme dos Santos Jr.

Ao Prof. Dr. Rosinelson da Silva Pena, que transmitiu seus conhecimentos com tanta paciência e dedicação a fim da realização deste trabalho. Obrigada por ter me orientado muito além da sala de aula e por ser um exemplo de profissional a ser seguido. A você, Rosinelson, toda a minha gratidão e respeito.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Antonio Manoel da Cruz Rodrigues, Prof^a. Dr^a. Alessandra Santos Lopes e Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria, pelas importantes sugestões e correções, que contribuíram para o enriquecimento do trabalho.

A todos os amigos e colegas do LAFAMI, em especial a Berny Honório, pela preciosa ajuda em todas as fases desse trabalho e a Heloisa Helena, por ter me ensinado com toda a paciência do mundo a trabalhar com o “spray dryer”.

As minhas amigas (Crisliane, Kelem, Fernanda, Denyse, Karoline, Tamiris, Milena, Adelaide, Alana, Lângela e Paloma), por terem sido mais que amigas, terem sido minha família no curso de Engenharia de Alimentos. Obrigada por todos os bons e maus momentos em que estivemos juntas, desde os tempos da graduação e por terem tornado meus dias muito mais divertidos.

A indústria de polpa de fruta CAMTA por disponibilizar a matéria-prima para a realização deste trabalho.

A Universidade Federal do Pará (UFPA), por ter me proporcionado obter a base científica para chegar até aqui. Ao PPGF/UFPA pela disponibilidade da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Ao PPGCTA/UFPA pela oportunidade e pela estrutura oferecida para a realização deste trabalho e ao CNPq pela bolsa de mestrado.

MUITO OBRIGADA!!!

Como é feliz o homem que acha a sabedoria, o homem que obtém entendimento, pois a sabedoria é mais proveitosa do que a prata e rende mais do que o ouro. É mais preciosa do que rubis; nada do que você possa desejar se compara a ela. Na mão direita, a sabedoria lhe garante vida longa; na mão esquerda, riquezas e honra. Os caminhos da sabedoria são caminhos agradáveis, e todas as suas veredas são paz. A sabedoria é árvore que dá vida a quem a abraça; quem a ela se apegar será abençoado.

Provérbios 3:13-18

RESUMO

A secagem por atomização é um processo de crescente interesse industrial para a produção de polpas e sucos de frutas em pó. Um fruto amazônico de grande potencial é o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), pois apresenta apelo exótico e nutricional, além de qualidades sensoriais excepcionais. O objetivo deste trabalho foi otimizar o processo de secagem da polpa de cupuaçu em *spray dryer*, visando expandir a sua comercialização e aumentar a sua vida de prateleira. Foi utilizado um delineamento composto central rotacional (DCCR) para determinar a influência das variáveis: temperatura de entrada do ar (120-170°C), vazão da alimentação (3-12 mL/min) e concentração de maltodextrina 20DE (10-40%), sobre as propriedades do produto: umidade, atividade de água (a_w), higroscopicidade, índice de solubilidade em água (ISA), teor de vitamina C e de compostos fenólicos totais. Todas as variáveis independentes apresentaram influência significativa sobre as características do produto em pó, sendo a temperatura de entrada do ar a variável com efeito significativo sobre todas as respostas. De maneira geral, o estudo da morfologia dos pós apresentou partículas de formato esférico, com variados diâmetros, tendendo a aglomeração e predominância de superfícies lisas. A metodologia de superfície de resposta e a função desejabilidade indicaram como condições ótimas para o processo de secagem: temperatura de entrada do ar de 150°C, vazão de alimentação de 7,5 mL/min e 40% de maltodextrina, que foi adicionada sobre o teor de sólidos totais da mistura (1:1, polpa:água). Nesta condição de processo o cupuaçu em pó obtido apresentou bons teores de umidade (2,66% b.s.), a_w (0,16), higroscopicidade (39,60 g/100 g b.s.), ISA (83,01%), vitamina C (105,84 mg/100g) e compostos fenólicos totais (133,75 mg GAE/ 100 g). A isoterma de sorção de umidade a 25°C indica que a estabilidade microbiológica do produto estará assegurada se o mesmo apresentar umidade inferior a 11,5 g H₂O/100 g, e que o produto deve ser armazenado preferencialmente em ambiente com umidade relativa inferior a 50% ou acondicionado em embalagens com baixa permeabilidade ao vapor de água. Os modelos de GAB e Peleg se mostraram eficientes na precisão das isotermas de sorção de umidade do produto.

Palavras-chave: *Theobroma grandiflorum*, *spray dryer*, morfologia, isoterma de sorção.

ABSTRACT

The *spray drying* is a process of increasing industrial interest for the production of pulps and fruit juice powder. An Amazonian fruit of great potential is cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), because it offers exotic and nutritional appeal, as well as exceptional sensorial quality. The objective of this work was to define optimum process conditions for the drying of the cupuassu pulp in *spray dryer*, aiming to expand their marketing and increase their shelf life. A rotational central composite (DCCR) design was used to determine the influence of drying air inlet temperature (120-170 °C), feed flow (3-12 mL/min) and maltodextrin concentration 20DE (10-40%), on product properties: moisture, water activity (a_w), hygroscopicity, water solubility index (ISA), vitamin C content and total phenolic compounds. All the independent variables had a significant influence on the characteristics of the powder product, with the air inlet temperature the variable that had a significant effect on all the responses. In general, the study of the morphology of the powders presented particles of spherical shape, with varied diameters, tending to agglomeration and predominance of smooth surfaces. The response surface methodology and the desirability function indicated as optimal conditions for the drying process: drying air inlet temperature of 150 ° C, feed rate of 7.5 mL/min and 40% maltodextrin, which was added on the total solids content of the blend (1: 1, pulp: water). In this process condition the powdered cupuaçu obtained presented good moisture contents (2.66% b.s.), a_w (0.16), hygroscopicity (39.60 g /100 g b.s.), ISA (83.01%), vitamin C (105.84 mg /100 g) and total phenolic compounds (133.75 mg GAE /100 g). The moisture sorption isotherm at 25 ° C indicates that the microbiological stability of the product will be ensured if it has a moisture content of less than 11.5 g H₂O/100 g and that the product should preferably be stored in an environment with a relative humidity below 50% or stored in packages with low water vapor permeability. The GAB and Peleg models showed to be efficient in the prediction of moisture sorption isotherms of the product.

Keywords: *Theobroma grandiflorum*, *spray dryer*, morphology, sorption isotherm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. O fruto do cupuaçuzeiro.....	19
Figura 2. Cupuaçu: (A) com semente e (B) sem semente.....	20
Figura 3. Frutos de cupuaçu com formatos variados.....	20
Figura 4. Esquema de funcionamento de um <i>spray dryer</i>	25
Figura 5. Estrutura química da Maltodextrina.....	29
Figura 6. Regiões de uma isoterma de sorção de umidade de produto alimentício.	32
Figura 7. Fenômeno de histerese entre as isotermas de adsorção e dessorção de umidade. ...	32
Figura 8. Efeito da temperatura sobre a histerese.....	33
Figura 9. Isotermas de sorção de umidade do tipo II (a) e do tipo III (b).	33
Figura 10. Isotermas de sorção de umidade de batata, em diferentes temperaturas.....	34
Figura 11. Mini <i>spray dryer</i> Büchi B-290 utilizado na pesquisa.	35
Figura 12. Coordenadas colorimétricas, sistema CIELAB.	38
Figura 13. Fluxograma do processo de secagem da polpa de cupuaçu em <i>spray dryer</i>	42
Figura 14. Distribuição de resíduos para a resposta umidade.	54
Figura 15. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos × valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta umidade.	55
Figura 16. Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) para a variável dependente umidade, em função das variáveis independentes: temperatura x vazão de alimentação (concentração de maltodextrina = 25%).....	55
Figura 17. Distribuição de resíduos para a resposta a_w	58
Figura 18. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos × valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta a_w	58
Figura 19. Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) para a variável dependente a_w em função das variáveis independentes: temperatura x vazão de alimentação (concentração de maltodextrina = 25%).....	59
Figura 20. Distribuição de resíduos para a resposta higroscopicidade.....	61
Figura 21. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos × valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta higroscopicidade.	62
Figura 22. Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) para a variável dependente higroscopicidade, em função das variáveis independentes: temperatura × concentração de maltodextrina (vazão de alimentação = 7,5 mL/min).....	62
Figura 23. Distribuição de resíduos para a resposta ISA.....	65

Figura 24. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos × valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta ISA.....	65
Figura 25. Superfície de resposta (A) e curva de contorno (B) para a variável dependente ISA, em função das variáveis independentes: temperatura × concentração de maltodextrina (vazão de alimentação = 7,5 mL/min).....	66
Figura 26. Distribuição de resíduos para a resposta vitamina C.	68
Figura 27. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos × valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta resposta vitamina C.	69
Figura 28. Superfície de resposta (A) e curva de com torno (B) para a variável dependente vitamina C, em função das variáveis independentes: temperatura × concentração de maltodextrina (vazão de alimentação = 7,5 mL/min).....	69
Figura 29. Distribuição de resíduos para a resposta compostos fenólicos totais.....	72
Figura 30. Eletromicrografias do cupuaçu em pó obtido em diferentes temperaturas: (a) e (d) 120°C, (b) e (e) 150°C, (c) e (f) 180°C, com vazão de alimentação de 7,5 mL/min e concentração de maltodextrina de 25%. Aumento: 300x e 2000x.	73
Figura 31. Eletromicrografias do cupuaçu em pó obtido em diferentes vazões de alimentação: (a) e (d) 3 mL/min, (b) e (e) 7,5 mL/min, (c) e (f) 12 mL/min, na temperatura de 150°C e com 25% de maltodextrina. Aumento: 300x e 2000x.	74
Figura 32. Eletromicrografias do cupuaçu em pó obtido com diferentes concentrações de maltodextrina: (a) e (d) 10%, (b) e (e) 25%, (c) e (f): 40%, na temperatura de 150°C e com vazão de alimentação de 7,5 mL/min. Aumento: 300x e 2000x.	75
Figura 33. Gráfico da função desejabilidade para as respostas umidade, a_w , higroscopicidade, ISA, vitamina C e CFT.	77
Figura 34. Isotermas de adsorção e dessorção de umidade para o cupuaçu em pó a 25°C.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição e características físico-químicas da polpa do cupuaçu <i>in natura</i>	21
Tabela 2. Testes preliminares de secagem.....	39
Tabela 3. Variáveis operacionais de entrada e os respectivos níveis.	40
Tabela 4. Matriz do DCCR para secagem da polpa de cupuaçu em <i>spray dryer</i>	41
Tabela 5. Modelos matemáticos utilizados para prever as isotermas de sorção de umidade do cupuaçu em pó.	45
Tabela 6. Composição centesimal e propriedades físico-químicas da polpa de cupuaçu.	47
Tabela 7. Matriz de planejamento com os resultados das respostas obtidos nas diferentes condições de secagem da polpa de cupuaçu em <i>spray dryer</i>	52
Tabela 8. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (<i>p</i>) para os fatores do modelo ajustado a resposta umidade.	53
Tabela 9. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado à resposta umidade, considerando os efeitos significativos.	54
Tabela 10. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (<i>p</i>) para os fatores do modelo ajustado a resposta atividade de água.	56
Tabela 11. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado à resposta a_w , considerando os efeitos significativos.	57
Tabela 12. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (<i>p</i>) para os fatores do modelo codificado para a resposta higroscopicidade.	60
Tabela 13. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado à resposta higroscopicidade, considerando os efeitos significativos.	61
Tabela 14. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (<i>p</i>) para os fatores do modelo codificado para a resposta ISA.	63
Tabela 15. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado à resposta ISA, considerando os efeitos significativos.	64
Tabela 16. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (<i>p</i>) para os fatores do modelo codificado para a resposta vitamina C.	67
Tabela 17. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta teor de vitamina C, considerando os efeitos significativos.	68
Tabela 18. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (<i>p</i>) para os fatores do modelo codificado para a resposta compostos fenólicos totais.	70

Tabela 19. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta compostos fenólicos totais, considerando os efeitos significativos.....	71
Tabela 20. Valores atribuídos à função desejabilidade global.	76
Tabela 21. Valor observado, valor predito e desvio relativo para a validação das condições ótimas de secagem (T = 150°C, V = 7,5 mL/min. e C = 40%).....	77
Tabela 22. Composição centesimal e propriedades físico-químicas do cupuaçu em pó.	78
Tabela 23. Dados de sorção de umidade para o cupuaçu em pó a 25°C.	79
Tabela 24. Dados dos ajustes dos modelos aos dados de sorção de umidade do cupuaçu em pó a 25°C.	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 CUPUAÇU	19
3.1.1 Aspectos gerais	19
3.1.2 Variedades dos frutos	20
3.1.3 Composição físico-química e nutricional	20
3.1.4 Produção e utilização industrial	22
3.2 SECAGEM	22
3.2.1 Considerações gerais	22
3.2.2 Secagem por atomização	24
3.2.4 Coadjuvantes de secagem	28
3.3 ATIVIDADE DE ÁGUA.....	29
3.4 ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE	31
3.5 MODELAGEM MATEMÁTICA DE ISOTERMAS DE SORÇÃO.....	34
4 MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1. MATÉRIA-PRIMA	35
4.1.1 Polpa de cupuaçu	35
4.1.2 Agente carreador	35
4.2 SPRAY DRYER	35
4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA	36
4.4 TESTES PRELIMINARES DE SECAGEM.....	38
4.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DA SECAGEM	40
4.6 PROCESSO DE SECAGEM DA POLPA DE CUPUAÇU	41
4.7 PARÂMETROS DE QUALIDADE DO CUPUAÇU EM PÓ.....	42
4.8 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	43
4.9 VALIDAÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE SECAGEM	44
4.10 OBTENÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE CUPUAÇU	47
5.2 SECAGEM DA POLPA	51
5.2.1 Testes preliminares	51
5.2.2 Execução experimental	51

5.2.3 Morfologia dos pós	72
5.2.4 Otimização do processo de secagem	76
5.2.5 Validação das condições ótimas de secagem	77
5.3. CARACTERIZAÇÃO DO CUPUAÇU EM PÓ	78
5.4 COMPORTAMENTO HIGROSCOPICO DO CUPUAÇU EM PÓ	79
6. CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

A região amazônica é dotada de uma enorme diversidade de frutas. Dentre a diversidade de frutos tropicais encontrados nesta região, que apresentam qualidade sensorial excepcional e apelo exótico e nutricional, destaca-se o cupuaçu, que apresenta polpa rica em pectina, sabor ácido, aroma forte e agradável, bem como compostos bioativos importantes como a vitamina C e compostos fenólicos. A polpa da fruta, diferentemente de outras, não é comumente consumida *in natura*; é processada e transformada em sorvetes, sucos, licores, iogurte, doces, dentre outros produtos.

Uma aplicação de crescente interesse industrial é a produção de polpas e sucos de frutas em pó, obtidos por secagem, que garante a estabilidade química e microbiológica, aumentando a vida útil do produto, além de possibilitar a disponibilidade da fruta no período da entressafra, oferecer conveniência e agregar valor ao produto.

Dentre as várias técnicas de secagem, a atomização se destaca por demandar um tempo de secagem relativamente curto, se comparado a outros processos (RÉ, 1998). Na secagem por atomização, o ar aquecido e o líquido da alimentação são bombeados para dentro da câmara de secagem, por diferentes vias. Na câmara de secagem o líquido é atomizado e entra em contato com o ar aquecido, promovendo os mecanismos de transferência de calor e massa, que promovem à rápida evaporação da água e a formação de partículas em pó. Estas partículas seguem até o ciclone, onde são separadas; as mais densas são depositadas por gravidade no copo coletor, e as mais finas seguem o fluxo de sucção e ficam retidas no filtro.

As características do pó produzido por atomização dependem principalmente das variáveis operacionais do secador, da composição da fruta e também do tipo de coadjuvante de secagem utilizado na formulação. Neste contexto, é imprescindível a otimização das variáveis operacionais do processo, a fim de obter produtos com as melhores características funcionais, sensoriais e nutricionais. A composição das frutas, devido à presença de açúcares, pode acarretar problemas durante a secagem por atomização, como: alta higroscopicidade, pegajosidade, aglomeração e aderência dos pós nas paredes do secador. Para minimizar estes efeitos são utilizados coadjuvantes de secagem na formulação. Uma das substâncias mais empregadas com esta finalidade é a maltodextrina, que além do baixo custo, apresenta aroma e sabor neutro, baixa higroscopicidade e alta solubilidade; além de possuir efeito antioxidante e promover a retenção de voláteis (REINECCIUS, 1991).

Uma ferramenta importante para avaliar a estabilidade de produtos de baixa umidade é o estudo do comportamento higroscópico do mesmo, a partir das isotermas de sorção de

umidade, que exibem a variação da umidade de equilíbrio em função da atividade de água (a_w) do produto, em determinada temperatura (LABUZA, 1968). Este estudo possibilita estabelecer condições para o controle de reações químicas e enzimáticas, e o desenvolvimento de microrganismos, bem como estimar mudanças de umidade durante a estocagem e propor sistemas adequados de embalagens para o produto.

Diante da falta de padrões de identidade e qualidade para produtos do cupuaçu, que são de grande importância para os consumidores e para as indústrias de processamento; da escassez, na literatura científica, de pesquisas sobre a secagem por atomização da polpa deste fruto e da grande busca por tecnologias inovadoras que visem à obtenção de produtos estáveis e com as melhores características sensoriais e nutricionais, este estudo se mostra de fundamental importância. Além de ampliar o estudo da potencialidade desta fruta nativa da Amazônia, que tem despertado interesse internacional de vários países.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Otimizar as condições do processo de secagem da polpa de cupuaçu em *spray dryer*, visando expandir a comercialização desta matéria-prima e aumentar a sua vida de prateleira.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar o efeito das variáveis operacionais de secagem (temperatura de entrada do ar, vazão de alimentação e concentração de maltodextrina), sobre os parâmetros de qualidade do cupuaçu em pó (umidade, atividade de água, higroscopicidade, índice de solubilidade em água, vitamina C e compostos fenólicos totais);
- Avaliar a morfologia dos pós de cupuaçu produzidos em diferentes condições operacionais de secagem, pela técnica de microscopia eletrônica de varredura;
- A partir da metodologia de superfície de resposta e função desejabilidade, determinar as condições operacionais ótimas para o processo de secagem da polpa de cupuaçu em *spray dryer*, visando principalmente a maior retenção dos compostos bioativos;
- Validar as condições ótimas de secagem para o processo de obtenção do cupuaçu em pó;
- Determinar a composição centesimal do cupuaçu em pó obtido;
- Avaliar o comportamento higroscópico do produto em pó obtido, a partir das isoterma de sorção de umidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CUPUAÇU

3.1.1 Aspectos gerais

O cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum) é uma cultura perene e originária da região Amazônica, pertencente ao gênero *Theobroma* e compõe à família das Sterculiaceas (CORAL,1992; MÜLLER et al., 1995). As flores são as maiores do gênero, por isso o nome da espécie *T. grandiflorum* (flores grande) (SOUZA et al., 2011). Trata-se de uma espécie pré-colombiana disseminada, possivelmente, de seu centro de origem para todos os estados da região Norte do Brasil; inicialmente, pela intensa movimentação das nações indígenas no interior da Amazônia (CLEMENT, 1999). Ao longo dos anos passou a ser encontrada em vários estados brasileiros e também no exterior (FERREIRA; GUIMARÃES; MAIA, 2008).

O cupuaçu é um fruto não-climatérico, cujo nome provém da língua Tupi (kupu = que parece com cacau + uasu = grande) (GONDIM et al., 2001). A casca do fruto é rígida e lenhosa, e apresenta na camada externa aspecto de pó ferrugíneo e a camada interna cor branca amarelada (Figura 1) (MÜLLER et al., 1995). A polpa do cupuaçu é fibrosa, de cor branca amarelada e sabor ácido, aroma forte e agradável (CALZAVARA, 1970). A presença de ésteres (butanoato de etila e hexanoato de etila) e traços de terpenos confere ao fruto um aroma intenso e marcante (FRANCO; SHIBAMOTO, 2000). Segundo Rogez et al. (2004), as substâncias voláteis responsáveis pela fragrância da polpa do cupuaçu são: o linalol; um terpinol; o 2-fenil-etanol; o mirceno e o limoneno; dióis e o metoxi-2, 5-dimetil-3 (2H)-furanona.



Figura 1. O fruto do cupuaçuzeiro.

Fonte: SOUZA et al. (2011).

O fruto cupuaçu é constituído por 39 a 52% de casca, 24 a 50% de polpa, 10 a 29% sementes e 2 a 4% de placenta (fibra). Nos frutos sem sementes o percentual de polpa pode alcançar de 60 a 68% (Figura 2) (SOUZA et al. 1999).

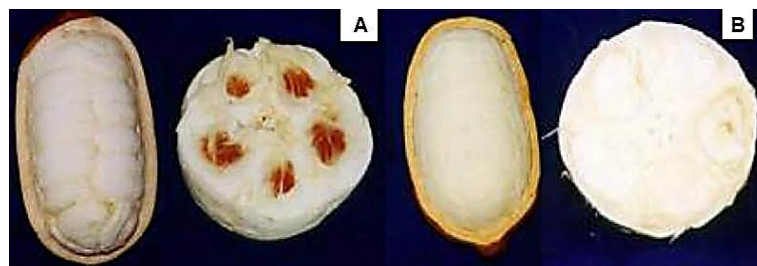


Figura 2. Cupuaçu: (A) com semente e (B) sem semente.

Fonte: SOUZA et al. (1999).

3.1.2 Variedades dos frutos

A Região Amazônica apresenta variabilidade genética do cupuaçuzeiro (HOMMA, 2012), sendo o estado do Pará a maior fonte desta variabilidade, devido a grande diversidade de populações naturais, quanto ao formato do fruto (Figura 3), rendimento de polpa, espessura da casca, acidez, número e tamanho das sementes, dentre outras características (ALVES et al., 2007).

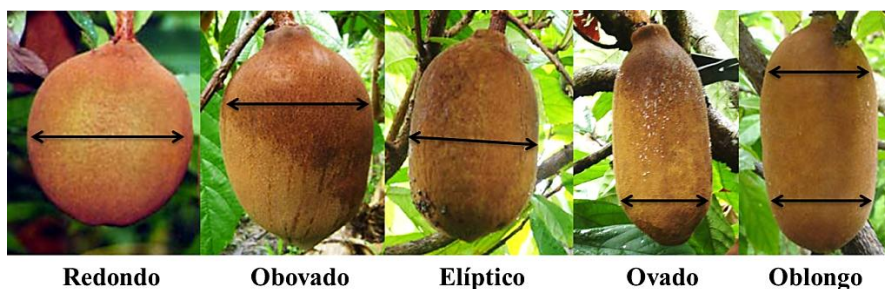


Figura 3. Frutos de cupuaçu com formatos variados.

Fonte: Adaptado de Matos et al. (2008).

Calzavara, Müller e Kahwage (1984) classificaram o cupuaçu em redondo, mamorana e mamau. O cupuaçu redondo possui extremidade arredondada e pesa em média 1,5 kg. O cupuaçu mamorana é comprido, com extremidades alongadas, e pesa em média 2,5 kg. O cupuaçu mamau, por sua vez, é a variedade que produz os frutos de maior tamanho, atingindo de 2,5 a 4,0 kg, e caracteriza-se por apresentar polpa menos ácida e não possuir sementes. Por outro lado, Souza (1996) classificou o fruto quanto ao seu formato em cinco tipos: redondo, obovado, elíptico, ovado e oblongo.

3.1.3 Composição físico-química e nutricional

A Tabela 1 apresenta a composição e propriedades físico-químicas da polpa de cupuaçu *in natura*, segundo vários autores.

Tabela 1. Composição e características físico-químicas da polpa do cupuaçu *in natura*.

Propriedade	Matos et al. (2008)	Oliveira et al. (2010)	Taco (2011)
Atividade de água a 25°C	-	0,98	-
Sólidos solúveis totais (°Brix)	13,61	12,33	-
Acidez titulável total (%)	3,11	2,29	-
pH	3,02	3,62	-
Umidade (%)	88,67	88,67	86,20
Proteínas (%)	1,13	1,82	1,20
Lipídeos (%)	0,18	0,52	1,00
Cinzas (%)	1,45	0,66	1,20
Fibras (%)	-	0,72	3,10
Açúcares totais (%)	6,98	6,02	-
Açúcares redutores (%)	2,18	2,45	-
Vitamina C (mg/100g b.u)	-	19,23	24,50

O constituinte majoritário na polpa de cupuaçu é a água, que proporciona uma atividade de água (a_w) > 0,9. Alimentos com esse nível de a_w são altamente perecíveis, pois estão propícios ao desenvolvimento de microrganismos (LABUZA, 1980). A polpa possui elevada acidez e alto teor de sólidos solúveis (CANUTO et al., 2010); além de qualidades nutricionais, devido à presença de macronutrientes como os carboidratos, proteínas e lipídios e micronutrientes como minerais, fibras e vitaminas. A fruta apresenta mais fósforo que o caju e mais vitamina C que o abacaxi e a manga (CALZAVARA; MÜLLER; KAHWAGE, 1984; VENTURIERI; AGUIAR, 1988); também é rica em pectina, uma fibra dietética solúvel (FIETZ; SALGADO, 1999).

A polpa de cupuaçu e os produtos derivados, ao longo dos anos, têm despertado interesse científico devido a seus compostos bioativos (PORTE et al., 2010; SOUSA et al., 2011). Santos et al. (2010) avaliaram diferentes marcas comerciais de polpa de cupuaçu e observaram a presença de vitamina C, carotenóides, compostos fenólicos e capacidade antioxidante, em todos os produtos. A capacidade antioxidante das polpas está correlacionada com o teor de fenólicos totais, uma vez que, a vitamina C e os carotenóides pouco contribuem para a capacidade sequestrante de radicais livres. Segundo Pugliese et al. (2013), o cupuaçu apresenta diversos compostos secundários de natureza fenólica. Dentre estes foram detectado os flavonóides: catequina, epicatequina, theograndinas e os glucuronídeos de quersetina, luteína e isorhamnetina.

3.1.4 Produção e utilização industrial

O setor da fruticultura paraense teve seu processo de expansão iniciado na segunda metade dos anos 90, favorecido pelas boas condições de solo e clima, e pela riqueza e variedade das frutas existentes. Este segmento constitui a quarta atividade econômica mais importante do estado do Pará, superado pela mineração, madeira e pecuária. As atividades de produção e beneficiamento envolvem vários tipos de frutas tropicais (regionais e exóticas), entre as quais se destacam o açaí e o cupuaçu, que apresentam maior dinâmica de produção, comercialização e inserção nos mercados nacional e internacional (NOGUEIRA; SANTANA, 2009; SAGRI, 2011).

De acordo com dados do último censo do IBGE/LSPA, o estado do Pará ocupa o 1º lugar no *ranking* nacional da produção de cupuaçu, com uma produção de 41.142 ton., e produtividade de 3,32 ton./ha. O cupuaçu é utilizado no processamento de sorvetes, e nas agroindústrias de chocolates, que aproveitam suas sementes. Os principais municípios produtores são Tomé-Açu, Moju, Acará, Bujará e Concórdia do Pará, na região do Nordeste Paraense (SAGRI, 2011).

O principal produto do cupuaçu é a polpa, que apresenta multiplicidade de uso e grandes perspectivas de utilidade tecnológica para a indústria de alimentos. Além da sua utilização no processamento de sorvetes, a polpa é utilizada na fabricação de sucos, geleias, licores, doces e iogurte (HOMMA, 2012).

O desenvolvimento de alimentos em pó tem crescido, principalmente pela estabilidade química e microbiológica, e conveniência oferecida por esses produtos (FORNY et al., 2011). Uma aplicação de crescente interesse industrial é a produção de polpas e sucos de frutas em pó, obtidos por secagem, demonstrando o potencial mercadológico existente neste setor (TONON; BRABET; HUBINGER, 2013; IGUAL et al., 2014; ROCHA et al., 2014; MUZAFFAR; KUMAR, 2015; SANTHALAKSHMY et al., 2015).

3.2 SECAGEM

3.2.1 Considerações gerais

Uma das técnicas mais antigas utilizada na preservação de alimentos é a remoção da umidade do produto, por meio de processos de secagem ou desidratação (FIOREZE, 2004). Os primeiros registros do uso da secagem artificial em alimentos são do século XVIII e o desenvolvimento dessa indústria se relaciona estreitamente com as guerras ocorridas no

mundo (VAN ARSDEL; COPLEY, 1963). Mas a secagem somente foi adotada como tecnologia em escala industrial a partir da metade do século XX (GREENSMITH, 1998).

A secagem é uma operação unitária que promove a remoção da água do material através da evaporação. Existem dois métodos de secagem: a natural, feita pelo sol ou vento (método mais antigo); e a artificial, a qual necessita de fornecimento de energia. Durante a secagem é necessário o fornecimento de calor para evaporar a umidade do material e também deve haver um absorvedor de umidade para remover o vapor de água, formado na superfície do material a ser seco (PARK; YADO; BROD, 2001).

Os fenômenos envolvidos no processo de secagem são complexos, pois envolvem, simultaneamente, a transferência de calor e de massa, podendo abranger ainda a transferência de quantidade de movimento (FERREIRA; PENA, 2010). Este processo pode envolver os três mecanismos de transferência de calor: convecção, condução e radiação. Os processos convectivos são os mais empregados na secagem comercial, no qual um fluxo de ar aquecido passa através de uma camada do produto (MUJUMDAR, 1995). Durante a secagem, a umidade migra do interior para a superfície do produto, de onde evapora para o ambiente. Isto ocorre devido à diferença de temperatura, que promove a transferência de calor do ambiente mais quente para o material úmido. A retirada da umidade ocorre pela movimentação das moléculas de água, decorrente de uma diferença de pressão parcial de vapor d'água entre o ambiente (ar quente) e a superfície do produto, a qual promove a transferência de massa do produto para o ar (PARK; YADO; BROD, 2001).

Os mecanismos mais importantes de transferência de massa são: difusão líquida, difusão de vapor e fluxo de líquido e de vapor. A difusão líquida ocorre devido à existência do gradiente de concentração; a difusão de vapor ocorre devido ao gradiente de pressão de vapor, causado pelo gradiente de temperatura. Já os fluxos de líquido e de vapor ocorrem devido à diferença de pressão externa, de concentração, capilaridade e alta temperatura (PARK et al., 2007).

A secagem reduz a quantidade de água presente em um alimento, e mais precisamente sua atividade de água (a_w). A redução da a_w limita o desenvolvimento de microrganismos e inibe a maioria das reações químicas e enzimáticas que provocam alterações no produto, garantindo a estabilidade e prolongando a vida de prateleira do mesmo (HELDMAN; HARTEL, 2000; FIOREZE, 2004). Adicionalmente, a secagem promove um aumento da concentração dos nutrientes (carboidratos, proteínas, gorduras, etc.) no produto, quando comparado com o produto fresco (VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010). A secagem proporciona muitos benefícios econômicos, pois há uma diminuição nos custos de transporte,

embalagem e armazenamento, em função da redução do volume e do peso do produto. Produtos secos, também não necessitam de refrigeração durante o armazenamento e o transporte. Além de proporcionar maior vida de prateleira do produto, a secagem possibilita a diversificação da oferta dos mesmos, permitindo que sejam disponibilizados fora da safra (FELLOWS, 2006; GOULA; ADAMOPOULOS, 2010; VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

Apesar das vantagens, a secagem pode provocar alterações indesejáveis nas características sensoriais (cor, textura e flavor) e nutricionais (vitaminas) do alimento (ORDÓÑEZ, 2005). A textura é afetada devido às altas temperaturas que provocam alterações físicas e químicas na superfície do alimento. Como resultado, a cor é alterada, ocorrendo efeitos negativos nos pigmentos devido à mudanças na superfície do alimento. O sabor pode ser afetado devido à oxidação de pigmentos (carotenóides) e o aroma sofre algumas alterações, provocadas pela perda de componentes voláteis. As vitaminas são os componentes mais afetados; geralmente ocorre destruição parcial de algumas vitaminas, principalmente da vitamina C, que é sensível ao calor e à oxidação (CAMARGO, 2003; VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

3.2.2 Secagem por atomização

A secagem por atomização é um método amplamente utilizado na indústria alimentícia, e sob condições ótimas de transformação foi provado ser uma técnica eficaz na obtenção de muitos produtos (ADHIKARI et al., 2004). Essa técnica é comumente utilizada para secar alimentos líquidos ou pastosos, como polpas e sucos de frutas (TONON; BRABET; HUBINGER, 2013; IGUAL et al., 2014; ROCHA et al., 2014; MUZAFFAR; KUMAR, 2015; SANTHALAKSHMY et al., 2015).

A secagem por atomização é um processo adiabático contínuo e se destaca por demandar um tempo de secagem relativamente curto se comparado a outros processos (RÉ, 1998). Segundo Dziezak (1988), a evaporação da água é muito rápida, graças à alta relação área de superfície/volume das gotículas. Com isso, o tempo de exposição das partículas ao calor é curto, e a temperatura do núcleo não ultrapassa os 100°C, permitindo a secagem de produtos sensíveis ao calor, sem afetar demasiadamente a sua qualidade. Outra vantagem é que as partículas atomizadas são muito pequenas (geralmente menores que 100 µm), o que torna o produto altamente solúvel.

A operação de secagem em *spray dryer* consiste de quatro estágios: atomização do líquido, contato do líquido atomizado com o ar quente, evaporação da água e a separação do

produto em pó do ar de secagem (SARAWADE et al., 2011). No processo de secagem por atomização (Figura 4), o produto a ser seco é bombeado para dentro da câmara de secagem e atomizado através de bicos pressurizados ou discos atomizadores. A atomização resulta da aplicação de uma energia que age sobre o líquido até o ponto em que ocorre o seu rompimento e desintegração, criando uma nuvem de gotículas (Estágio 1). Esta nuvem entra em contato com ar aquecido (Estágio 2), ocorrendo à secagem imediata, devido à rápida evaporação da água (Estágio 3). Devido ao sistema de sucção, o pó atomizado passa por um reservatório onde o gás se movimenta de forma circular, formando um ciclone, que serve para separar as partículas finas das aglomeradas. As partículas aglomeradas, mais pesadas, se depositam por gravidade no reservatório de produto, e as finas seguem o fluxo de sucção até ficarem retidas no filtro (Estágio 4) (RÉ, 1998).

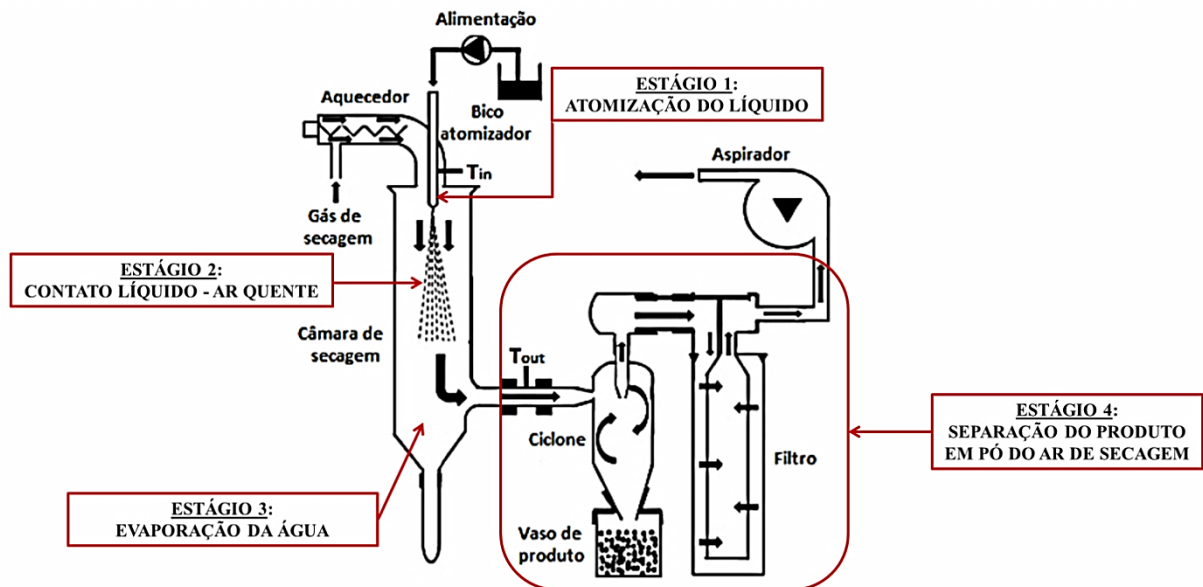


Figura 4. Esquema de funcionamento de um *spray dryer*.

Fonte: Adaptado de Sarawade et al. (2011).

A qualidade de produto em pó obtido é influenciada pelas características da alimentação (concentração da alimentação, temperatura de alimentação, tipo e concentração de aditivos), do tipo de secador (dimensões, sistema de resfriamento, etc.) e das condições operacionais da secagem (temperatura de entrada e de saída do ar de secagem, vazão do ar, vazão da alimentação, velocidade de atomização ou pressão do bico atomizador) (KING et al., 1984; MASTERS, 1985). Estas variáveis são importantes para otimizar o processo de secagem, para obter produtos na forma de pó, com bom rendimento e boas características nutricionais e sensoriais (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009b; ROCHA et. al., 2014).

A concentração de sólidos no fluido de alimentação exerce grande impacto sobre a eficiência da operação de secagem por atomização (MASTERS, 1985). Segundo Cao et al. (2000), alta concentração de sólidos, eleva a viscosidade, resultando em pós com maior densidade. Por sua vez, suspensões com baixas concentrações de sólidos demandam a evaporação de grande quantidade de solvente ou requerem a adição de adjuvantes de secagem, visando à formação de partículas maiores (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

Um dos parâmetros de maior importância é a temperatura do ar de entrada, a qual é determinante na qualidade do produto obtido. O aumento na temperatura do material na entrada facilita o processo de secagem, pois normalmente reduz a tensão superficial e a viscosidade, facilitando a formação de gotículas. A temperatura de entrada deve estar acima do ponto de ebulição do solvente a ser evaporado. A umidade do produto no final da secagem é determinada pela temperatura de saída, que por sua vez é dependente da temperatura de entrada. O melhor ajuste da temperatura de entrada e saída necessita ser estabelecido para otimização das características físicas do produto (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

O ajuste da vazão de alimentação tem como objetivo a evaporação do líquido presente nas gotículas antes que estas entrem em contato com as paredes da câmara de secagem. O aumento da velocidade de alimentação excessiva conduz à diminuição da temperatura de saída e ao acúmulo do material sobre as paredes da câmara (MASTERS, 1985; RANKELL; LIEBERMAN; SCHIFFMAN, 2001). A taxa de secagem, a morfologia e o rendimento das partículas sofrem a influência da vazão de alimentação do líquido (AMERI; MAA, 2006; ANANDHARAMAKRISHNAN et al., 2007).

Alguns autores recomendam ajustar a vazão do ar de secagem para o máximo possível, uma vez que esta variável apresenta um impacto não somente sobre a secagem do produto, mas também na eficiência de separação do pó no ciclone (MAURY et al., 2005; CAL et al., 2010).

Em relação ao sentido do fluxo de produto/fluxo do ar de secagem no interior do *spray dryer*, os modos possíveis são: co-corrente, contra-corrente ou misto. No fluxo co-corrente o material líquido pulverizado e o ar de secagem têm mesmo sentido de corrente dentro do equipamento. No fluxo contra-corrente o material líquido e o ar de secagem têm sentidos de escoamento opostos dentro da câmara. O fluxo misto apresenta uma mistura dos dois sistemas anteriores (CAL et al., 2010; PEIGHAMBARDUST et al., 2011).

A escolha do tipo do atomizador é fundamental, visto que a distribuição e o tamanho de partículas estão relacionados com o tamanho das gotículas formadas pelo processo de atomização (FILKOVÁ; MUJUMDAR, 1987; BROADHEAD; EDMOND ROUAN;

RHODES, 1992; AMERI; MAA, 2006). Estes são classificados em três tipos básicos, sendo: bicos de pressão (a energia para a formação de gotas é fornecida pelo próprio líquido bombeado); bicos pneumáticos (um gás, geralmente o ar, é misturado à suspensão, fornecendo a energia para a formação das gotas); e discos rotatórios (o líquido é alimentado no centro do disco, posteriormente, caminha para as bordas do disco por forças centrífugas, sendo atomizado, formando uma nuvem de gotas) (PERRY; GREEN; MALONEY, 1997; OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

Os atomizadores pneumáticos e de pressão apresentam a desvantagem de serem mais propensos à oclusão dependendo do material utilizado, embora permitam a obtenção de partículas de tamanhos diversos, de acordo com a escolha do diâmetro interno do bocal injetor. Os discos atomizadores rotatórios quase não apresentam problemas de entupimento, podem ser utilizados para secagem de produtos abrasivos (PEIGHAMBARDUST et al., 2011), e possuem maior aplicação na secagem de líquidos de elevada viscosidade ou até mesmo pastas (MASTERS, 1985; RANKELL; LIEBERMAN; SCHIFFMAN, 2001).

3.2.3 Secagem de polpas de frutas

A secagem de polpas e sucos de frutas é considerada um processo complicado, devido aos compostos de baixo peso molecular como açúcares (sacarose, glicose, frutose) e ácidos orgânicos, que constituem a maior parte dos sólidos presentes nestes produtos. Solutos como açúcares e ácidos orgânicos presentes nos alimentos, devido ao curto tempo de secagem durante a atomização, tornam-se amorfos, um estado definido pela falta de organização das moléculas (JAYA; DAS, 2009). Os produtos alimentícios em pó, que contêm carboidratos amorfos, podem passar por mudanças físicas, tais como: cristalização, pegajosidade e compactação durante o processamento, manipulação e estocagem, e estas mudanças estão diretamente relacionadas com a temperatura de transição vítrea (T_g), que envolve a transição de um estado vítreo para um estado gomoso (ROOS; KAREL, 1991; TONON et al., 2009a).

Devido as elevadas concentrações de açúcares nas polpas e sucos de frutas, os pós obtidos apresentam baixa temperatura de transição vítrea (T_g). Baixos valores de T_g é um dos fatores mais críticos, pois provocam mudanças nas propriedades físico-químicas, facilitando a absorção de água, aumentando a higroscopicidade e pegajosidade, e prejudicando a secagem e o armazenamento do pó. Em secadores por atomização, a presença de açúcares pode ser um enorme problema, quando as partículas insuficientemente secas colidem com a parede do equipamento de secagem (adesão) ou colidem entre si (coesão), produzindo um produto pastoso, ao invés de um pó. Como consequências, pode haver comprometimento da

estabilidade do produto, redução do rendimento do processo (devido à adesão às paredes do secador), e dificuldades nas condições de escoamento do produto e manipulação do pó (BRENNAN; HERRERA; JOWITT, 1971, DOWNTON; FLORES-LUNA; KING, 1982, ROOS, 1995; BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997).

A adição de agentes carreadores de secagem, que são polímeros de alto peso molecular com elevados valores de T_g , pode evitar ou minimizar os problemas mencionados. Os agentes carreadores são capazes de reduzir a higroscopicidade e a pegajosidade dos pós, facilitando a secagem e evitando a aglomeração e a adesão das partículas nas paredes do secador (BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997; BHANDARI; HARTEL, 2005); além de melhorar a estabilidade do produto durante a secagem e o armazenamento (TONON et al., 2009a).

3.2.4 Coadjuvantes de secagem

Uma série de polímeros tem sido utilizada como coadjuvante de secagem de vários ingredientes alimentícios (GHARSALLAOUI et al., 2007). Esses materiais podem ser componentes simples ou complexos, como carboidratos (amidos, maltodextrinas, xaropes de milho, dextranas, sacarose, ciclodextrinas, celulose e derivados), gomas (arábica, ágar e carragena), lipídeos (ceras, parafina e diglicerídeos) e proteínas (glúten, caseínas do leite, gelatinas, albuminas, hemoglobinas e peptídeos) (SHAHIDI; HAN, 1993). A seleção do coadjuvante leva em conta uma série de fatores que envolvem a qualidade do produto, o preço e desempenho durante o processo (BRENNAN; HERRERA; JOWITT, 1971).

Muitos trabalhos na literatura demonstram que a maltodextrina é o coadjuvante mais utilizado na secagem de polpas e sucos de frutas em *spray dryer* (OLIVEIRA et al., 2013; TONON; BRABET; HUBINGER, 2013; IGUAL et al., 2014; MUZAFFAR; KUMAR, 2015; SANTHALAKSHMY et al., 2015; SANTANA et al., 2016). A maltodextrina $[(C_6H_{12}O_5)_nH_2O]$ é um carboidrato formado pela hidrólise parcial do amido, por ação de ácidos ou enzimas, ou ainda uma combinação destes; que apresenta cadeias de D-glicose conectadas por ligações α -1,4 (Figura 5) (SHAHIDI; HAN, 1993; GHARSALLAOUI et al., 2007; TONON et al., 2009a). Os hidrolisados são descritos em relação à sua dextrose equivalente (DE), que é uma medida do total do número de unidades de α -D-glicose anidra e está ligada ao grau de polimerização (DP), ou seja, ao número de unidades monoméricas em uma molécula do polímero, de forma que $DE = 100/DP$ (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995). As maltodextrinas apresentam valores de DE menores que 20. O número de dextrose equivalente (DE) pode influenciar as características finais do produto obtido, como a higroscopicidade, solubilidade, viscosidade, efeito antioxidante e retenção de voláteis (ANANDARAMAN;

REINECCIUS, 1986; KENYON; ANDERSON, 1988; RÉ, 1998). As maltodextrinas possuem alta massa molecular e apresentam temperaturas de transição vítrea (T_g) que variam de 100 a 243°C, em função do valor de DE (GOULA; ADAMOPOULOS, 2008).

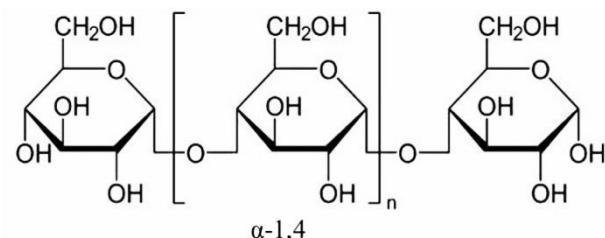


Figura 5. Estrutura química da Maltodextrina.

Fonte: Adaptado de Kennedy; Knill e Taylor (1995).

Usualmente, a maltodextrina é produzida na forma de um pó branco, apresenta boa estabilidade e é solúvel em alimentos líquidos comestíveis, incluindo os sucos de frutas. Estes compostos são pouco higroscópicos e oferecem vantagens como baixo custo, aroma e sabor neutros e baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos (REINECCIUS, 1991; CANO-CHAUCA et al., 2005; GOUBET; LE QUERE; VOILLEY, 1998). Além disso, oferece boa proteção aos materiais encapsulados contra oxidação e retenção de voláteis na faixa de 65 a 80% (KENYON; ANDERSON, 1988; REINECCIUS et al., 1991; SHAHIDI; HAN, 1993). Este fato é atribuído ao seu poder redutor, às suas propriedades plásticas e capacidade de formar um filme ao redor das partículas secas (QI; XU, 1999; BAE; LEE, 2008; ELNAGGAR et al., 2010). Devido às vantagens que o material oferece, e visando reduzir custos elevados inerentes a utilização da goma arábica, a maltodextrina tem sido o substituto utilizado na secagem por atomização (ANANDARAMAN; REINECCIUS, 1986; KRISHNAN; BHOSALE; SINGHAL, 2005).

3.3 ATIVIDADE DE ÁGUA

A água presente em um alimento pode se encontrar na forma ligada ou livre. A água ligada interage diretamente com as moléculas constituintes do alimento, não podendo ser removida ou utilizada para qualquer tipo de reação. Já a água livre, não se encontra comprometida com as moléculas constituintes do produto, estando disponível para as reações químicas e biológicas, o que a torna a principal responsável pela deterioração e perda do valor comercial dos alimentos (WELTI; VERGARA, 1997; VASCONCELOS; MELO FILHO, 2010).

A atividade de água (a_w) é um dos fatores intrínsecos dos alimentos e é uma medida qualitativa, que possibilita avaliar a disponibilidade de água livre, suscetível a diversas reações. A umidade, por sua vez, é uma medida meramente quantitativa, que mede o percentual em peso, de toda água presente em um alimento (SCOTT, 1957). A a_w de um alimento pode ser um fator indicativo da sua tendência à deterioração, entretanto, deve-se ressaltar que existem alimentos com a mesma umidade, que apresentam diferenças quanto à sua estabilidade. Sendo assim, o principal fator relacionado com a estabilidade de um alimento não é a umidade, e sim a_w que indica a disponibilidade de água para o crescimento de micro-organismo, reações químicas e enzimáticas (COULTATE, 1996).

O aumento da a_w afeta a estabilidade dos alimentos, pois em elevadas a_w há maior crescimento de microrganismos. Em valores de a_w acima de 0,9 pode haver a formação de soluções diluídas com componentes do alimento que servirão de substrato para o crescimento microbiano (CELESTINO, 2010).

A redução da a_w consegue inibir o crescimento microbiano. Segundo Troller (1980), em ambientes de a_w reduzida, as células microbianas necessitam de muita energia, tanto para excluir solutos do seu ambiente interno, quanto para desenvolver suas atividades metabólicas na presença de alta concentração de solutos. Como consequência, os microrganismos podem ter suas taxas de crescimento reduzidas, ou até morrer, em situações extremas.

Diferentes microrganismos apresentam diferentes graus de tolerância a baixa a_w . As bactérias são mais exigentes quanto à disponibilidade de água livre, seguida das leveduras e dos bolores (LABUZA, 1980). Geralmente, o crescimento de bactérias é inibido a valores de a_w inferior a 0,90; exceto as bactérias halofílicas (a_w mínima 0,75) e *Staphylococcus aureus* (a_w mínima 0,86, em condições aeróbias). Os fungos são os microrganismos mais resistentes à diminuição da a_w , pois são os principais responsáveis pela deterioração de alimentos na faixa de a_w de 0,6 a 0,7. Isto se deve ao fato de que nessa faixa não há competição de bactérias (BEUCHAT, 1981). Assim, valores de a_w inferiores a 0,60 não permitem o crescimento de microrganismos e, conseqüentemente evitam a possibilidade da deterioração microbiana no alimento (LABUZA, 1980).

A a_w afeta não somente as taxas de alterações microbiológicas, mas também influencia as alterações químicas. Em a_w entre 0,40 a 0,80 pode ocorrer o aumento da velocidade das reações químicas e enzimáticas devido à alta concentração dos reagentes (CELESTINO, 2010). Segundo Labuza (1980), em $a_w < 0,2$ (monocamada) todas as reações são praticamente inibidas, exceto a oxidação lipídica, que sofre uma rápida elevação neste nível de a_w .

Quando um alimento está em equilíbrio com o ambiente, existe uma relação entre a

sua a_w e a umidade relativa do ar no equilíbrio (URE), estabelecida pela Equação (1). A relação entre URE e a_w permite prever quais alimentos irão ganhar ou perder umidade, quando forem expostos a um ambiente com determinada umidade relativa (COULTATE, 1996).

$$A_w = \frac{\text{URE \%}}{100} \quad (1)$$

3.4 ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

As isotermas de sorção de umidade são curvas que exibem a variação da umidade de equilíbrio de uma amostra em função de sua a_w , a uma temperatura constante (LABUZA, 1968). Estas isotermas são essenciais para que se possa conhecer o comportamento higroscópico de um produto alimentício seco, bem como na otimização das condições do processo de secagem do mesmo (ROCKLAND, 1957; TONON; BRABET; HUBINGER, 2009b; ROCHA et. al., 2014). Através delas pode-se calcular o tempo de secagem, prever o comportamento de ingredientes após a mistura, realizar a seleção de embalagens, modelar as mudanças de umidade que podem ocorrer durante a estocagem e estimar a vida de prateleira de alimentos em pó (LOMAURO; BAKSHI; LABUZA, 1985; ZHANG et al., 1996)

O fenômeno de adsorção está relacionado com o ganho de umidade, enquanto a dessorção representa a perda de umidade de um produto, quando o mesmo é exposto em um ambiente com temperatura e umidade relativa controlada, até que a umidade de equilíbrio seja atingida. Uma isoterma de adsorção é obtida colocando um material completamente seco em contato com várias atmosferas de umidades relativas crescentes e medindo o ganho de massa, até o equilíbrio. Uma isoterma de dessorção, por sua vez, é obtida colocando o material úmido sob umidades relativas decrescentes; e acompanhando-se neste caso a perda de massa, até o equilíbrio (LABUZA, 1968).

Uma isoterma de sorção de umidade é dividida em três regiões (Figura 6). A região I, denominada de monocamada, representa o ponto de maior gasto de energia em um processo de secagem, devido a água estar fortemente ligada a sítios polares, de energia relativamente elevada (água não congelável). A remoção desta fração de água requer energia superior ao calor latente de vaporização. Na região II, denominada de água de multicamada, a água ocupa os sítios remanescentes, formando várias camadas em torno dos grupos hidrofílicos. Esta fração da está disponível como solvente. Na região III, denominada água de condensação, a água é considerada livre e se encontra mais fracamente ligada aos sólidos do produto. Esta

fração da é congelável e está disponível como solvente (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

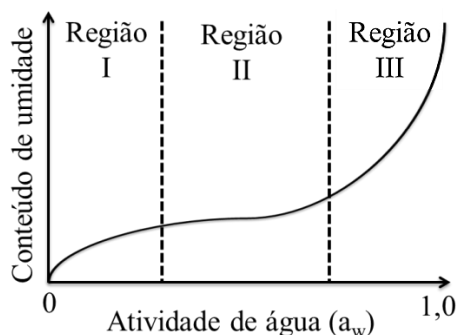


Figura 6. Regiões de uma isoterma de sorção de umidade de produto alimentício.

Fonte: Adaptado de Heldman e Lund (1992).

As isotermas de adsorção e dessorção de umidade raramente percorrem o mesmo caminho. A diferença existente entre as duas curvas é denominada histerese (Figura 7). Para um determinado valor de a_w , a umidade da amostra durante o processo de dessorção é maior do que na adsorção (LABUZA, 1968).

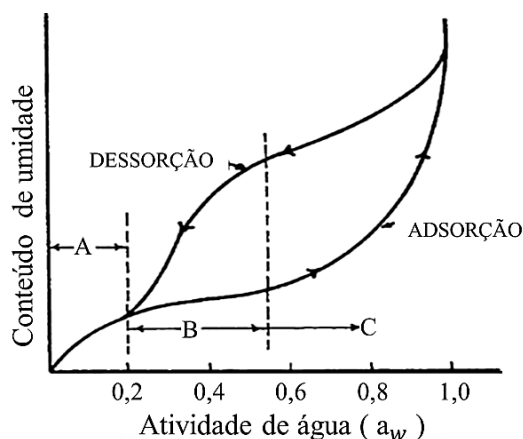


Figura 7. Fenômeno de histerese entre as isotermas de adsorção e dessorção de umidade.

Fonte: Adaptado de Labuza et al. (1968).

Segundo Labuza (1968), o efeito de histerese é característico da região de condensação capilar, podendo se estender até a região de multicamadas e, muito raramente, até a região da monocamada. Várias teorias têm sido propostas para explicar a histerese, tais como condensação capilar, mudanças na estrutura física do material, impurezas na superfície e mudança de fase, mas ainda não foi encontrada uma explicação definitiva para o fenômeno. A histerese pode ser usada para estimar a possibilidade de deterioração de um alimento, por

reações químicas e microbiológicas (KAMINSKI; KUDRA, 2000). Adicionalmente, a histerese é importante na determinação da proteção necessária contra o ganho de água (FELLOWS, 2006). Segundo Damodaran, Parkin e Fennema (2010), quanto menor a temperatura, maior a amplitude da histerese (Figura 8).

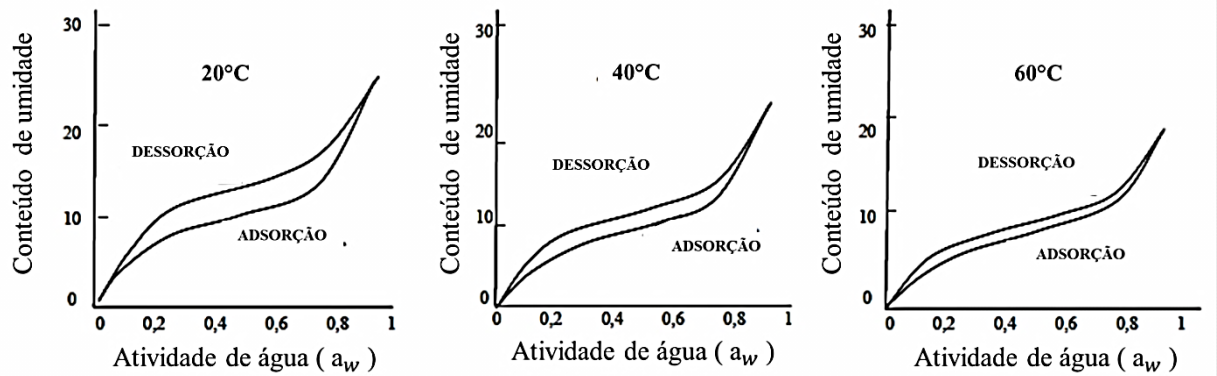


Figura 8. Efeito da temperatura sobre a histerese.

Fonte: Adaptado de Damodaran, Parkin e Fennema (2010).

A retenção de água e as características das isotermas de sorção de umidade variam consideravelmente de um alimento para outro, em função da estrutura física e da composição química do produto. Alimentos ricos em proteínas e amido apresentam isotermas com comportamento sigmoide e são classificadas como tipo II (Figura 9a); a qual é a forma mais comum de isoterma em alimentos. Alimentos ricos em sólidos solúveis (ex. açúcares), por sua vez, apresentam isotermas com comportamento exponencial e são classificadas como tipo III (Figura 9b). Em baixa atividade de água, os produtos à base de amido ou proteína retêm uma maior quantidade de água que os ricos em açúcares; sendo que os amiláceos absorvem mais água do que os proteicos (SALWIN, 1963; WOLF et al., 1985; DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

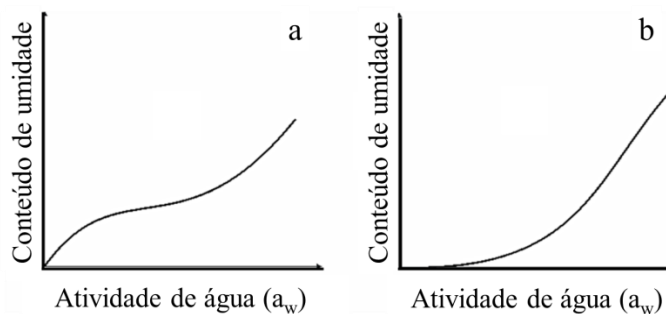


Figura 9. Isotermas de sorção de umidade do tipo II (a) e do tipo III (b).

Fonte: Adaptado de Brunauer et al. (1940).

As isotermas de sorção sofrem influência da temperatura, pois uma modificação na temperatura quase sempre promove alteração na umidade de equilíbrio. Assim, como observado na Figura 10, para um nível de a_w constante, a umidade de equilíbrio diminui com o aumento da temperatura (KAMINSKI; KUDRA, 2000).

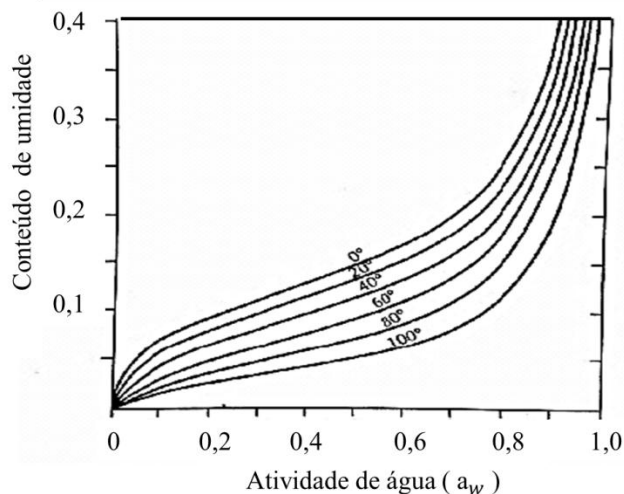


Figura 10. Isotermas de sorção de umidade de batata, em diferentes temperaturas.

Fonte: Adaptado de Damodaran, Parkin e Fennema (2010).

3.5 MODELAGEM MATEMÁTICA DE ISOTERMAS DE SORÇÃO

Existe na literatura científica mais de duzentas equações propostas para representar o fenômeno de equilíbrio higroscópico de produtos agrícolas. Esses modelos diferem na sua base teórica ou empírica e na quantidade de parâmetros envolvidos (MULET et al., 1999). Embora não exista uma equação geral capaz de descrever todos os tipos de isotermas de sorção observados para alimentos (ALCÂNTARA et al., 2009), alguns modelos podem ser considerados mais adequados que outros, pois descrevem com maior precisão o fenômeno de sorção numa ampla faixa de a_w (LANG; STEINBERG, 1981) ou por fornecerem parâmetros que permitem relacionar o efeito da temperatura sobre as isotermas (LOMAURO; BAKSHI; LABUZA, 1985).

A maior vantagem da utilização de modelos matemáticos na predição de isotermas de sorção de umidade reside no fato de que com poucos pontos experimentais pode-se construir uma isoterma, a qual pode ser facilmente interpolada ou extrapolada para obtenção de pontos nas regiões de baixas e altas a_w , pontos estes de mais difícil determinação experimental (ROCKLAND, 1957; PENA; RIBEIRO; GRANDI, 2000).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MATÉRIA-PRIMA

4.1.1 Polpa de cupuaçu

A polpa de cupuaçu, proveniente de um único lote, foi fornecida pela Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA), indústria de polpa de frutas localizada no município de Tomé-Açu (PA), a aproximadamente 208 km da cidade de Belém. A polpa congelada foi transportada até o Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará (UFPA), onde foi descongelada, embalada em sacos plásticos de polietileno (≈ 1 kg) e armazenada em freezer a -18°C . Para a realização dos experimentos, a polpa foi descongelada sob refrigeração ($\approx 4^{\circ}\text{C}$), de acordo com a quantidade necessária para a realização de cada análise.

4.1.2 Agente carreador

O coadjuvante utilizado no processo de secagem foi a maltodextrina comercial com dextrose equivalente 20 (Maltogill 20), produzida e comercializada pela Cargill Agrícola SA.

4.2 SPRAY DRYER

Para os ensaios de secagem foi utilizado um secador de bancada do tipo *mini spray dryer* Büchi B-290 (Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland) (Figura 11), disponível no Laboratório de Processos da UFPA.



Figura 11. Mini *spray dryer* Büchi B-290 utilizado na pesquisa.

O equipamento foi programado para operar com fluxo de corrente paralelo e um bico injetor do tipo *nozzle*, com 0,7 mm de diâmetro interno. A pressão do ar comprimido no atomizador, a temperatura da alimentação e a vazão do ar de secagem foram fixados em 0,8 MPa, 25°C e 35 m³/h, respectivamente. Durante o processo foram controladas as seguintes variáveis: temperatura de entrada do ar e vazão de alimentação. Para efeitos de acompanhamento, a temperatura de saída do ar de secagem foi lida no display digital no painel de controle do equipamento.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA

A polpa de cupuaçu foi caracterizada em relação ao teor de umidade, cinzas, lipídeos, proteínas, açúcares, teor de vitamina C, compostos fenólicos totais, a_w , pH, acidez, sólidos solúveis totais e cor. As análises foram realizadas em triplicata e avaliadas por estatística descritiva (média e desvio padrão), com o auxílio do *software* Microsoft Office Excel 2007.

Umidade

A umidade foi determinada por gravimetria, em estufa a vácuo a 70°C (MARCONI MA030/12, Piracicaba - SP, Brasil), até peso constante (AOAC, 1997).

Cinzas (resíduo mineral fixo)

As cinzas foram determinadas por gravimetria, através da incineração da matéria orgânica da amostra, em forno mufla a 550°C (QUIMIS Q318M, Diadema - SP, Brasil), conforme metodologia recomendada pela AOAC (1997), método n° 940.26.

Lipídios (extrato etéreo)

A fração lipídica foi determinada pelo método de extração por Soxhlet, de acordo com o método n° 963.15 da AOAC (1997). Foi utilizado éter de petróleo como solvente.

Proteínas

O teor de proteína bruta foi determinado pelo método de Kjeldahl, de acordo com a metodologia n° 920.152 da AOAC (1997). Para a conversão do nitrogênio total contido na amostra em proteína bruta foi utilizado o fator de 6,25.

Açúcares redutores e totais

Os açúcares foram determinados pelo método titulométrico, utilizando soluções de Fehling A e B, de acordo com a AOAC (1997), método n° 920.183b.

Vitamina C (ácido ascórbico)

O teor de ácido ascórbico (mg/100 g) foi determinado pelo método titulométrico de Tillmas, método n° 967.21 descrito pela AOAC (1997), que se baseia na redução do indicador 2,6-diclorofenolindofenol (DCFI) pelo ácido ascórbico. A metodologia foi adaptada, com a substituição do ácido metafosfórico pelo ácido oxálico. 10 g da amostra foram diluídos em 100 mL da solução de ácido oxálico a 1%. Desta amostra diluída foram pipetados 4 mL para um erlenmeyer contendo 50 mL da solução de ácido oxálico a 1%, e a solução foi titulada com DCFI a 2%, até a coloração rosa persistente por mais de 15 segundos.

Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais (CFT) foram determinados de acordo com a metodologia porposta por Singleton e Rossi (1965). Inicialmente, a amostra (3 g) foi diluída em 25 mL da solução extratora (acetona 70%), mantida sob agitação por 10 min e, em seguida foi filtrada em papel filtro quantitativo. Uma alíquota de 1 mL do filtrado foi diluído em água destilada (correção da concentração de acetona para 7%), no balão de 10 mL. Em tubos de ensaios, pipetou-se 0,5 mL da solução diluente com 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteau (10% p/v) e 2,0 mL de carbonato de sódio (7,5% p/v), seguido de agitação e repouso por meia hora, sob o abrigo da luz. Para o branco, utilizou-se 0,5 mL da solução de acetona a 7%. Por fim, esta solução foi transferida as cubetas e feita a leitura da absorbância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 760 nm. Uma curva de calibração foi obtida com ácido gálico, para quantificar o conteúdo de CFT (mg GAE/100 g).

Atividade de água

A atividade de água (a_w) foi determinada por leitura direta em termo-higrômetro digital (AQUALAB 4TEV, Pullman - WA, USA), na temperatura de 25°C.

pH

O pH foi determinado por leitura direta da amostra homogeneizada em potenciômetro (HANNA HI 2221, Woonsocket - RI, USA), previamente calibrado com soluções tampão pH 4 e 7, segundo método n° 981.12 da AOAC (1997).

Acidez

A acidez foi determinada pelo método titulométrico, utilizando uma solução de NaOH 0,1 N e o indicador fenolftaleína, segundo método n° 942.15 da AOAC (1997). Os resultados foram expressos em g de ácido cítrico por 100 gramas da amostra.

Sólidos solúveis

Os sólidos solúveis foram determinados em refratômetro Abbe digital de bancada (QUIMIS Q767BD, Diadema - SP, Brasil). Para tal, foram colocados duas gotas da amostra no prisma ótico e feita a leitura dos sólidos solúveis, em °Brix, diretamente na escala do aparelho, devidamente calibrado.

Cor instrumental

Os parâmetros de cor instrumental foram determinados por leitura direta em colorímetro digital (KONICA MINOLTA CR-400, Osaka, Japan), previamente calibrado em superfície branca, de acordo com padrões pré-estabelecidos (BIBLE; SINGHA, 1993). Os resultados foram expressos de acordo com a escala CIELAB (Figura 12), para as coordenadas: luminosidade (L^*), que varia da cor preta (0) à branca (100); a^* , que varia da cor verde ($-a^*$) à vermelha ($+a^*$); b^* , que varia da cor azul ($-b^*$) à amarela ($+b^*$); Chroma (C^*), que define a intensidade de cor e o ângulo Hue (h°), que é um indicativo de tonalidade de cor (0° = vermelho, 90° = amarelo, 180° = verde e 270° = azul).

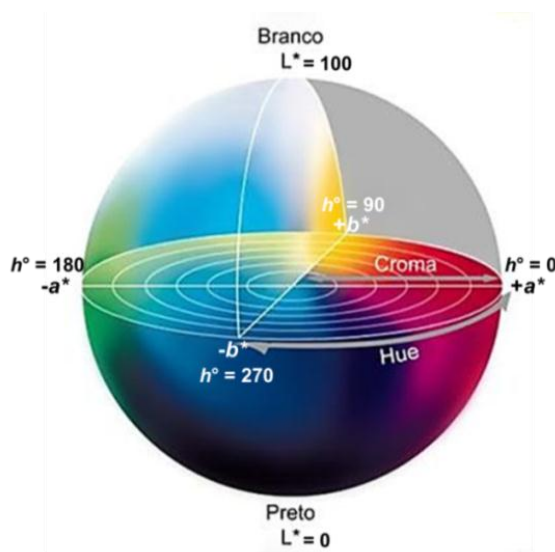


Figura 12. Coordenadas colorimétricas, sistema CIELAB.

Fonte: Adaptado de Minolta (1994).

4.4 TESTES PRELIMINARES DE SECAGEM

A Tabela 3 apresenta as condições utilizadas nos testes preliminares da secagem da polpa de cupuaçu, em *spray dryer*. Foram realizados 12 ensaios com o objetivo de determinar a melhor diluição (polpa:água) e o tratamento para a polpa, de maneira a evitar o entupimento do pulverizador, bem como definir a faixa de estudo das variáveis independentes (temperatura

de entrada do ar, vazão de alimentação e concentração de maltodextrina). As condições operacionais utilizadas nos testes preliminares foram definidas com base na literatura e nos limites operacionais do secador.

Tabela 2. Testes preliminares de secagem.

Ensaio	Diluição	Tratamento	Sólidos Totais (%)	T (°C)	V (mL/min)	C (%)
1	1:1	*	6,9	120	4,5	30
2	1:1	*	6,9	120	7,5	25
3	1:1	*	6,9	145	5,1	25
4	1:1	*	6,9	145	15	10
5	1:1	**	6,8	124	13	34
6	1:1	****	5,5	145	15	25
7	1:1,5	***	5,1	145	15	25
8	1:1,5	****	5,2	145	15	40
9	1:1,5	*	4,3	170	6,0	20
10	1:2	*	4,1	130	6,0	30
11	1:2	*	4,1	150	6,0	25
12	1:2,5	*	3,6	130	6,0	20

*Liquidificador, moinho coloidal e malha Tyler/Mesh 65.

** Moinho coloidal e malha Mesh 48 (0,30mm).

*** Malha Mesh 48 (0,30mm) e 65 (0,21mm).

****Malha Mesh 48 (0,30mm).

Para o preparo das amostras, como a polpa de cupuaçu, por ser muito viscosa, não seria capaz de ser bombeada para a câmara de secagem do *spray dryer*, foram testadas diferentes diluições com água, sendo 1:1, 1:1,5, 1:2 e 1:2,5 (polpa:água). A água foi adicionada à polpa, previamente descongelada sob refrigeração ($\approx 4^{\circ}\text{C}$). Por se tratar de uma matéria-prima fibrosa, a mistura polpa:água passou por diferentes tratamentos de homogeneização e filtração em malha com diferentes aberturas, com o objetivo de eliminar partículas sólidas, que poderia provocar o entupimento do bico atomizador. No ensaio 5 a mistura foi homogeneizada em moinho coloidal por 3 minutos e filtrada em malha com abertura de 0,30 mm; no ensaio 7 a mistura foi filtrada em malha com abertura de 0,30 mm e posteriormente em malha com abertura de 0,21 mm; no ensaio 6 e 8 a mistura foi apenas filtrada em malha com abertura de 0,30 mm. Nos demais ensaios a mistura foi submetida a duas etapas de homogeneização, a primeira em liquidificador industrial por 3 minutos e a segunda em moinho coloidal por 5 minutos; em seguida foi filtrada em malha com abertura de 0,21 mm. Então, o coadjuvante (maltodextrina) foi adicionado à mistura polpa/água, sendo a percentagem mássica calculada sobre o teor dos sólidos totais. Após homogeneização até a

completa solubilização da maltodextrina, a mistura foi injetada no *spray dryer*, para secagem. Nos testes preliminares foi observado como as amostras se comportaram no equipamento e a capacidade de formação de pó.

4.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DA SECAGEM

Um planejamento experimental foi utilizado para estudar os efeitos das variáveis operacionais de entrada (variáveis independentes): temperatura de entrada do ar, vazão de alimentação do produto e concentração de maltodextrina, sobre os parâmetros de qualidade do cupuaçu em pó (variáveis dependentes/respostas): umidade, atividade de água, higroscopicidade, índice de solubilidade em água, teor de vitamina C e de compostos fenólicos totais.

Na Tabela 3 estão representadas as variáveis operacionais de entrada (original e codificada) e os respectivos níveis utilizados no planejamento experimental, para o processo de secagem da polpa de cupuaçu em *spray dryer*. Os níveis das variáveis foram definidos com base nos testes preliminares.

Tabela 3. Variáveis operacionais de entrada e os respectivos níveis.

Variável de entrada		Níveis				
Original (unidade)	Codificada	-1,68	-1	0	+1	+1,68
<i>T</i> (°C)	X_1	120	132	150	168	180
<i>V</i> (mL/min)	X_2	3	4,8	7,5	10,2	12
<i>C</i> (%)	X_3	10	16,1	25	33,9	40

T (X_1): Temperatura de entrada do ar; *V* (X_2): Vazão de alimentação do produto; *C* (X_3): Concentração de maltodextrina.

Para definir as diferentes condições de secagem do produto foi realizado um delineamento composto central rotacional (DCCR), com três variáveis independentes, oito pontos fatoriais (níveis ± 1), seis pontos axiais (uma variável no nível $\pm \alpha$ e duas no nível 0) e três repetições no ponto central (nível 0), totalizando 17 ensaios (Tabela 4). Os pontos centrais servem para estimar o erro experimental e determinar a precisão da equação polinomial e os pontos axiais ($\pm\alpha$) são utilizados para a ampliação do modelo linear, tornando-o quadrático. O valor de α ($\pm 1,68$) é função do número de variáveis independentes ($k = 3$), sendo definido pela Equação 2 (BOX; HUNTER; HUNTER, 1978).

$$\alpha = (2^k)^{1/4} \quad (2)$$

Tabela 4. Matriz do DCCR para secagem da polpa de cupuaçu em *spray dryer*.

Ensaio	Variável de entrada					
	Codificada			Original		
	X ₁	X ₂	X ₃	T (°C)	V (mL/min)	C (%)
1	-1,00	-1,00	-1,00	132	4,8	16,1
2	-1,00	-1,00	+1,00	132	4,8	33,9
3	-1,00	+1,00	-1,00	132	10,2	16,1
4	-1,00	+1,00	+1,00	132	10,2	33,9
5	+1,00	-1,00	-1,00	168	4,8	16,1
6	+1,00	-1,00	+1,00	168	4,8	33,9
7	+1,00	+1,00	-1,00	168	10,2	16,1
8	+1,00	+1,00	+1,00	168	10,2	33,9
9	-1,68	0,00	0,00	120	7,5	25,0
10	+1,68	0,00	0,00	180	7,5	25,0
11	0,00	-1,68	0,00	150	3,0	25,0
12	0,00	+1,68	0,00	150	12,0	25,0
13	0,00	0,00	-1,68	150	7,5	10,0
14	0,00	0,00	+1,68	150	7,5	40,0
15	0,00	0,00	0,00	150	7,5	25,0
16	0,00	0,00	0,00	150	7,5	25,0
17	0,00	0,00	0,00	150	7,5	25,0

T (X₁): Temperatura de entrada do ar; V (X₂): Vazão de alimentação do produto; C (X₃): Concentração de maltodextrina.

4.6 PROCESSO DE SECAGEM DA POLPA DE CUPUAÇU

Após serem definidas as diferentes condições de secagem para a polpa foi realizado o preparo das amostras para cada ensaio. A polpa (≈ 300 g) foi descongelada sob refrigeração, diluída com água na proporção 1:1 (polpa:água), homogeneizada em moinho coloidal por 3 minutos e filtrada em malha com abertura de 0,30 mm. O coadjuvante (maltodextrina) foi adicionado sobre o teor dos sólidos totais da mistura polpa/água. Após homogeneização, até a completa solubilização da maltodextrina, a mistura foi injetada no *spray dryer* em diferentes condições de secagem. Os pós obtidos foram acondicionados em recipientes de vidro (para evitar o contato como o oxigênio), os quais foram protegidos com papel alumínio (para evitar a entrada da luz) e armazenados em dessecador com sílica gel a temperatura ambiente. Um fluxograma com as principais etapas e condições do processo é apresentado na Figura 13.

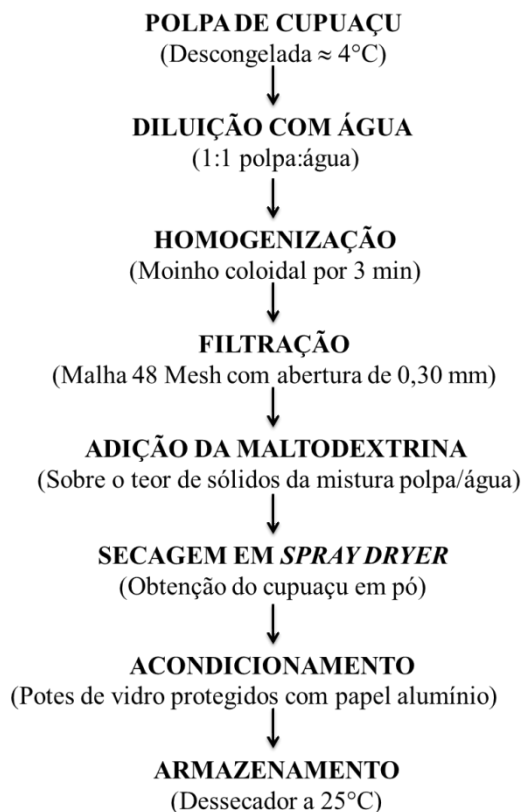


Figura 13. Fluxograma do processo de secagem da polpa de cupuaçu em *spray dryer*.

4.7 PARÂMETROS DE QUALIDADE DO CUPUAÇU EM PÓ

As qualidades das amostras de cupuaçu em pó foram avaliadas em relação aos parâmetros (variáveis dependentes/respostas): teor de umidade, atividade de água, teor de vitamina C e compostos fenólicos totais, de acordo com as metodologias descritas no item 4.3. Adicionalmente, os produtos foram submetidos as seguintes análises:

Higroscopicidade

Determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com modificações. 0,5 g da amostra foi colocado em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl, capaz de gerar uma umidade relativa de 75,4% a 25°C. Após 10 dias, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade expressa, como a massa de água adsorvida por massa seca da amostra (g/100 g b.s).

Índice de solubilidade em água (ISA)

O ISA foi terminado pela metodologia proposta por Anderson et al. (1969), com modificações. Em um tubo de centrífuga (com tampa), previamente tarado, foram colocados aproximadamente 0,5 g de amostra e 10 mL de água a 25°C. O conjunto foi agitado por 30

minutos, em agitador mecânico e, em seguida, foi centrifugado a 3000 rpm por 10 minutos. O líquido sobrenadante foi transferido para um cadinho previamente tarado e levado à secagem a 105°C por 8 horas. O ISA foi determinado pela relação entre o peso do resíduo de evaporação e o peso seco da amostra, conforme a Equação (3).

$$ISA = \frac{PRE}{PA} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde: *ISA* = índice de solubilidade em água (%); *PA* = peso da amostra (g) (base seca); *PRE* = peso do resíduo da evaporação (g).

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O estudo da microestrutura dos pós foi realizado no Laboratório de Nanomanipulação (PPGF/UFGA), por microscopia eletrônica de varredura (MEV), em um microscópio eletrônico (TESCAN VEGA3; Brno, Czech Republic), utilizando corrente do feixe de elétrons de 85-90 μA, voltagem de aceleração de 5 Kv, distância de trabalho de aproximadamente 15 mm (WD) e ampliação de 300 e 2.000 vezes. As amostras fixadas em porta espécimes metálicos (*stubs*), com uma fita adesiva de dupla face condutora convencional, foram metalizadas com uma liga de ouro/paládio, em uma metalizadora (QUORUM TECHNOLOGIES SC7620, Kent, UK), com uma corrente de 5 mA, por 120 segundos.

4.8 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do *Software* Statistica 7.0. O planejamento permitiu a obtenção de um modelo quadrático (Equação 4), onde o valor das variáveis dependentes (umidade, a_w , higroscopicidade, ISA, teor de vitamina C e de compostos fenólicos totais) é função das variáveis independentes (T , V e C).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_{11} T^2 + \beta_2 V + \beta_{22} V^2 + \beta_3 C + \beta_{33} C^2 + \beta_{12} TV + \beta_{13} TC + \beta_{23} VC \quad (4)$$

Onde, Y é a variável dependente/resposta; T , V e C representam as variáveis independentes: temperatura de entrada do ar, vazão de alimentação do produto e concentração de maltodextrina, respectivamente; e os coeficientes de regressão são β_0 (para a interceptação); β_1 , β_2 e β_3 (para os termos lineares); β_{11} , β_{22} e β_{33} (para os termos quadráticos); e β_{12} , β_{13} e β_{23} (para os termos de interação).

Como nem sempre os coeficientes da Equação 4 são estatisticamente significativos, foi realizada uma análise estatística para verificar a influência dos fatores e de suas interações sobre as respostas, dentro de um nível de confiança de 95%. Com os fatores significativos foi realizada a análise de variância (ANOVA), para verificar a significância da regressão e da falta de ajuste, pelo teste F, indicando se os modelos eram significativos e preditivos. Também foi verificado se os modelos apresentavam um grau de ajuste adequado aos dados experimentais, pelo coeficiente de determinação (R^2), análise de resíduo e teste de normalidade.

A otimização do processo foi determinada utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) e da função desejabilidade, proposta por Derringer e Suich (1980) e descrita em Barros Neto; Scarminio; Bruns (2010). Os valores de desejabilidade são compreendidos entre 0 e 1, onde 0 representa um valor completamente indesejado e 1 o valor mais desejável. Para a obtenção do gráfico da função desejabilidade foram utilizados taxas de variação da desejabilidade (s e t) igual a 2 e fator de grade igual a 40.

4.9 VALIDAÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE SECAGEM

Foram realizados três experimentos nas condições ótimas do processo de secagem do cupuaçu em *spray dryer* a fim de validar a metodologia utilizada, sendo avaliados os mesmos parâmetros referidos no item 4.7. Foi determinada também a composição do cupuaçu em pó obtido na condição ótima, de acordo com as metodologias descritas no item 4.3.

4.10 OBTENÇÃO DAS ISOTERMAS DE SORÇÃO DE UMIDADE

Isotermas de adsorção e dessorção de umidade, do produto obtido na condição otimizada, foram obtidas em equipamento gerador de isotermas (VSA), na temperatura de 25°C. Aproximadamente 1 g da amostra pesado em balança analítica foi inicialmente colocado em dessecador com sílica gel, sob vácuo e à temperatura ambiente, por 24 horas, para desidratação complementar, de forma a assegurar $a_w < 0,1$ na amostra. Após esta etapa, uma quantidade representativa da amostra (600 a 800 mg) foi pesada em cápsula de aço inoxidável, na balança micro analítica do VSA. O equipamento foi programado para obter dados de sorção em um ciclo adsorção-dessorção, para uma faixa de 0,1 a 0,9 de a_w , pelo método dinâmico de sorção de vapor DVS. Leituras de massa e a_w foram feitas sucessivamente pelo equipamento, até que se atingisse a condição de equilíbrio pré-estabelecida. A condição de equilíbrio foi programada para ocorrer, quando em duas medidas

consecutivas a relação entre a variação de massa e a variação de tempo ($\Delta m/\Delta t$), entre duas leituras, atingisse um valor inferior a 0,05. O equipamento foi programado para obter dados de equilíbrio em intervalos de 0,05 de a_w . Após a análise, a massa seca da amostra contida da cápsula foi determinada em estufa a vácuo a 70°C (AOAC, 1997).

Para o cálculo da monocamada (m_o) foi utilizada a equação de BET linearizada (Equação 5) (BRUNAUER; EMMET; TELLER, 1938).

$$\frac{a_w}{(1-a_w)m} = \frac{1}{m_o C} + \frac{(C-1)}{m_o C} \cdot a_w \quad (5)$$

Onde: m = umidade (g/100 g b.s.); m_o = umidade da monocamada (g/100 g b.s.); a_w = atividade de água; c = constante relacionada ao calor de sorção.

Para a predição das isotermas de sorção de umidade foram testados os modelos matemáticos Halsey, Handerson, Oswin, GAB e Peleg (Tabela 5), os quais foram ajustados aos dados de sorção do cupuaçu em pó.

Tabela 5. Modelos matemáticos utilizados para predizer as isotermas de sorção de umidade do cupuaçu em pó.

Nome do modelo	Equação
Halsey (HALSEY, 1948)	$m = \left[\frac{-a}{\ln a_w} \right]^{\frac{1}{b}}$
Henderson (HENDERSON, 1952)	$m = \left[\frac{-\ln(1-a_w)}{1-a_w} \right]^{\frac{1}{b}}$
Oswin (OSWIN, 1946)	$m = a \cdot \left[\frac{a_w}{1-a_w} \right]^b$
GAB (MAROULIS et al., 1988)	$m = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot a_w}{[(1-c \cdot a_w) \cdot ((1-c \cdot a_w) + b \cdot c \cdot a_w)]}$
Peleg (PELEG, 1993)	$m = k_1 \cdot a_w^{n_1} + k_2 \cdot a_w^{n_2}$

m = umidade; m_o = umidade da monocamada; a_w = atividade de água; a , b , c , k_1 , k_2 , n_1 e n_2 = constantes dos modelos.

Os ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais de sorção de umidade foram realizados por análise de regressão não linear com o auxílio do *software* Statistica 7.0.

Para seleccionar o melhor modelo matemático foi considerado o coeficiente de determinação (R^2), os valores do erro médio relativo (Equação 6) e o erro médio estimado (Equação 7). Considerou-se o valor do erro médio relativo inferior a 10% como um dos critérios para seleção dos modelos, de acordo com Mohapatra e Rao (2005).

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (6)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (7)$$

Onde: N = número de observações; Y = valor experimental; \hat{Y} = valor estimado pelo modelo; GLR = graus de liberdade do modelo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA DE CUPUAÇU

Na Tabela 6 são apresentados os valores da composição centesimal e das propriedades físico-químicas da polpa de cupuaçu.

Tabela 6. Composição centesimal e propriedades físico-químicas da polpa de cupuaçu.

Propriedade	Valores (polpa)
Umidade (g/100 g)	83,07 ± 0,14
Cinzas (g/100 g)	0,84 ± 0,01
Lipídeos (g/100 g)	0,36 ± 0,01
Proteínas (g/100 g)	1,55 ± 0,06
Açúcares totais (g/100 g)	6,22 ± 0,15
Açúcares redutores (g/100 g)	2,62 ± 0,20
Vitamina C (mg /100 g)	22,73 ± 0,49
Compostos fenólicos totais (mg GAE/100 g)	47,01 ± 0,89
Atividade de água a 25°C	0,98 ± <0,01
pH	3,46 ± 0,02
Acidez (g ácido cítrico/100 g)	1,69 ± 0,13
Sólidos solúveis totais (°Brix)	12,80 ± 0,17
<i>Cor</i>	
<i>L*</i>	71,94 ± 4,95
<i>a*</i>	-1,58 ± 0,62
<i>b*</i>	43,74 ± 1,40
<i>C*</i>	43,77 ± 1,37
<i>h°</i>	92,08 ± 0,90

A umidade da polpa de cupuaçu (83,07 g/100 g) está dentro da faixa observada por Pugliese et al. (2013) (82 a 84 g/100 g), mas inferior aos valores apresentados por Canuto et al. (2010) (89,20 g/100 g) e Oliveira et al. (2010) (88,67 g/100 g), para polpa de cupuaçu. De acordo com os primeiros autores, um eventual excedente de umidade na polpa pode ser atribuído à intensidade de chuvas durante a safra do fruto, à condensação da umidade atmosférica durante o processamento ou, na pior das hipóteses, à adição de água durante o processamento da polpa. O teor de sólidos totais (16,93 g/100 g) na polpa utilizada está de acordo com o padrão estabelecido pela legislação brasileira, que estipula o valor mínimo de 12 g/100 g de sólidos totais para a polpa de cupuaçu (BRASIL, 2000).

O teor de cinzas da polpa utilizada (0,84 g/100 g) se encontra dentro da faixa mencionada por Pugliese et al. (2013) (0,81 a 1,03 g/100 g), porém fora da faixa reportada por Matos et al. (2008) (1,19 a 1,67 g/100 g). O teor de cinzas permite avaliar a quantidade de

minerais presentes no alimento. Segundo Matos et al. (2008) a polpa de cupuaçu apresenta minerais como: potássio, fósforo, cálcio, magnésio, ferro, cobre, zinco, manganês e sódio. Segundo Ordóñez (2005), a presença de minerais nos frutos é muito variável, em função da composição do solo e das variações climáticas das diferentes localidades geográficas ou ainda dos diferentes tipos de adubação utilizados.

A polpa de cupuaçu apresentou baixo teor lipídico (0,36 g/100 g), o qual se apresenta de acordo com o observado por Canuto et al. (2010) (0,30 g/100 g) e entre os valores reportados por Matos et al. (2008) (0,18 g/100 g) e Oliveira et al. (2010) (0,52 g/100 g). O teor de proteínas (1,55 g/100 g), que também não é tão expressivo na polpa de cupuaçu, foi igual ao valor mencionado por Hernandez e Garcia (2000) (1,52 g/100 g) e entre os valores citados por Matos et al. (2008) (1,13 g/100 g) e Oliveira et al. (2010) (1,82 g/100 g). Em geral, as frutas possuem pequenas quantidades de lipídios e proteínas, devido a processos bioquímicos de catabolismo que ocorrem durante o desenvolvimento do fruto. Estes compostos são degradados para a produção de moléculas usadas na síntese de novos compostos durante a maturação do fruto, como ácidos graxos e aminoácidos, para a formação de compostos voláteis (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Em relação ao teor de açúcares totais (6,22 g/100 g), a polpa utilizada atendeu a legislação brasileira, que estipula o valor mínimo de 6,00 g/100 g de açúcares totais para a polpa de cupuaçu (BRASIL, 2000). O teor de açúcares totais observado foi próximo ao valor reportado por Oliveira et al. (2010) (6,02 g/100 g); porém abaixo da faixa obtida por Martim, Neto e Oliveira (2013) (7,45 a 13,73 g/100 g). O teor de açúcares redutores (2,62 g/100 g), por sua vez, está próximo ao valor reportado por Oliveira et al. (2010) (2,45 g/100 g). A composição dos açúcares pode variar em função das características genéticas da variedade e do estágio de maturação do fruto. Durante a maturação ocorre à degradação de polissacarídeos presente na parede celular do fruto, como a hidrólise do amido, que transforma os açúcares complexos em açúcares simples, utilizados para a produção de energia no processo respiratório (CHITARRA, CHITARRA, 2005).

O teor de vitamina C (22,73 mg/100 g) atendeu a legislação brasileira, que exige um mínimo de 18 mg/100 g para a polpa de cupuaçu (BRASIL, 2000). O valor obtido está dentro da faixa reportada por Martim, Neto e Oliveira (2013) (18,80 a 28,07 mg/100 g), que estudou diferentes genótipos de cupuaçu e acima do valor encontrado por Canuto et al. (2010) (3,3 mg/100 g) para a polpa de cupuaçu. O teor de vitamina C encontrado sugere que a polpa de cupuaçu é uma boa fonte desta vitamina, visto que 100 g da polpa é capaz de suprir 50% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) de vitamina C, para adultos, que é de 45 mg/dia

(BRASIL, 2005). Rufino et al. (2009) propuseram uma classificação para as frutas, em função do teor de ácido ascórbico (vitamina C), em 3 categorias; sendo: baixo teor (< 30 mg/100 g), médio teor (30-50 mg/100 g) e alto teor (> 50 mg/100 g). De acordo com esta classificação, o cupuaçu é considerado um fruto com baixo teor de vitamina C.

O teor de compostos fenólicos totais observado na polpa de cupuaçu (47,01 mg GAE/100 g) apresentou-se dentro da faixa encontrada por Freire Jr. et al. (2010) (25,75 a 50,88 mg GAE/100 g), em polpas de cupuaçu armazenadas sob refrigeração, por 90 dias. Por outro lado, o valor observado foi superior ao encontrado por Kuskoski et al. (2006) (20,5 mg GAE/100 g) e inferior ao valor reportado por Vissotto et al. (2013) (80 mg GAE/100g), para polpas de frutas congeladas. Vasco, Ruales e Kamal-Eldin (2008), em um estudo com frutos do Equador, classificaram os mesmos, de acordo com a concentração de compostos fenólicos totais, em 3 níveis, sendo: baixo (inferior a 100 mg GAE/g), médio (entre 100 a 500 mg GAE/g) e alto (acima de 500 mg GAE/g). Com base nesta classificação, o cupuaçu é considerado um fruto com baixo teor compostos fenólicos totais.

A quantidade de vitamina C e compostos fenólicos totais são afetados não somente pelas características genéticas dos frutos, mas também, pelo estágio de maturação, condições edafoclimáticas de cultivo (composição do solo, temperatura, precipitação pluvial e intensidade da luz) e pelo processamento ao qual a fruta é submetida pós-colheita (ex. congelamento e condições de armazenamento) (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A polpa de cupuaçu apresentou uma elevada atividade de água ($a_w = 0,98$), o que está de acordo com os valores observados por Costa et al. (2003) e Oliveira et al. (2010), para polpa de cupuaçu. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o maior componente das frutas é a água, que corresponde de 80% a 95% da composição total. Isto faz com que as frutas sejam susceptíveis a sofrer inúmeras alterações, uma vez que, a água atua como solvente e serve de substrato para reações químicas e para o desenvolvimento microbiano no alimento (FELLOWS, 2006).

O pH da polpa utilizada (3,46) atendeu as exigências da legislação brasileira, que estipula um valor mínimo de pH de 2,60 (BRASIL, 2000), para polpa de cupuaçu. O pH da polpa foi da mesma ordem de grandeza reportada por Rogez et al. (2004) (3,4) e por Canuto et al. (2010) (3,5), e apresentou-se dentro da faixa mencionada por Martim, Neto e Oliveira (2013) (3,2 a 4,00), para a polpa da fruta. Com base no valor de pH, a polpa de cupuaçu é classificada como um alimento muito ácido (pH < 4,0) (JAY, 2005), fator estes que contribui para a baixa contaminação microbiana do produto (FREIRE et al., 2009).

A acidez da polpa de cupuaçu (1,69 g de ácido cítrico/100 g) também atendeu a exigência da legislação brasileira, a qual estabelece um mínimo de 1,5 g de ácido cítrico/100 g de polpa (BRASIL, 2000). A acidez da polpa se encontra dentro da faixa reportada por Martim, Neto e Oliveira (2013) (0,59 a 1,94g de ácido cítrico/100 g), porém foi inferior ao valor citado por Canuto et al. (2010) (3,5 de ácido cítrico/100 g) para a polpa de cupuaçu congelada.

Alterações na acidez e no pH ocorrem devido as mudanças nos teores de ácidos orgânicos no fruto. Essas mudanças são atribuídas às reações enzimáticas que ocorrem durante o processo de maturação, uma vez que com o avanço do amadurecimento ocorre a diminuição do teor de ácido cítrico, devido a sua oxidação no ciclo tricarbóxicos, em decorrência da respiração do fruto (BRODY, 1996; CHITARRA; CHITARRA, 2005). As modificações observadas nestes parâmetros podem também ser atribuídas ao método de congelamento, condições de armazenamento e a presença de micro-organismos (SAHARI; MOHSEN; ZOHREH, 2004).

O teor de sólidos solúveis totais (SST) de 12,80 °Brix também atendeu as exigências da legislação brasileira, que estabelece um valor mínimo de 9 °Brix, para a polpa de cupuaçu (BRASIL, 2000). O valor de SST se apresentou dentro da faixa observada por Martim, Neto e Oliveira (2013) (10,40 a 16,62 °Brix) e foi similar ao valor encontrado por Costa et al. (2003) (12,5 °Brix) e acima do valor mencionado por Canuto et al. (2010) (9,0 g/100 g) para a polpa de cupuaçu congelada.

De acordo com os parâmetros de cor, o valor observado para a coordenada $L^* > 70$ indica que a polpa de cupuaçu apresenta uma considerável luminosidade. O valor negativo e próximo a zero da coordenada a^* (-1,58) sugere a presença de uma suave cor esverdeada, enquanto o elevado valor positivo da coordenada b^* (43,74) indica que o amarelo é a cor predominante na polpa. O valor de croma ($C^* = 43,77$) indica a maior intensidade da cor da polpa e o ângulo de tonalidade ($h^\circ \approx 90^\circ$) confirma a cor amarelada da polpa, a qual é atribuída à presença de pigmentos como os carotenoides, que de acordo Santos et al. (2010) e Sousa et al. (2011) estão presentes na polpa de cupuaçu. Alterações na coloração da polpa podem estar relacionadas às diferenças existentes entre variedades genéticas, estágio de maturação e condições edafoclimáticas de cultivo.

5.2 SECAGEM DA POLPA

5.2.1 Testes preliminares

Nesta etapa foram testadas diferentes diluições da polpa com água, nas proporções de 1:1, 1:1,5, 1:2 e 1:2,5 (polpa:água). Quanto maior a diluição, menor era a quantidade de sólidos retidos na malha de filtração e melhor era o bombeamento do produto para o secador, devido a menor viscosidade. Por outro lado, com o aumento da diluição (menor teor de sólidos) foi observada uma redução cada vez mais significativa na quantidade de pó produzida (rendimento), ao mesmo tempo em que os pós produzidos se tornavam cada vez mais finos. A amostra com diluição 1:1, submetida a moinho coloidal por 3 min, para a redução das fibras, e posteriormente filtrada em malha com abertura de 0,30 mm, não provocou o entupimento do bico atomizador, bem como promoveu a maior recuperação de sólidos (rendimento). Desta forma, esta foi a condição de preparação da polpa (amostra) utilizada nos ensaios de secagem do planejamento experimental.

Em toda a faixa de temperatura de entrada do ar testada (120 a 170°C) foi observada a formação de pós, sem a degradação perceptível do material. Logo, decidiu-se aumentar o limite superior de temperatura para 180°C; ficando os limites de temperatura do ar de entrada estabelecidos em 120 e 180°C. Nos ensaios realizados com vazão de alimentação de 15 mL/min foi observada uma maior aderência do pó no copo coletor, impossibilitando a coleta do material seco. Desta forma, foram definidas menores vazões de alimentação (3 a 12 mL/min) como condições para o planejamento experimental.

Todas as concentrações de maltodextrina avaliadas nos teste preliminares promoveram a formação de pós, porém para a menor concentração do coadjuvante (10%) foram observados menores rendimentos e uma maior impregnação do produto na câmara do secador. Ainda assim, os limites mínimo e máximo de maltodextrina foram fixados em 10% e 40%; percentuais estes calculados como base a matéria seca da suspensão. Não foram utilizadas maiores concentrações do agente carreador, pois o objetivo era descaracterizar ao mínimo a polpa de cupuaçu.

5.2.2 Execução experimental

Na Tabela 7 é apresentada a matriz de planejamento utilizado bem como os resultados para as resposta analisadas: umidade, atividade de água, higroscopicidade, índice de solubilidade em água, teor de vitamina C e compostos fenólicos totais.

Tabela 7. Matriz de planejamento com os resultados das respostas obtidos nas diferentes condições de secagem da polpa de cupuaçu em *spray dryer*.

Ensaio	Variáveis de entrada			Variáveis de respostas					
	T (°C)	V (mL/min)	C (%)	U	a_w	H	ISA	Vit. C	CFT
1	132	4,8	16,1	2,42	0,166	42,24	66,53	98,72	104,09
2	132	4,8	33,9	2,86	0,176	39,76	68,60	115,44	126,11
3	132	10,2	16,1	3,89	0,314	42,40	67,42	99,14	105,13
4	132	10,2	33,9	3,84	0,331	40,83	69,73	115,60	127,08
5	168	4,8	16,1	2,26	0,121	44,45	72,39	65,74	75,90
6	168	4,8	33,9	2,23	0,131	41,56	77,63	82,18	99,75
7	168	10,2	16,1	3,49	0,244	45,27	73,33	65,55	76,86
8	168	10,2	33,9	2,74	0,210	41,70	77,88	82,59	99,16
9	120	7,5	25,0	3,73	0,259	39,89	62,56	116,04	129,30
10	180	7,5	25,0	2,41	0,221	43,76	81,60	65,87	54,86
11	150	3,0	25,0	2,50	0,137	42,17	71,82	98,79	98,18
12	150	12,0	25,0	3,00	0,313	42,80	72,30	98,63	98,98
13	150	7,5	10,0	2,96	0,212	45,17	65,16	65,87	93,93
14	150	7,5	40,0	2,61	0,146	39,13	83,52	115,99	136,91
15	150	7,5	25,0	2,51	0,184	42,16	72,98	82,85	99,82
16	150	7,5	25,0	2,95	0,207	40,95	71,92	99,55	98,14
17	150	7,5	25,0	2,95	0,195	40,96	71,20	98,94	98,72

T: Temperatura de entrada do ar; V: Vazão de alimentação do produto; C: Concentração de maltodextrina; U: umidade (% b.s.); a_w : atividade de água (adimensional); H: Higroscopicidade (g/100 g); ISA: índice de solubilidade em água (%); Vit. C: teor de vitamina C (mg/100 g); CFT: compostos fenólicos totais (mg GAE/100 g).

Umidade

Observa-se na Tabela 7 que o valor da umidade dos pós variou de 2,23 a 3,89%. Estes níveis de umidade confirmam a eficiência do processo de secagem da polpa de cupuaçu, por atomização, no domínio experimental. Outros autores também reportaram níveis de umidade inferiores a 4%, para produtos obtidos em *spray dryer*. Tonon, Brabet e Hubinger (2009b) observaram valores na faixa de 0,66 a 2,56%, para pós obtidos do suco de açaí. Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012) relataram valores de 0,55 a 3,05% para a polpa de amora-preta em pó. Rocha et al. (2014), por sua vez, observaram valores na faixa de 1,36 a 3,35% para o suco de caju em pó. Enquanto, a faixa de umidade obtida por Patil, Chauhan e Singh (2014) para polpa de goiaba em pó (2,15 a 3,87%), foi a que mais concordou com a observada no presente estudo.

Na Tabela 8 estão apresentados os resultados da análise estatística aplicada para a resposta umidade do cupuaçu em pó. A temperatura de entrada do ar (T) (linear) e a vazão de alimentação (V) (linear) foram os fatores que influenciaram na umidade final do produto, sendo estatisticamente significantes a um limite de confiança de 95%.

Tabela 8. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para os fatores do modelo ajustado a resposta umidade.

Fator	Efeito estimado	Erro puro	p^*
Média	2,7963	0,1463	0,0027
$T(L)$	-0,6625	0,1380	0,0408
$T(Q)$	0,2347	0,1533	0,2654
$V(L)$	0,7411	0,1380	0,0330
$V(Q)$	0,0043	0,1533	0,9801
$C(L)$	-0,1432	0,1374	0,4065
$C(Q)$	0,0281	0,1505	0,8693
$T \times V$	-0,1775	0,1796	0,4272
$T \times C$	-0,2925	0,1796	0,2450
$V \times C$	-0,3025	0,1796	0,2342

*Variáveis significativas ($p \leq 0,05$).

A temperatura de entrada do ar (T) apresentou um efeito negativo e desejável, pois maiores valores de T levaram à produção de pós com menores umidades. Segundo Quek, Chok e Swedlund (2007), condições de secagem com temperaturas de entrada mais altas promovem o aumento das taxas de evaporação de água do alimento, devido a eficiência do processo de transferência de calor e massa, o que resulta em pós com menores umidades. Por sua vez, a vazão de alimentação (V) apresentou um efeito positivo e indesejável, pois o aumento deste fator promoveu o aumento da umidade do produto em pó. O aumento dos valores de V proporciona a maior velocidade de escoamento do fluido no equipamento, o que reduz o tempo de contato entre o produto e o ar de secagem, tornando o processo de transferência de calor e massa menos eficiente, o que resulta em menor evaporação de água do produto e consequentemente, pós com maiores umidades (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009b).

Após eliminar os fatores não significativos ($p > 0,05$), verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste através do teste F. A Tabela 9 apresenta o resultado da análise de variância (ANOVA), com os valores calculados e tabelados de F, e do coeficiente de determinação (R^2), para a variável de resposta umidade do cupuaçu em pó.

Tabela 9. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado à resposta umidade, considerando os efeitos significativos.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{Calculado}	F _{Tabelado*}	R ²
Regressão	3,3487	2	1,6744	17,72	3,74	0,717
Resíduo	1,3228	14	0,0945			
Falta de ajuste	1,1938	12	0,0995	1,54	19,41	
Erro Puro	0,1291	2	0,0645			
Total	4,6716	16				

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

A análise de variância demonstrou que o modelo ajustado para a resposta umidade (Equação 8) foi significativo, com 95% de confiança, e também preditivo, pois apresentou regressão significativa (F calculado superior ao F tabelado) e falta de ajuste não significativa (F calculado inferior ao F tabelado). O coeficiente de determinação (R²) foi de 0,72, indicando que o modelo explicou 72% da variação total dos dados observados.

$$U(\%) = 4,634 - 0,018T + 0,137V \quad (8)$$

A Figura 14 apresenta a distribuição de resíduos para a resposta umidade. Observa-se que o modelo proposto gera resíduos com valores baixos (na faixa -0,6 a 0,6) e sua distribuição é aleatória em torno do zero, mostrando que os mesmos são independentes dos valores preditos e observados, e apresentam variância constante (homocedasticidade) para o modelo ajustado. Assim, o modelo é considerado adequado e satisfatório.

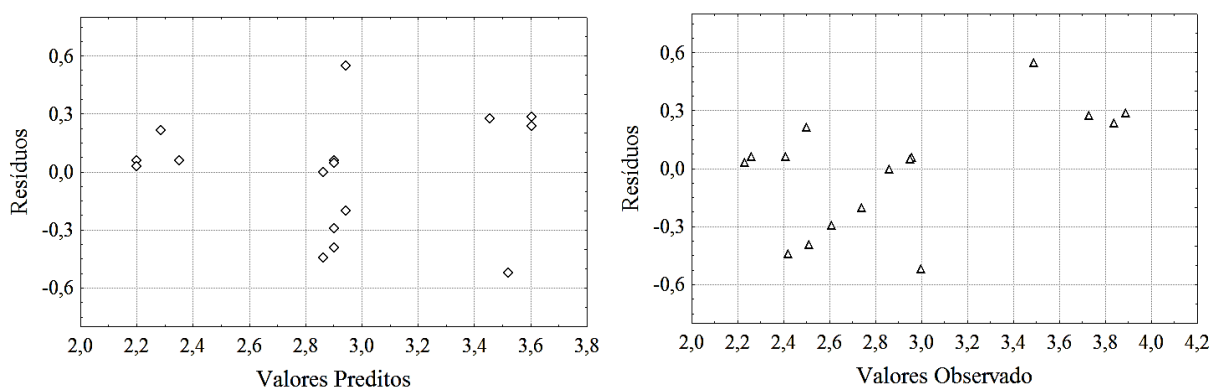


Figura 14. Distribuição de resíduos para a resposta umidade.

A qualidade do ajuste do modelo pode ser verificada pelo gráfico valores preditos x valores observados (Figura 15a). É possível observar que os pontos se encontram ao longo da

reta; a maioria está próximo e alguns mais distantes, o que justifica o valor não expressivo do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,72$). No gráfico da probabilidade normal dos resíduos (Figura 15b) é possível observar que os pontos se encontram localizados próximos e ao longo da reta, o que indica que os componentes de erro do modelo proposto seguem uma distribuição de probabilidade normal para a resposta umidade. Desta forma, o modelo é considerado confiável e preditivo.

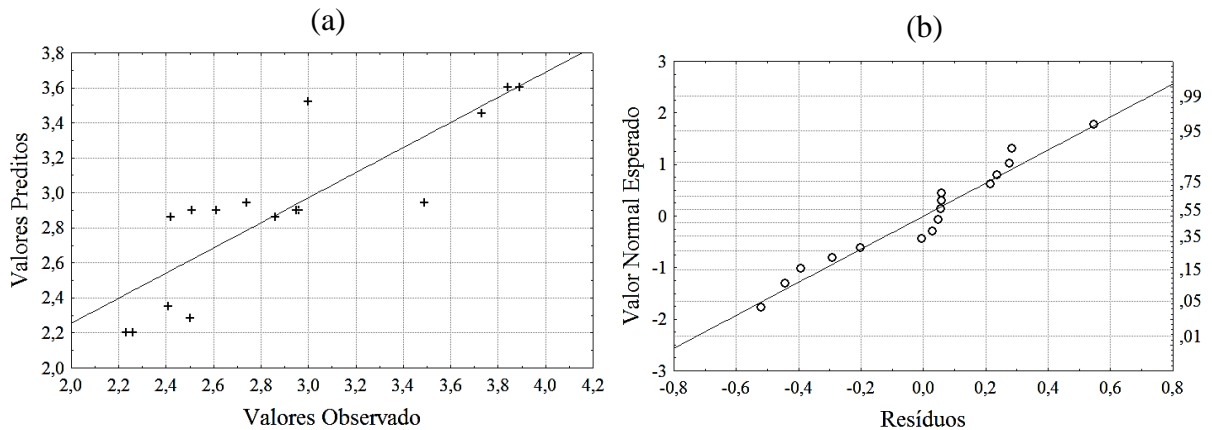


Figura 15. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos \times valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta umidade.

A Figura 16 apresenta a superfície de resposta e a curva de contorno gerada pelo modelo de regressão proposto para a resposta umidade.

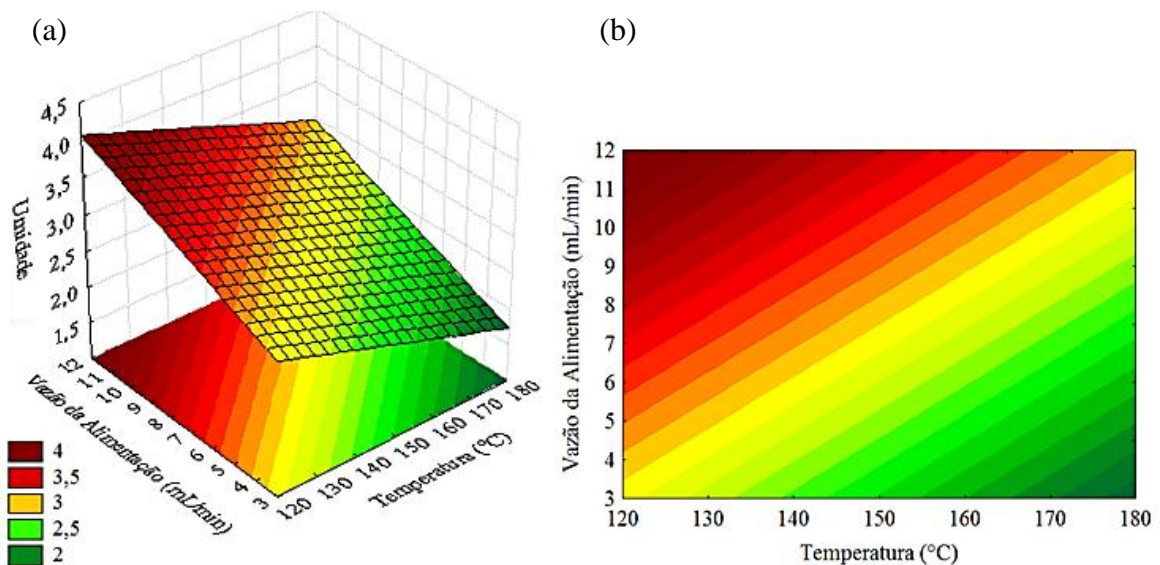


Figura 16. Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para a variável dependente umidade, em função das variáveis independentes: temperatura \times vazão de alimentação (concentração de maltodextrina = 25%).

As superfícies confirmam que os menores valores de umidade para o produto ocorrem nas menores vazões de alimentação e maiores temperaturas de entrada do ar de secagem. Chegini e Ghobadian (2005), Tonon, Brabet e Hubinger (2009b), Muzaffar e kumar (2015) e Silva et al. (2014), também observaram a redução da umidade com o aumento da temperatura do ar de secagem e a diminuição da vazão de alimentação, ao estudarem a secagem dos pós de laranja, açai, tamarindo e umbu, respectivamente, em *spray dryer*.

Atividade de água (a_w)

A a_w dos pós variou na faixa de 0,12 a 0,33 (Tabela 7), indicado uma disponibilidade muito pequena de água para a ocorrência de reações químicas e para o crescimento microbiano, no produto. Segundo Labuza (1980), a estabilidade microbiológica de alimentos ocorre em $a_w < 0,6$. Logo, pode-se afirmar que as diferentes condições experimentais estudadas conseguiram garantir a estabilidade do produto. Baixos valores de a_w também foram observados por Quek, Chok e Swedlund (2007), para melancia em pó (0,20 – 0,29); Silva et al. (2014), para polpa de umbu em pó (0,09 – 0,25); Santhalakshmy et al. (2015), para o suco de jambolão em pó (0,18 – 0,25); e Santana et al. (2016), para a polpa de pequi em pó (0,09 – 0,21); todos obtidas em *spray dryer*.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados da análise estatística aplicada à resposta a_w do cupuaçu em pó. O fator de maior influência ($p \leq 0,05$) foi a vazão de alimentação (V) (linear), seguido da temperatura de entrada do ar (T) (linear e quadrático). O efeito quadrático de T indica a existência de uma região em torno do ponto central onde a a_w é mínima (ponto de mínimo), dentro dos níveis de T estudados (120°C – 180°C).

Tabela 10. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para os fatores do modelo ajustado a resposta atividade de água.

Fator	Efeito estimado	Erro puro	p^*
Média	0,1957	0,0066	0,0011
$T(L)$	-0,0508	0,0062	0,0148
$T(Q)$	0,0300	0,0069	0,0496
$V(L)$	0,1178	0,0062	0,0028
$V(Q)$	0,0192	0,0069	0,1097
$C(L)$	-0,0159	0,0062	0,1256
$C(Q)$	-0,0136	0,0068	0,1845
$T x V$	-0,0253	0,0081	0,0897
$T x C$	-0,0127	0,0081	0,2588
$V x C$	-0,0093	0,0081	0,3713

*Variáveis significativas ($p \leq 0,05$).

A temperatura de entrada do ar (T) (linear) apresentou um efeito negativo e desejável, o que indica que o aumento deste fator promoveu a redução da a_w do produto. Porém, a vazão de alimentação (V) (linear) apresentou um efeito positivo e indesejável, pois o aumento deste fator provocou o aumento da a_w do pó. Isto indica que os altos valores de T facilitaram a evaporação de água do produto devido a eficiência do processo de transferência de calor e massa durante a secagem, enquanto o aumento dos valores de V promoveu a maior velocidade de escoamento do fluído no equipamento, dificultando o contato entre o produto e o ar quente de secagem e conseqüentemente, a evaporação de água do produto.

Após eliminar os fatores não significativos ($p > 0,05$), verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste através do teste F. O resultado da análise de variância (ANOVA), com os valores calculados e tabelados de F e do coeficiente de determinação (R^2), para a variável de resposta a_w do cupuaçu em pó são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado à resposta a_w , considerando os efeitos significativos.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{Calculado}	F _{Tabelado*}	R ²
Regressão	0,0584	3	0,0195	28,27	3,41	0,867
Resíduo	0,0090	13	0,0007			
Falta de ajuste	0,0087	11	0,0008	5,96	19,40	
Erro Puro	0,0003	2	0,0001			
Total	0,0674	16				

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

Observa-se na análise de variância que o modelo ajustado para a resposta a_w (Equação 9) foi significativo e preditivo ($p \leq 0,05$), pois apresentou regressão significativa (F calculado superior ao F tabelado) e falta de ajuste não significativa (F calculado inferior ao F tabelado). O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,87, indicando que o modelo explicou 87% da variação total dos dados observados.

$$a_w = 1,248 - 0,015T + 4,5 \times 10^{-5}T^2 + 0,021V \quad (9)$$

A Figura 17 apresenta a distribuição de resíduos para a resposta a_w , onde é possível observar que os resíduos foram baixos (na faixa $-0,06$ a $0,04$) e a distribuição é aleatória em torno do zero, sustentando que os erros foram independentes e de variância constante para o modelo ajustado. Assim, o modelo é considerado adequado e satisfatório.

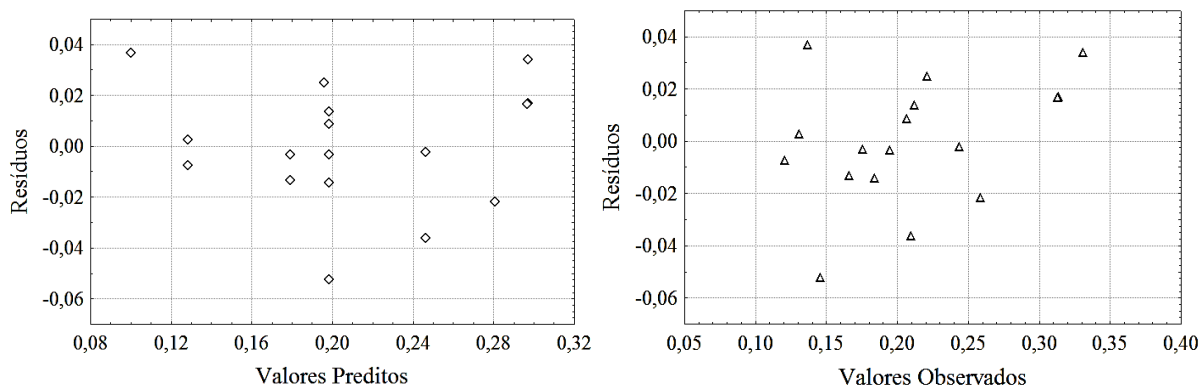


Figura 17. Distribuição de resíduos para a resposta a_w .

O gráfico valores preditos x valores observados (Figura 18a) confirma que o modelo apresentou boa qualidade de ajuste, pois os pontos se encontram próximos e ao longo da reta, sem apresentarem desvios muito expressivos. No gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 18b) é possível observar que todos os pontos estão próximos da reta, evidenciando a normalidade dos resíduos. Desta forma, o modelo é considerado confiável e preditivo.

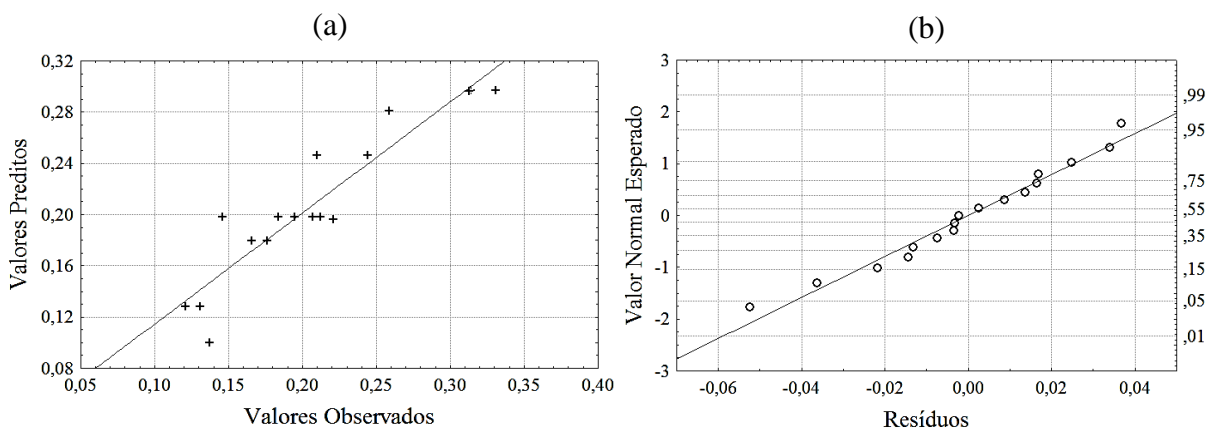


Figura 18. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos \times valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta a_w .

A Figura 19 apresenta a superfície de resposta e a curva de contorno gerada pelo modelo de regressão proposto para a resposta a_w , onde pode ser observado que os menores valores de a_w do produto ocorrem nas menores V e maiores T . Silva et al. (2014), constataram a redução da a_w do umbu em pó obtido em *spray dryer*, com o aumento da temperatura e a diminuição da vazão de alimentação.

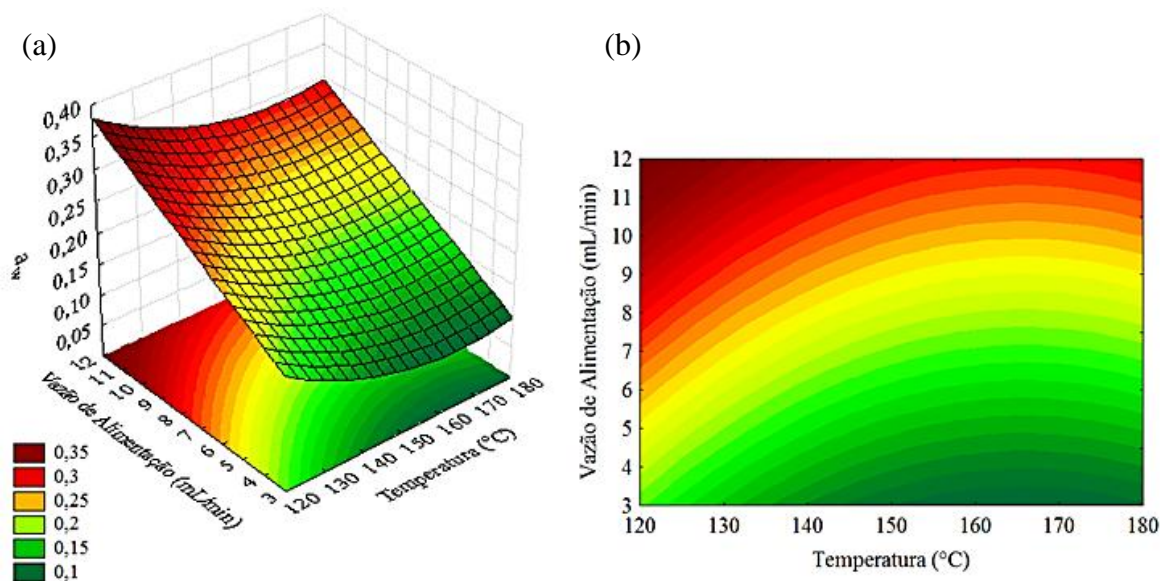


Figura 19. Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para a variável dependente a_w em função das variáveis independentes: temperatura x vazão de alimentação (concentração de maltodextrina = 25%).

Higroscopicidade

A higroscopicidade do cupuaçu em pó variou de 39,13 a 45,27 g/100 g (Tabela 7). Estes valores estão dentro da faixa reportada por Rodríguez-Hernandez et al. (2005) (36,32 a 48,93 g/100 g), ao estudarem a secagem em *spray dryer* de figo-da-índia, utilizando concentrações de maltodextrina de 18 a 23% e temperatura do ar de secagem de 205 a 225 °C. Moreira et al. (2009) observaram valores mais elevados de higroscopicidade (34,7 a 52,3 g/100 g) para o extrato de bagaço de acerola seco em *spray dryer*, utilizando maltodextrina e goma de cajueiro como agentes carreadores e temperatura do ar de secagem de 170 a 200 °C. Santana et al. (2016), reportam pós menos higroscópicos (9,1 a 12,1 g/100 g), quando estudaram a secagem por pulverização da polpa de pequi, utilizando concentrações de maltodextrina de 15 a 30% e temperatura do ar de secagem de 140 a 200 °C. Os açúcares são os principais responsáveis pela alta higroscopicidade das frutas desidratadas, pois apresentam terminais polares (grupos hidroxílicos) que possuem fortes interações com as moléculas de água, principalmente por meio da formação de pontes de hidrogênio (AUDU; LONCIN; WEISSER, 1978; JAYA; DAS, 2004).

Na Tabela 12 são apresentados os resultados da análise estatística aplicada para a resposta higroscopicidade do cupuaçu em pó. A temperatura de entrada do ar (T) (linear) e a concentração de maltodextrina (C) (linear) foram os fatores que apresentaram efeitos significativos, em um nível de confiança de 95%.

Tabela 12. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para os fatores do modelo codificado para a resposta higroscopicidade.

Fator	Efeito estimado	Erro puro	p^*
Média	41,35173	0,400584	0,000094
$T(L)$	2,09508	0,377928	0,031033
$T(Q)$	0,36743	0,419870	0,473807
$V(L)$	0,47803	0,377928	0,333343
$V(Q)$	0,84263	0,419870	0,182571
$C(L)$	-3,02458	0,376190	0,015120
$C(Q)$	0,58756	0,412064	0,289992
$T \times V$	-0,06750	0,491952	0,903432
$T \times C$	-0,60250	0,491952	0,345356
$V \times C$	0,05750	0,491952	0,917633

*Variáveis significativas ($p \leq 0,05$).

A temperatura de entrada do ar (T) (linear) apresentou um efeito positivo e indesejável, pois maiores valores de T levaram à produção de pós com maiores higroscopicidade. De acordo com Tonon, Brabet e Hubinger (2008), temperaturas crescentes favorecem a menor umidade do pó, quanto mais baixas a umidade das partículas, maior a sua higroscopicidade, devido a sua capacidade de adsorver a umidade ambiental, o que está relacionado com o maior gradiente de concentração de água entre as partículas e o ar circundante. Elevadas temperaturas também promovem a fusão parcial das partículas com menores diâmetros sobre as partículas com maiores diâmetros, tornando as partículas amorfas (CANO-CHAUCA et al., 2005). Segundo White e Cakebread (1966), a forma amorfa de açúcares é extremamente higroscópica e absorve umidade, devido sua maior área específica.

A concentração de maltodextrina (C) (linear) apresentou um efeito negativo e desejável, pois o aumento deste fator promoveu uma menor higroscopicidade dos pós. A maltodextrina é um produto de baixa higroscopicidade e o seu emprego contribui para a redução da capacidade de adsorção de água do ambiente para o produto em pó (CAI; CORKE, 2000; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2005; TONON; BRABET; HUBINGER 2008; FERRARI, RIBEIRO; AGUIRRE, 2012), isso se deve ao fato deste coadjuvante apresentar alto peso molecular, proporcionando pós com maior temperatura de transição vítrea (T_g), o que dificulta alterações na estrutura física dos mesmos (JAYA; DAS, 2004; CAPARINO et al., 2012) e promove a maior estabilidade ao produto.

Após eliminar os fatores não significativos ($p > 0,05$), verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste através do teste F. A Tabela 13 apresenta os resultados da

análise de variância (ANOVA), com os valores calculados e tabelados de F e do coeficiente de determinação (R^2) para a resposta higroscopicidade do cupuaçu em pó.

Tabela 13. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado à resposta higroscopicidade, considerando os efeitos significativos.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	$F_{\text{Calculado}}$	F_{Tabelado}^*	R^2
Regressão	46,1640	2	23,0820	53,43	3,74	0,884
Resíduo	6,0485	14	0,4320			
Falta de ajuste	5,0804	12	0,4234	0,87	19,41	
Erro Puro	0,9681	2	0,4840			
Total	52,2125	16				

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

A partir da análise de variância, nota-se que o modelo ajustado para a resposta higroscopicidade (Equação 10) apresentou regressão significativa (F calculado superior ao F tabelado) e falta de ajuste não significativa (F calculado inferior ao F tabelado), sendo considerado significativo e preditivo ($p \leq 0,05$). O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,88, indicando que o modelo explicou 88% da variação total dos dados observados.

$$\text{Higroscopicidade}(mg/100g) = 37,589 - 0,058T + 0,169C \quad (10)$$

A Figura 20 apresenta a distribuição de resíduos para a resposta higroscopicidade, onde é possível observar que os resíduos foram relativamente baixos (na faixa de -1,5 a 1,5), e a distribuição em torno do zero foi aleatória e independente, com variância constante para o modelo ajustado. Assim, o modelo é considerado adequado e satisfatório.

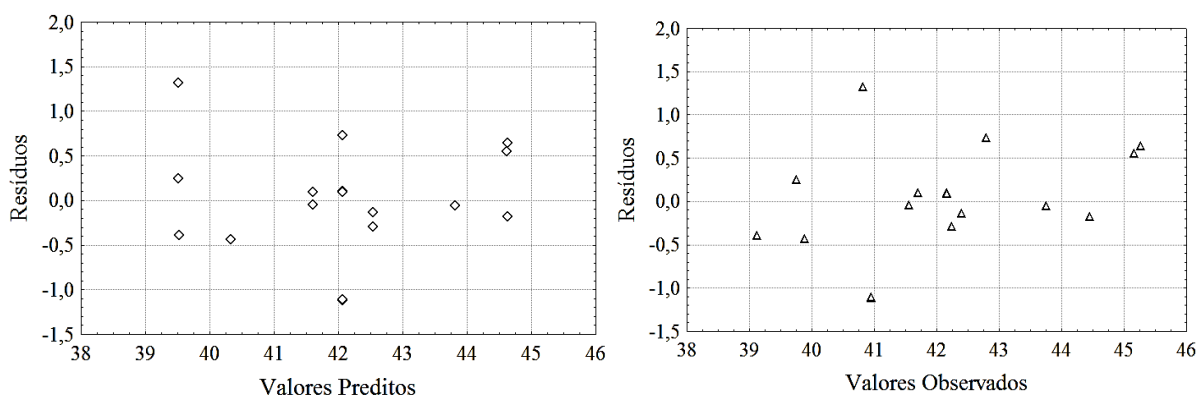


Figura 20. Distribuição de resíduos para a resposta higroscopicidade.

No gráfico valores preditos x valores observados (Figura 21a) é possível constatar que o modelo apresentou boa qualidade do ajuste, pois a maioria dos pontos está localizado próximo e ao longo da reta. Por sua vez, no gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 21b) é possível observar que todos os pontos estão próximos da reta. Assim, não há evidências de ausência de normalidade dos resíduos e o modelo é considerado confiável e preditivo.

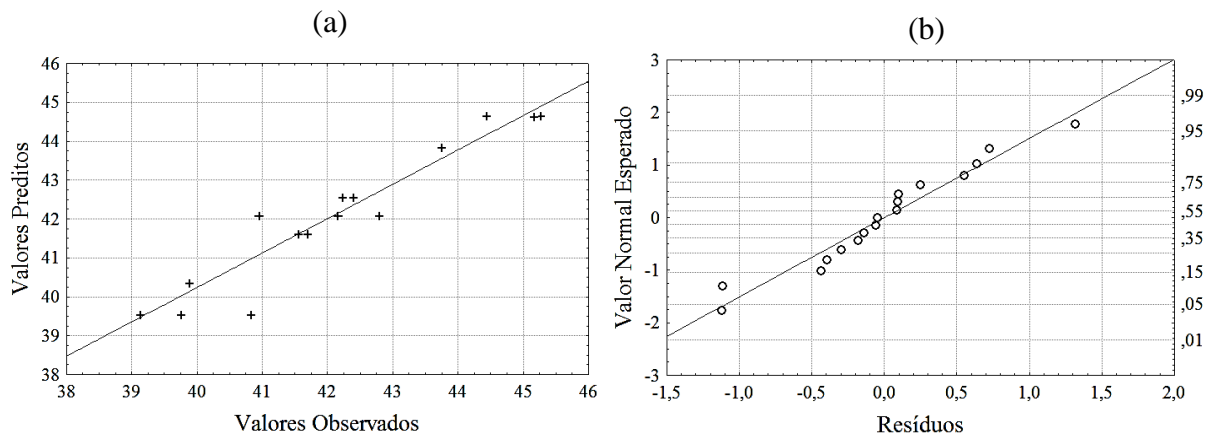


Figura 21. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos \times valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta higroscopicidade.

A Figura 22 apresenta a superfície de resposta e a curva de contorno gerada pelo modelo de regressão, proposto para a resposta higroscopicidade.

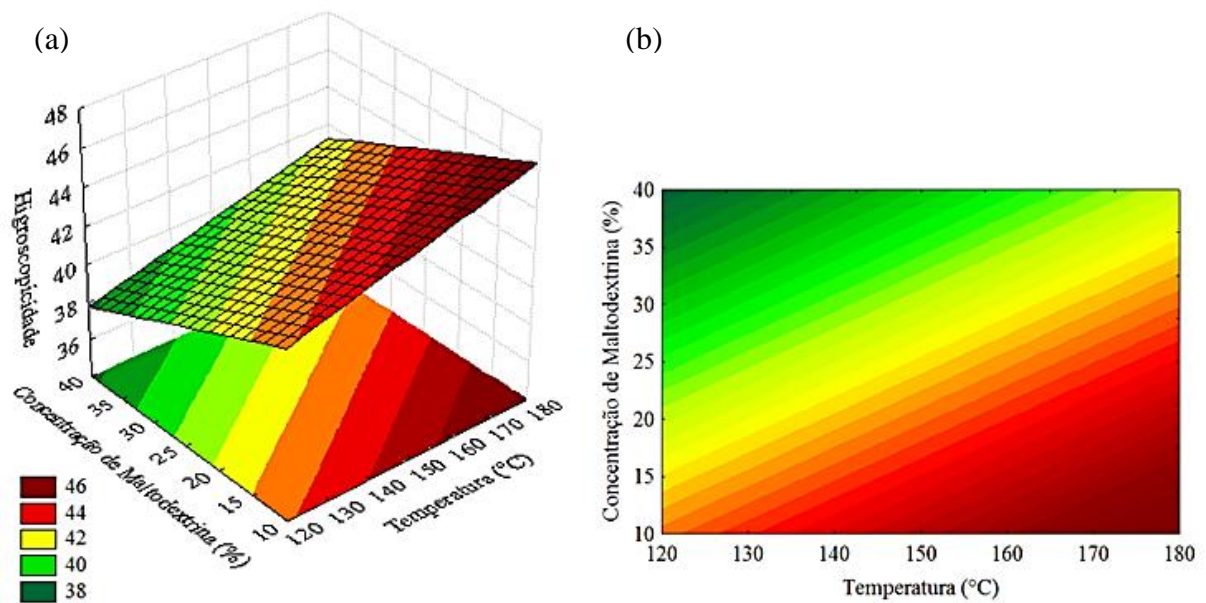


Figura 22. Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para a variável dependente higroscopicidade, em função das variáveis independentes: temperatura \times concentração de maltodextrina (vazão de alimentação = 7,5 mL/min).

O comportamento das curvas confirma que os menores valores de higroscopicidade foram observados para os produtos obtidos com maiores C e menores T . Tonon, Brabet e Hubinger (2008) e Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012), também mencionam menores higroscopicidade, com o aumento da concentração de maltodextrina e diminuição da temperatura do ar de secagem, para a secagem em *spray dryer* do suco de açaí e da polpa de amora-preta.

Índice de solubilidade em água (ISA)

Os valores de ISA para a polpa de cupuaçu em pó variaram de 62,56 a 83,52% (Tabela 7), no domínio experimental. Estes valores estão dentro da faixa reportada por Phoungchandang e Sertwasana (2010) (20,29 a 93,82%), para o suco de gengibre em pó obtido em *spray dryer*, na faixa de temperatura de 120 a 150°C e com até 10% de maltodextrina. Santhalakshmy et al. (2015) observaram menores valores de ISA (42,78 a 51,09%), para suco de jambolão em pó obtido por atomização em temperaturas entre 140 a 160°C e com 25% de maltodextrina. Por sua vez, maiores valores de ISA (87,96 a 98,98%) foram obtidos por Muzaffar, Dinkarrao e Kumar (2016), para suco de romã em pó obtido em *spray dryer*, com temperatura do ar de secagem entre 163,2 e 196,8°C e 25% de maltodextrina.

A Tabela 14 apresenta os resultados da análise estatística aplicada à resposta ISA do cupuaçu em pó. A temperatura de entrada do ar (T) (linear) e a concentração de maltodextrina (C) (linear) foram os fatores que apresentaram influência estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) sobre a resposta ISA.

Tabela 14. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para os fatores do modelo codificado para a resposta ISA.

Fator	Efeito estimado	Erro puro	p^*
Média	72,12259	0,515550	0,000051
$T(L)$	8,95328	0,486392	0,002938
$T(Q)$	-0,51236	0,540371	0,443128
$V(L)$	0,59164	0,486392	0,347911
$V(Q)$	-0,52676	0,540371	0,432471
$C(L)$	6,59506	0,484155	0,005346
$C(Q)$	1,10062	0,530325	0,173623
$T \times V$	-0,20750	0,633140	0,774242
$T \times C$	1,35250	0,633140	0,166170
$V \times C$	-0,11250	0,633140	0,875337

*Variáveis significativas ($p \leq 0,05$).

Tanto a temperatura de entrada do ar (T) (linear) quanto concentração de maltodextrina (C) (linear) apresentaram efeito positivo e desejável, pois indica que o aumento destas variáveis favorece à produção de pós com maiores ISA. De acordo com Torres et al. (2005), em temperaturas elevadas o fornecimento de energia é suficiente para promover a quebra de ligações intermoleculares do pó, o que favorece a exposição de hidroxilas, que se ligam mais facilmente às moléculas de água. Adicionalmente, a maltodextrina possui elevada solubilidade em água e quando utilizadas como coadjuvantes no processo de secagem melhora a solubilidade dos pós (CAI; CORKE, 2000; CANO-CHAUCA et al., 2005; TONON; BRABET; HUBINGER, 2013). Isto se deve à alta polaridade proporcionada pelos grupos hidroxilas (OH) presente na molécula da maltodextrina, disponíveis para interagir com as moléculas de água, principalmente por meio da formação de pontes de hidrogênio (KING et al., 1984, DIB-TAXI et al., 2003).

Após eliminar os fatores não significativos ($p > 0,05$), verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste pelo teste F. A Tabela 15 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA), com os valores calculados e tabelados de F e do coeficiente de determinação (R^2), para a resposta ISA do cupuaçu em pó.

Tabela 15. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado à resposta ISA, considerando os efeitos significativos.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{Calculado}	F _{Tabelado*}	R ²
Regressão	420,4215	2	210,2107	37,98	3,74	0,844
Resíduo	77,4913	14	5,5351			
Falta de ajuste	75,8878	12	6,3240	7,89	19,41	
Erro Puro	1,6035	2	0,8017			
Total	497,9128	16				

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

A regressão foi significativa (F calculado superior ao F tabelado). Adicionalmente, a falta de ajuste foi não significativa (F calculado inferior ao F tabelado), confirmando que o modelo ajustado aos dados experimentais da resposta ISA (Equação 11) é considerado significativo ($p \leq 0,05$) e preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,84, indicando que o modelo explicou 84% da variação total dos dados observados.

$$ISA (\%) = 25,583 + 0,249T + 0,371C \quad (11)$$

A Figura 23 apresenta a distribuição de resíduos para a resposta ISA. Os resíduos são na faixa de -2,5 a 6, e apresentam variância constante para o modelo ajustado, pois sua distribuição em torno do zero apresentou comportamento aleatório, sustentando a independência dos erros. Assim, o modelo é considerado satisfatório e adequado.

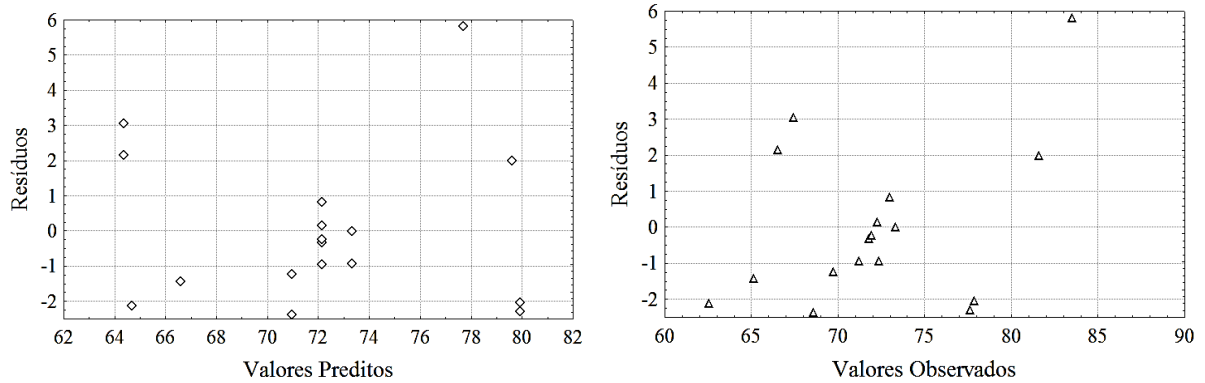


Figura 23. Distribuição de resíduos para a resposta ISA.

O gráfico valores preditos x valores observados (Figura 24a) confirma que o modelo apresentou boa qualidade do ajuste, pois os pontos se encontram próximos e ao longo da reta, e não apresentam desvios expressivos. No gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 24b) é possível observar a presunção de normalidade, pois os resíduos estão próximos da reta e pouco afastados uns dos outros. Desta forma, o modelo é considerado confiável e preditivo.

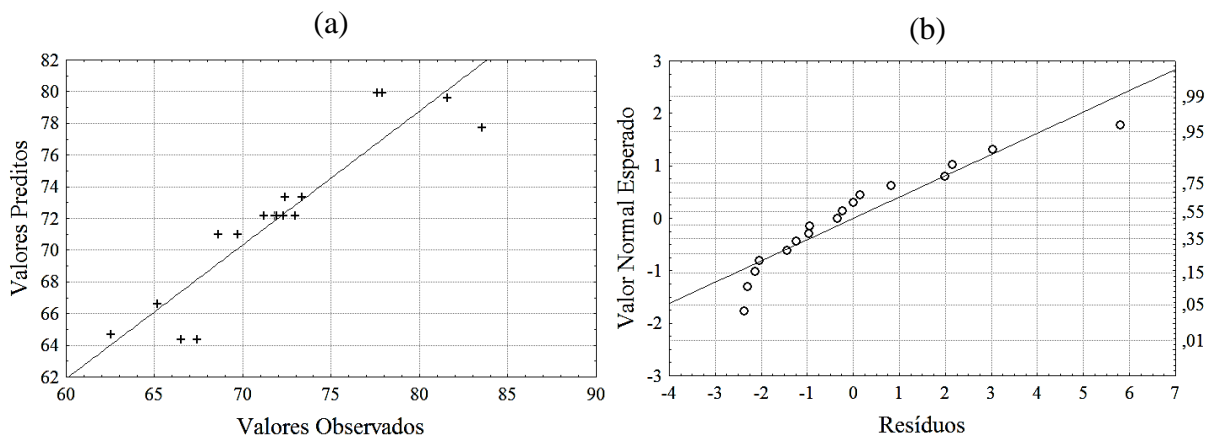


Figura 24. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos \times valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta ISA.

A Figura 25 apresenta a superfície de resposta e a curva de contorno gerada pelo modelo de regressão proposto para a resposta ISA, onde pode ser confirmado que os maiores

valores de ISA foram observados para os maiores valores de T e de C . Phoungchandang e Sertwasana (2010) e Avila, Rodríguez e Velásquez (2015) também observaram maiores valores de ISA, para sucos em pó de gengibre e de cana-de-açúcar, respectivamente, em maiores valores de temperatura de secagem e de concentrações de maltodextrina.

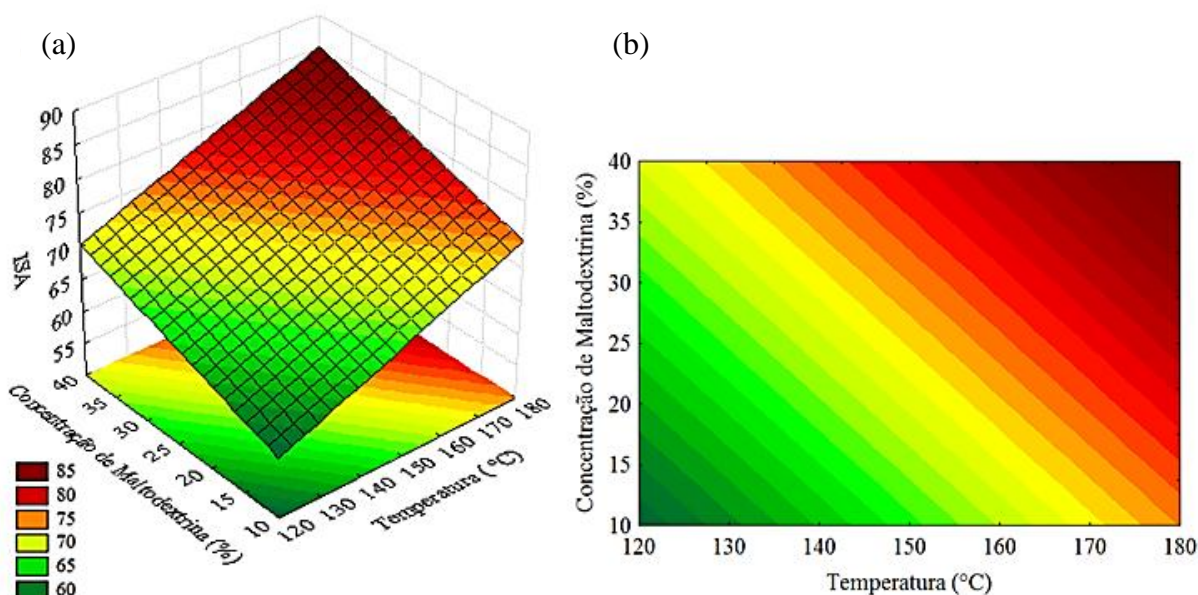


Figura 25. Superfície de resposta (a) e curva de contorno (b) para a variável dependente ISA, em função das variáveis independentes: temperatura \times concentração de maltodextrina (vazão de alimentação = 7,5 mL/min).

Vitamina C

O teor de vitamina C para o cupuaçu em pó obtido das diferentes condições experimentais variou de 65,55 a 116,04 mg de ácido ascórbico/100 g do produto (Tabela 7). Apesar das perdas durante a secagem, foi observada uma retenção de vitamina C de 48,8 a 86,4%, em relação à polpa de cupuaçu *in natura*. Estes níveis de retenção foram da mesma ordem de grandeza observada por Santana et al. (2016) (42,4 a 89,5%), para pequi em pó obtido por *spray drying*, com temperatura do ar de secagem entre 140 e 200°C e concentração de maltodextrina de 15 a 30%. Patil, Chauhan e Singh (2014) observaram níveis de retenção para vitamina C entre 76,7 e 80,5%, em goiaba em pó obtida por atomização, na faixa de temperatura de 166,9 a 188,1°C e concentração de maltodextrina entre 5,9 a 13,0%. Por sua vez, Rodríguez-Hernández et al. (2005) obtiveram menores níveis de retenção da vitamina C, para o suco de figo-da-índia atomizado (28,1 a 51%), utilizando maiores temperaturas de secagem (205 a 225°C) e concentração de maltodextrina entre 18 a 23%.

Na Tabela 16 são apresentados os resultados da análise estatística aplicada para a resposta teor de vitamina C do cupuaçu em pó. A temperatura do ar de secagem (T) (linear) e a concentração de maltodextrina (C) (linear) foram os fatores que apresentaram influência estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) sobre a resposta teor de vitamina C.

Tabela 16. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para os fatores do modelo codificado para a resposta vitamina C.

Fator	Efeito estimado	Erro puro	p^*
Média	94,0014	5,452956	0,003348
$T(L)$	-31,9126	5,144551	0,025017
$T(Q)$	-3,3882	5,715485	0,613408
$V(L)$	0,0551	5,144551	0,992429
$V(Q)$	2,1954	5,715485	0,737889
$C(L)$	22,0701	5,120892	0,049846
$C(Q)$	-3,3051	5,609229	0,615398
$T \times V$	-0,0500	6,696704	0,994721
$T \times C$	0,1150	6,696704	0,987858
$V \times C$	0,0450	6,696704	0,995248

*Variáveis significativas ($p \leq 0,05$).

O efeito negativo e indesejável da temperatura do ar de secagem (T) (linear) indica que o aumento desta variável promoveu a redução da retenção de vitamina C no produto. A vitamina C, que é termolábil, é degradada pelo aumento da variável T devido ao aumento da velocidade das reações de óxido-redução (ANGEL et al., 2009; SOLVAL et al., 2012; IGUAL et al., 2014; ROCHA et al., 2014). Por sua vez, o efeito positivo e desejável da concentração de maltodextrina (C) (linear) revela que o aumento desta variável favorece a retenção da vitamina C; o que é atribuído ao efeito protetor do coadjuvante, contra as reações de oxidação. Segundo Qi e Xu (1999), maltodextrinas de alto valor de dextrose equivalente (20DE), como a utilizada, apresentam elevada capacidade de redução (ganho de elétrons), o que favorece a proteção contra reações oxidativas (perda de elétrons). De fato, vários autores mencionam a alta correlação entre o valor de dextrose equivalente de um amido hidrolisado e a estabilidade conferida ao núcleo contra a ação do oxigênio atmosférico (ANANDARAMAN; REINECCIUS, 1986; WAGNER; WARTHESEN, 1995; AZEREDO, 2005). De acordo com Anandaraman e Reineccius (1986), o aumento da DE, aumenta a barreira ao oxigênio e, portanto, a estabilidade oxidativa.

Após eliminar os fatores não significativos ($p > 0,05$) foi avaliada a significância da regressão e da falta de ajuste pelo teste F. A Tabela 17 apresenta os resultados da ANOVA,

com os valores calculados e tabelados de F e do coeficiente de determinação (R^2), para a resposta teor de vitamina C do cupuaçu em pó.

Tabela 17. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta teor de vitamina C, considerando os efeitos significativos.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	$F_{\text{Calculado}}$	F_{Tabelado}^*	R^2
Regressão	5117,28	2	2558,64	79,75	3,74	0,920
Resíduo	449,19	14	32,08			
Falta de ajuste	269,80	12	22,48	0,25	19,41	
Erro Puro	179,38	2	89,69			
Total	5566,47	16				

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

O modelo apresentou regressão significativa com 95% de confiança (F calculado superior ao F tabelado) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança (F calculado inferior ao F tabelado). Assim, o modelo ajustado para a resposta teor de vitamina C (Equação 12) é considerado significativo e preditivo. O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,92, o que indica que o modelo explicou 92% da variação total dos dados observados.

$$\text{Vitamina C (mg/100g)} = 194,168 - 0,887T + 1,241C \quad (12)$$

A Figura 26 apresenta a distribuição de resíduos para a resposta vitamina C. Os resíduos estão distribuídos aleatoriamente em torno do zero, na faixa de -10 a 7,5, sugerindo a independência dos erros e uma variância constante (homocedasticidade) dos resíduos para o modelo ajustado. Assim, o modelo é considerado satisfatório e adequado.

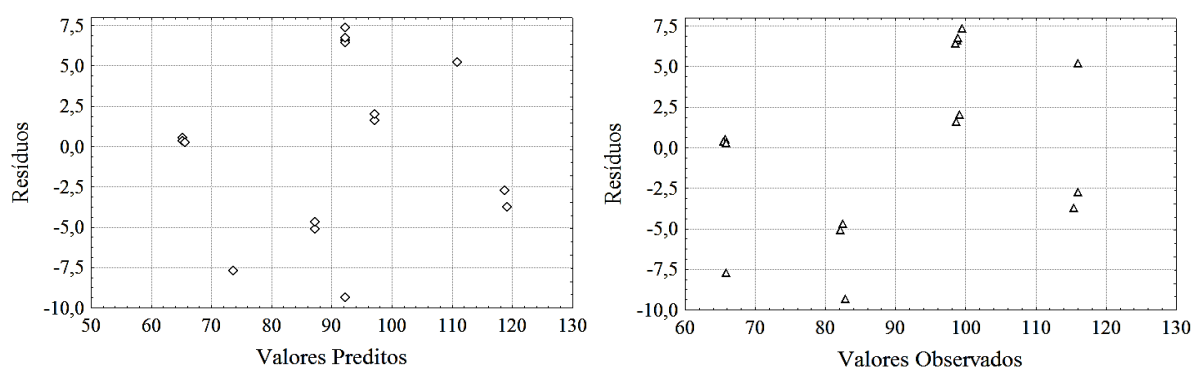


Figura 26. Distribuição de resíduos para a resposta vitamina C.

O gráfico valores preditos x valores observados (Figura 27a) mostra que o modelo apresentou boa qualidade do ajuste, pois a maioria dos pontos se localiza próximo e ao longo da reta. Por sua vez, no gráfico de probabilidade normal dos resíduos (Figura 27b) todos os pontos estão próximos da reta, evidenciando a normalidade dos resíduos. Desta forma, o modelo é considerado confiável e preditivo.

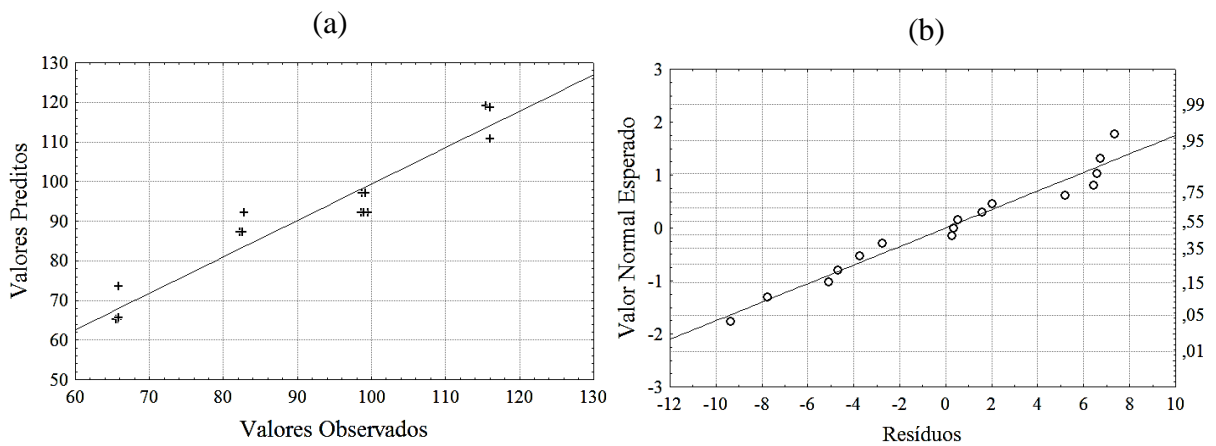


Figura 27. Gráfico dos resíduos: (a) valores previstos \times valores observados; (b) Gráfico da probabilidade normal dos resíduos para a resposta resposta vitamina C.

A Figura 28 apresenta a superfície de resposta e a curva de contorno gerada pelo modelo de regressão proposto para a resposta vitamina C.

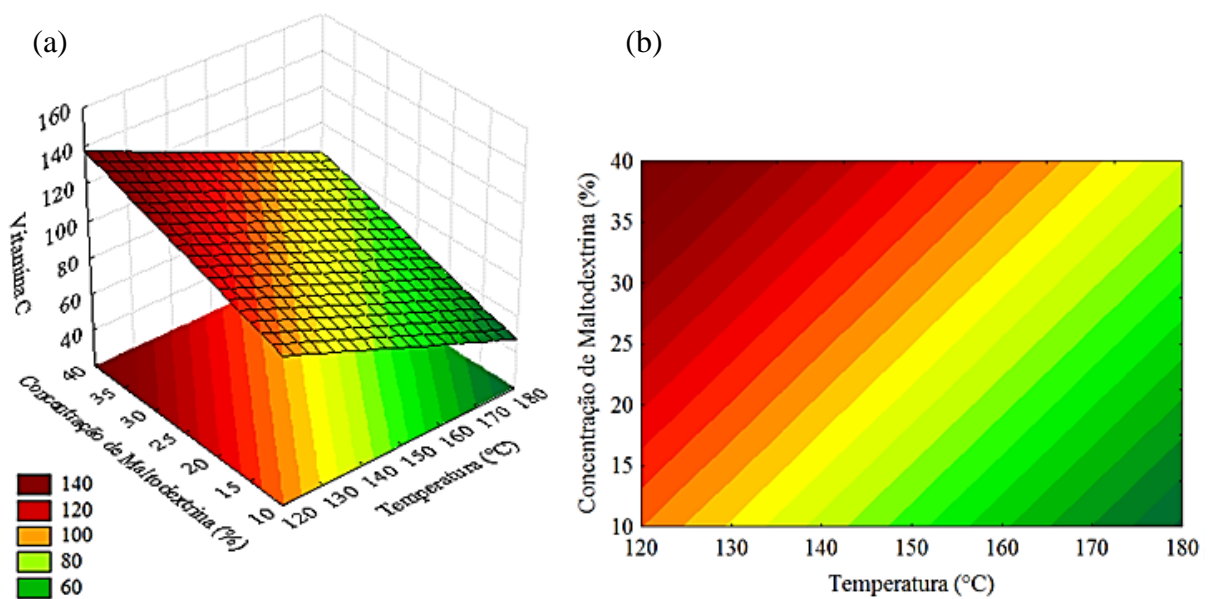


Figura 28. Superfície de resposta (a) e curva de com torno (b) para a variável dependente vitamina C, em função das variáveis independentes: temperatura \times concentração de maltodextrina (vazão de alimentação = 7,5 mL/min).

O comportamento das curvas comprova que os maiores teores de ácido ascórbico (menor degradação) foram observados em menores valores de T e maiores C . Rodríguez-Hernández et al. (2005) e Igual et al. (2014) também observaram maiores níveis de retenção de vitamina C, em menores temperaturas e maiores concentrações de agente carreador, ao estudarem a secagem por atomização do suco de figo-da-índia e da polpa de lulo, respectivamente.

Compostos fenólicos totais

O conteúdo de compostos fenólicos totais no cupuaçu em pó obtido variou de 54,86 a 136,91 mg GAE/100 g do produto, no domínio experimental (Tabela 7). Estes valores representaram níveis de retenção de compostos fenólicos totais que variaram de 19,76 a 49,30%, em relação a polpa de cupuaçu *in natura*. Silva et al. (2014) observaram níveis de retenção entre 28,88 a 68,88%, para o umbu em pó obtido em *spray dryer*, em temperaturas de 90 a 190°C e com concentração de maltodextrina de 10 a 30%. Fang e Bhandari (2011) observaram uma retenção de 96%, para compostos fenólicos no suco de groselha pulverizado com maltodextrina (1:1) e temperatura do ar de secagem de 150°C.

A Tabela 18 apresenta os resultados da análise estatística aplicada à resposta compostos fenólicos totais do cupuaçu em pó. Os fatores estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) foram a temperatura de entrada do ar (T) (linear e quadrática) e a concentração de maltodextrina (C) (linear e quadrática).

Tabela 18. Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) para os fatores do modelo codificado para a resposta compostos fenólicos totais.

Fator	Efeito estimado	Erro puro	p^*
Média	98,9224	0,491316	0,000025
$T(L)$	-34,6436	0,463529	0,000179
$T(Q)$	-5,0837	0,514971	0,010106
$V(L)$	0,5479	0,463529	0,358715
$V(Q)$	-0,4037	0,514971	0,515212
$C(L)$	23,7639	0,461397	0,000377
$C(Q)$	11,4655	0,505397	0,001937
$T \times V$	-0,4100	0,603379	0,566915
$T \times C$	0,5450	0,603379	0,461729
$V \times C$	-0,4050	0,603379	0,571220

*Variáveis significativas ($p \leq 0,05$).

A variável *T* apresentou um efeito negativo e indesejável, pois ocorreu a maior retenção de compostos fenólicos com a diminuição deste fator. Segundo Quek, Chok e Swedlund (2007), pós obtidos por *spray dryer*, em baixas temperaturas de secagem, apresentam maiores umidades com tendência à aglomeração; principalmente em amostras com elevado teor de açúcar devido sua higroscopicidade. Esta aglomeração reduz a superfície exposta das partículas, deixando-as menos susceptíveis à ação do oxigênio e aos processos oxidativos. A variável *C*, por sua vez, apresentou um efeito positivo e desejável, indicando que quando uma maior concentração de maltodextrina foi utilizada, houve uma menor degradação dos compostos fenólicos, devido ao efeito protetor do agente carreador. De acordo com Desai e Park (2005), os agentes carreadores são capazes de acomodar materiais ativos dentro de suas estruturas, durante o processamento ou armazenamento, promovendo assim a máxima proteção contra condições ambientais. Igual et al. (2014) também observaram uma maior retenção de compostos fenólicos na polpa de lulo em pó, quando a mesma foi seca em menores temperaturas e com maiores concentrações de agente carreador.

Após eliminar os fatores não significativos ($p > 0,05$), verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste através do teste F. A Tabela 19 apresenta os resultados da análise de variância (ANOVA), com os valores calculados e tabelados de F e do coeficiente de determinação (R^2), para a resposta compostos fenólicos totais da polpa de cupuaçu em pó.

Tabela 19. Análise de variância (ANOVA) do modelo ajustado para a resposta compostos fenólicos totais, considerando os efeitos significativos.

Fonte de variação	Soma quadrática	Grau de liberdade	Média quadrática	F _{Calculado}	F _{Tabelado*}	R ²
Regressão	6490,3321	4	1622,583	78,33	3,26	0,948
Resíduo	248,5650	12	20,7137			
Falta de ajuste	247,1087	10	24,7109	33,94	19,40	
Erro Puro	1,4563	2	0,7281			
Total	6849,0254	16				

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

O F calculado para a regressão foi bem maior do que o F tabelado, o que assegura que o modelo ajustado para a resposta compostos fenólicos totais foi significativo ($p \leq 0,05$). No entanto, a falta de ajuste também foi significativa (F calculado superior ao F tabelado), o que indica que o modelo ajustado aos dados experimentais não pode ser utilizado para fins preditivos. Segundo Box e Wetz (1973), o valor de F calculado para a regressão deve ser no mínimo quatro a cinco vezes maiores que o valor de F tabelado; enquanto o F da falta de

ajuste, em relação ao erro puro, deve apresentar o menor valor possível, caso contrário fica evidente uma grande falta de ajuste do modelo aos dados experimentais. Desta forma, como a equação de ajuste não foi preditiva, não foram geradas a superfície de resposta e a curva de contorno para a resposta compostos fenólicos totais.

Na distribuição de resíduos para resposta compostos fenólicos totais (Figura 29), os resíduos apresentam um comportamento tendencioso, ou seja, a maioria dos pontos segue um padrão sistemático, indicando que há violação da hipótese de homogeneidade da variância e da condição de independência, o que não permite afirmar que o modelo seja adequado e satisfatório.

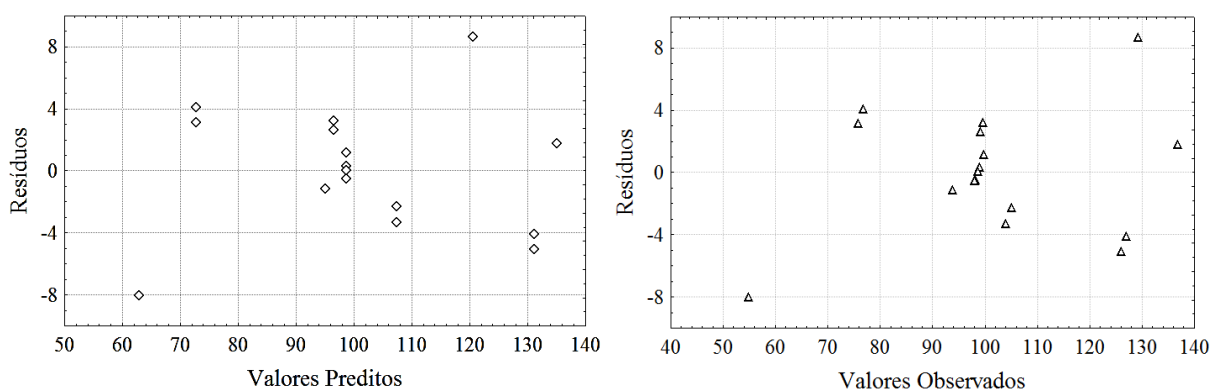


Figura 29. Distribuição de resíduos para a resposta compostos fenólicos totais.

5.2.3 Morfologia dos pós

A morfologia das partículas é importante, pois esta relacionada com a capacidade de proteção, estabilidade e escoabilidade do produto (ROSENBERG; KOPELMAN; TALMON, 1990). De maneira geral, as partículas apresentaram formato esférico e de vários tamanhos, tendendo a aglomeração e predominância de superfícies lisas, embora algumas tenham apresentado superfícies rugosas, com ocorrência de poros. Segundo Tonon et al. (2008), partículas de formato esférico é característico de pós produzidos por secagem em *spray dryer*.

A Figura 30 apresenta as eletromicrografias para o cupuaçu em pó obtido em diferentes temperatura de entrada do ar (120, 150 e 180°C), vazão de alimentação de 7,5 mL/min e concentração de maltodextrina de 25%. As imagens evidenciam que a maioria das partículas resultantes da secagem a 120°C exibiu superfície com pequenos orifícios (poros), formatos irregulares e maiores tamanhos. Por outro lado, os pós obtidos nas maiores temperaturas (150 e 180°C) apresentaram superfícies mais lisas, formatos arredondados e regulares; sendo que a 180°C as partículas apresentaram menores tamanhos, com uma

tendência de aglomeração das partículas de menores diâmetros sobre as partículas maiores. Segundo Cano-Chauca et al. (2005), a aderência de partículas menores sobre as maiores e o alto grau de integridade de partículas que apresentam poucas fendas e poros superficiais demonstra a falta de superfícies cristalinas e a presença de superfícies amorfas.

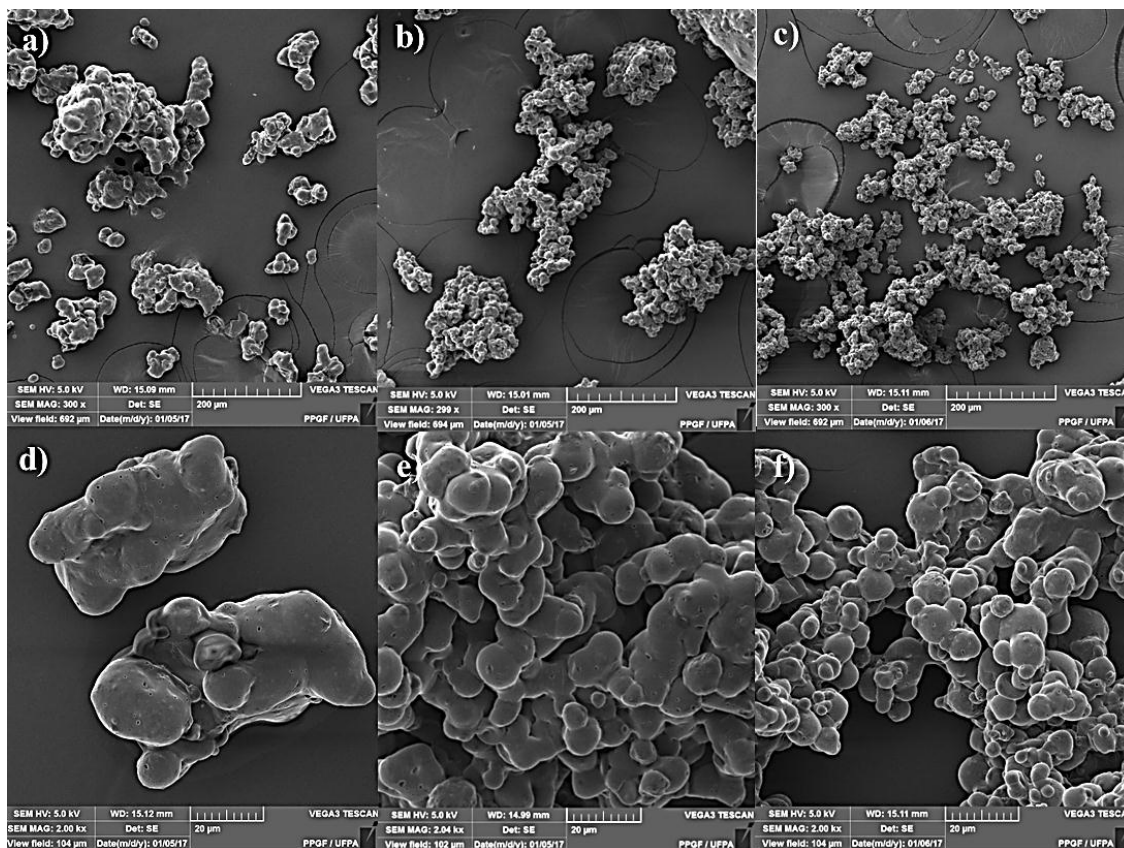


Figura 30. Eletromicrografias do cupuaçu em pó obtido em diferentes temperaturas: (a) e (d) 120°C, (b) e (e) 150°C, (c) e (f) 180°C, com vazão de alimentação de 7,5 mL/min e concentração de maltodextrina de 25%. Aumento: 300x e 2000x.

Alamilla-Beltrán et al. (2005) e Ferrari, Ribeiro e Aguirre (2012), também observaram superfícies mais lisas, com o aumento da temperatura de secagem, para partículas de maltodextrina e de amora-preta em pó, respectivamente. De acordo com Nijdam e Langrish (2006), temperaturas mais elevadas tornam o processo de transferência de calor e massa mais eficiente, o que promove maiores taxas de evaporação e a produção de partículas com casca mais seca e rígida, o que impede o encolhimento e favorece uma estrutura mais uniforme. Por outro lado, nas partículas obtidas em baixas temperaturas de secagem, a casca permanece úmida e flexível, o que pode resultar em partículas irregulares.

A Figura 31 apresenta as eletromicrografias para o cupuaçu em pó obtido em diferentes vazões de alimentação (3, 7,5 e 12 mL/min), na temperatura de 150°C e com 25% de maltodextrina.

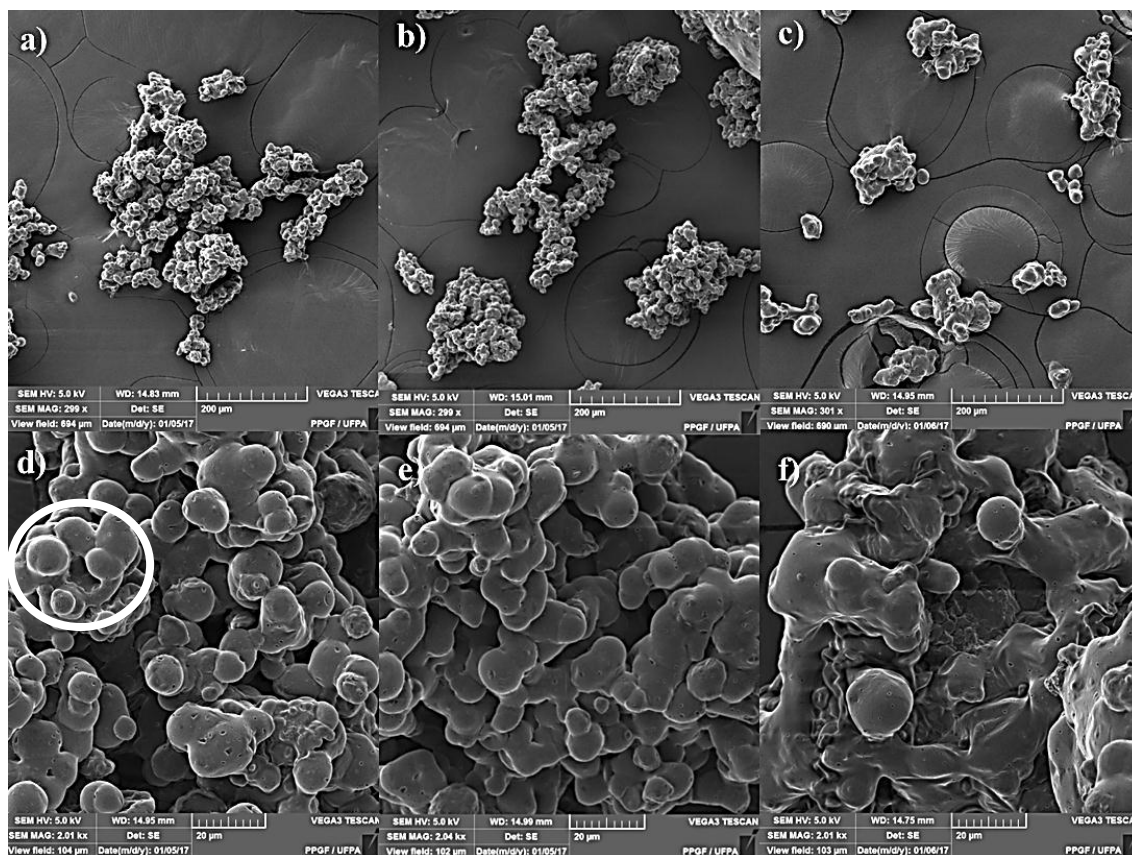


Figura 31. Eletromicrografias do cupuaçu em pó obtido em diferentes vazões de alimentação: (a) e (d) 3 mL/min, (b) e (e) 7,5 mL/min, (c) e (f) 12 mL/min, na temperatura de 150°C e com 25% de maltodextrina. Aumento: 300x e 2000x.

Menor vazão de alimentação proporcionou a formação de microestrutura com formatos arredondados e superfície porosa, inclusive com uma forma oca (círculo branco), com partículas de menor diâmetro em sua volta. Esferas ocas também foram observadas por Toneli et al. (2008) e são comuns em partículas produzidas em *spray dryer* (AGUILERA; STANLEY, 1990). Isto se deve à expansão das partículas durante os últimos estágios do processo de secagem (RÉ, 1998), decorrente da rápida vaporização do líquido no interior da esfera. A vazão intermediária produziu esferas com superfícies mais lisas e formato regular, enquanto na maior vazão as partículas apresentaram formato irregular, com a superfície mais rugosa. De acordo com Rosenberg, Kopelman e Talmon (1985), a formação de microestruturas rugosa afeta as condições de escoamento do material.

Na Figura 32 são apresentadas as eletromicrografias para o cupuaçu em pó obtido com diferentes concentrações de maltodextrina (10, 25 e 40%), temperatura do ar de secagem de 150°C e vazão de alimentação de 7,5 mL/min.

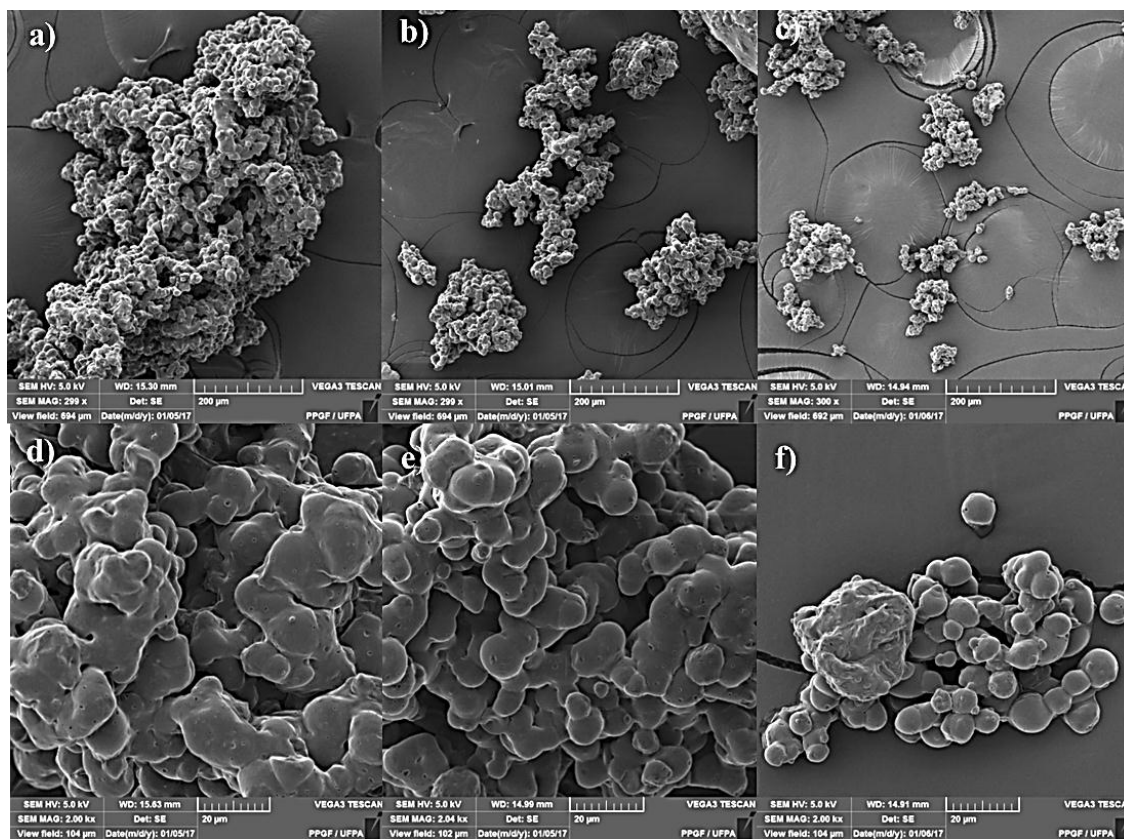


Figura 32. Eletromicrografias do cupuaçu em pó obtido com diferentes concentrações de maltodextrina: (a) e (d) 10%, (b) e (e) 25%, (c) e (f): 40%, na temperatura de 150°C e com vazão de alimentação de 7,5 mL/min. Aumento: 300x e 2000x.

O produto com menor concentração de maltodextrina apresentou partículas mais aglomeradas, com superfícies rugosas e formato irregular. Menores concentrações de maltodextrina resultam em partículas mais higroscópicas, que apresentam maior tendência em aglomerar, resultando em formas mais irregulares. O produto com 40% de maltodextrina apresentou esferas mais soltas, com superfícies predominantemente lisas, sem fendas ou poros. Isto se deve ao poder encapsulante deste coadjuvante que forma microestruturas com formatos mais definidos, além de promover esferas menos aglutinadas por diminuir a higroscopicidade do produto (CAVALCANTI MATA; MEDEIROS; DUARTE, 2005). Segundo Rosenberg, Kopelman e Talmon (1985), o maior grau de integridade das partículas, sem a presença de rugosidades, porosidades, fissuras ou colapso melhora a capacidade de proteção, estabilidade e escoabilidade do produto.

5.2.4 Otimização do processo de secagem

A estimativa das condições ótimas para o processo de secagem foi realizada com base nos dados experimentais propostos pela metodologia de superfície de resposta e pela técnica de otimização simultânea denominada “Função Desejabilidade”. A partir destes resultados, foram estabelecidos valores ótimos para as variáveis de entrada: temperatura de entrada do ar (T), vazão de alimentação do produto (V) e concentração de maltodextrina (C); tomando como base a obtenção de valores desejáveis para as respostas: umidade, a_w , higroscopicidade, ISA, teor de vitamina C e de compostos fenólicos totais.

A Tabela 20 apresenta os valores atribuídos à função desejabilidade global para a otimização do processo. Foram atribuídos valores 0 (indesejado), 0,5 (moderadamente desejável) e 1 (desejável), para os valores mínimo, médio e máximo obtidos nos ensaios experimentais, para cada resposta. Foram atribuídos valores aos expoentes "s" e "t" igual a 2. Segundo Barros Neto; Scarminio; Bruns (2010), estes expoentes definem a taxa de variação da desejabilidade com a resposta estimada pelo modelo.

Tabela 20. Valores atribuídos à função desejabilidade global.

Respostas	Mínimo	Médio	Máximo	s	t
Umidade (%)	2,23 (1)	3,06 (1)	3,89 (0,5)	2	2
a_w	0,121 (1)	0,221 (1)	0,331 (0,5)	2	2
Higroscopicidade (g/100g)	39,13 (1)	42,20 (0,5)	45,27 (0)	2	2
ISA (%)	62,56 (0)	73,04 (0,5)	83,52 (1)	2	2
Vitamina C (mg /100g)	65,55 (0)	90,79 (0,5)	116,04 (1)	2	2
CFT (mg GAE/100g)	54,86 (0)	95,88 (0,5)	136,91 (1)	2	2

CFC: Compostos fenólicos totais; s e t: taxas de variação da desejabilidade.

Na Figura 33 é apresentado o gráfico da Função Desejabilidade, que na última coluna demonstra os perfis das desejabilidades das cinco respostas. As linhas tracejadas verticais (em vermelho) sinalizam as condições de máxima desejabilidade global, que atingiu um valor de 0,9745, o qual é considerado excelente, conforme a classificação de Akhnazarova e Kafarov (1982). De acordo com o perfil da função desejabilidade, as condições ótimas sugeridas para o processo de secagem em *spray dryer* da polpa de cupuaçu diluída com água na proporção de 1:1, são: $T = 150^\circ\text{C}$, $V = 7,5 \text{ mL/min}$ e $C = 40\%$. Nestas condições, foi obtido um produto com os valores mais desejáveis de umidade (2,71% b.s.), a_w (0,16), higroscopicidade (39,64 g/100 g b.s), ISA (79,24%), vitamina C (107,91 mg/100 g) e compostos fenólicos totais (135,23 mg GAE/100 g). Estes resultados estão de acordo com os observados nas sobreposições dos gráficos das superfícies de resposta.

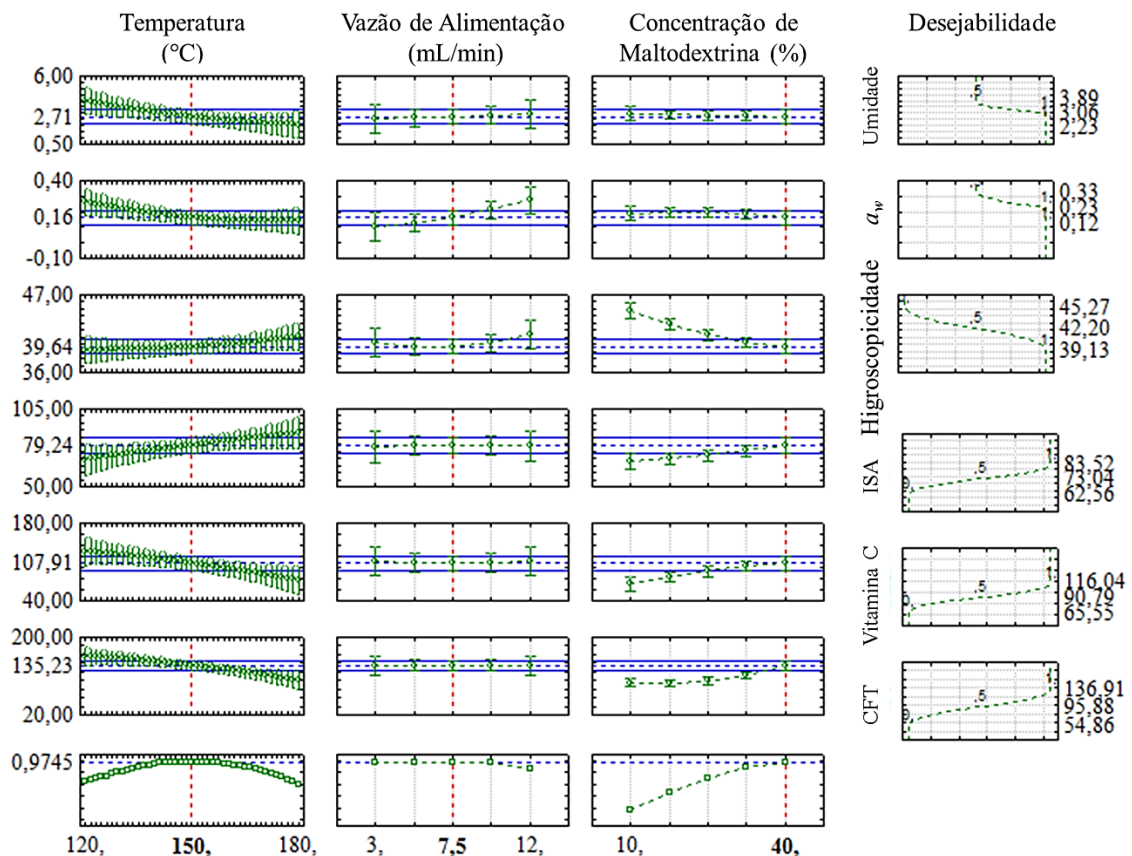


Figura 33. Gráfico da função desejabilidade para as respostas umidade, a_w , higroscopicidade, ISA, vitamina C e CFT.

5.2.5 Validação das condições ótimas de secagem

A Tabela 21 apresenta os valores observados, bem como os valores preditos pelos modelos e o desvio relativo entre eles. Os valores dos parâmetros analisados no pó obtido na condição ótima foram coerentes com os preditos pelos modelos, uma vez que não foram observados desvios relativos superiores a 5%. Este resultado confirma a eficiência da capacidade preditiva dos modelos para as resposta analisadas.

Tabela 21. Valor observado, valor predito e desvio relativo para a validação das condições ótimas de secagem ($T = 150^{\circ}\text{C}$, $V = 7,5 \text{ mL/min}$. e $C = 40\%$).

Respostas	Valor observado	Valor predito	% Desvio relativo
Umidade (%)	$2,66 \pm <0,01$	2,72	2,20%
a_w	$0,162 \pm <0,01$	0,163	0,49%
Higroscopicidade (g/100g)	$39,60 \pm 0,28$	39,64	0,08%
ISA (%)	$83,01 \pm 0,22$	79,24	4,76%
Vitamina C (mg /100g)	$105,84 \pm 0,01$	107,91	1,92%
CFT (mg GAE/100g)	$133,75 \pm 0,34$	135,23	1,09%

5.3. CARACTERIZAÇÃO DO CUPUAÇU EM PÓ

Na Tabela 22 podem ser observados os valores das propriedades físico-químicas para a polpa de cupuaçu em pó, obtida na condição ótima de secagem.

Tabela 22. Composição centesimal e propriedades físico-químicas do cupuaçu em pó.

Propriedades	Valores
Umidade (g/100 g)	2,66 ± <0,01
Cinzas (g/100 g)	1,53 ± 0,01
Lipídeos (g/100 g)	0,89 ± 0,01
Proteínas (g/100 g)	5,45 ± 0,06
Açúcares totais (g/100 g)	41,21 ± 0,39
Açúcares redutores (g/100 g)	24,05 ± 0,06
Vitamina C (mg /100 g)	105,84 ± 0,01
Compostos fenólicos totais (mg GAE/100 g)	133,75 ± 0,34
Atividade de água a 25°C	0,16 ± <0,01
pH	3,60 ± 0,01
Acidez (g ácido cítrico/100 g)	2,12 ± 0,13
Sólidos solúveis totais (°Brix)	43,80 ± 0,17
Cor <i>L</i> *	86,11 ± 0,43
<i>a</i> *	-4,73 ± 0,08
<i>b</i> *	24,45 ± 0,24
<i>C</i> *	24,59 ± 0,40
<i>h</i> °	100,78 ± 0,20

Na Tabela 22 pode ser observado que ocorreu uma diminuição na umidade e na atividade de água (a_w) e um aumento da acidez do produto, em relação à polpa de cupuaçu. As condições observadas para estes parâmetros conferem ao produto em pó uma maior estabilidade a processos degradativos, uma vez que, a menor disponibilidade de água e o pH limitam o crescimento microbiano, e conseqüentemente, previnem a deterioração do alimento durante o armazenamento (FELLOWS, 2006). O cupuaçu em pó apresentou baixo teor de gordura e um considerável teor de proteínas; além da presença de vitamina C e de compostos fenólicos, os quais agregam valor ao produto. O teor de vitamina C encontrado sugere que o cupuaçu em pó é uma boa fonte desta vitamina, visto que apenas 50 g do produto é capaz de suprir a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de vitamina C, para adultos, que é de 45 mg/dia (BRASIL, 2005). De acordo com a classificação proposta por Rufino et al. (2009), o cupuaçu em pó apresenta médio teor de vitamina C (30-50 mg/100 g) e com base na classificação

proposta por Vasco, Ruales e Kamal-Eldin (2008), o produto em pó apresenta também médio teor de compostos fenólicos totais (100-500 mg GAE/100 g). O constituinte majoritário do produto foram os açúcares, o que é atribuído à adição da maltodextrina. Por sua vez, apesar da adição da maltodextrina, o padrão de cor e aroma característicos da polpa de cupuaçu foi mantido no cupuaçu em pó. De acordo com Kha et al. (2010), devido à coloração branca da maltodextrina, a adição de grandes quantidades deste agente carreador na formulação, pode promover a depreciação (diluição) da cor característica do produto.

5.4 COMPORTAMENTO HIGROSCOPICO DO CUPUAÇU EM PÓ

Na Tabela 23 são apresentados os dados de adsorção e dessorção de umidade para o cupuaçu em pó a 25°C, obtido na condição ótima. De acordo com os dados de adsorção o produto apresentará estabilidade microbiológica ($a_w < 0,6$) (LABUZA, 1980), quando a sua umidade for inferior a 13 g H₂O/100 g b.s., que corresponde a uma umidade de 11,5 g H₂O/100 g do produto.

Tabela 23. Dados de sorção de umidade para o cupuaçu em pó a 25°C.

Adsorção		Dessorção	
a_w	m	a_w	m
0,10	2,16	0,10	10,67
0,15	2,57	0,15	10,73
0,20	3,38	0,19	11,05
0,25	4,02	0,23	11,24
0,30	4,52	0,28	11,49
0,35	5,21	0,34	12,15
0,40	6,21	0,39	12,13
0,45	7,22	0,45	12,90
0,50	8,45	0,50	13,55
0,55	10,77	0,55	14,28
0,60	13,17	0,60	15,38
0,65	15,85	0,65	17,92
0,70	19,67	0,70	21,06
0,75	24,92	0,75	25,71
0,80	32,51	0,80	33,20
0,85	43,97	0,85	44,79
0,90	65,78	0,90	65,78

a_w = atividade de água (adimensional); m = umidade (gH₂O/100 g b.s.)

Os valores da umidade equivalente à monocamada (m_o) foram de 4,3 g H₂O/100 g b.s. para adsorção e de 7,6 g H₂O/100 g b.s. para a dessorção, ($R^2 > 0,98$). O valor de m_o para a adsorção indica que este é o nível de umidade de maior estabilidade do o cupuaçu em pó

obtido. Por sua vez, com base no valor de m_o para o processo de dessorção, recomenda-se não secar a polpa de cupuaçu com 40% de maltodextrina a níveis de umidade inferiores a 7,6 g $H_2O/100$ g b.s., para evitar um gasto desnecessário de energia. Como nesse nível de umidade a a_w do produto será inferior 0,6, a sua estabilidade microbiológica estará assegurada.

As isotermas de adsorção e dessorção de umidade, obtidas a partir dos dados experimentais, são representadas na Figura 34. A isoterma de adsorção apresentou comportamento tipo III, segundo a classificação da IUPAC (1985). De acordo com Salwin (1959), este comportamento é característico de produtos ricos em açúcares, como o cupuaçu em pó obtido. A isoterma apresentou um comportamento linear até o nível 0,50 de a_w , e a partir deste ponto assumiu um comportamento exponencial, com aumento progressivo da quantidade de umidade retida pelo produto. De acordo com este comportamento, o produto requer maiores cuidados, quando armazenados em ambientes com umidades relativas superiores a 50%, pois estará mais susceptível a sofrer umidificação e conseqüentemente, mais propício a processos degradativos causados por reações indesejáveis e a proliferação de microrganismos. Assim, para evitar o ganho excessivo de umidade é necessária a utilização de embalagens que ofereçam resistência à passagem de umidade (embalagens impermeáveis ou com baixa permeabilidade ao vapor de água).

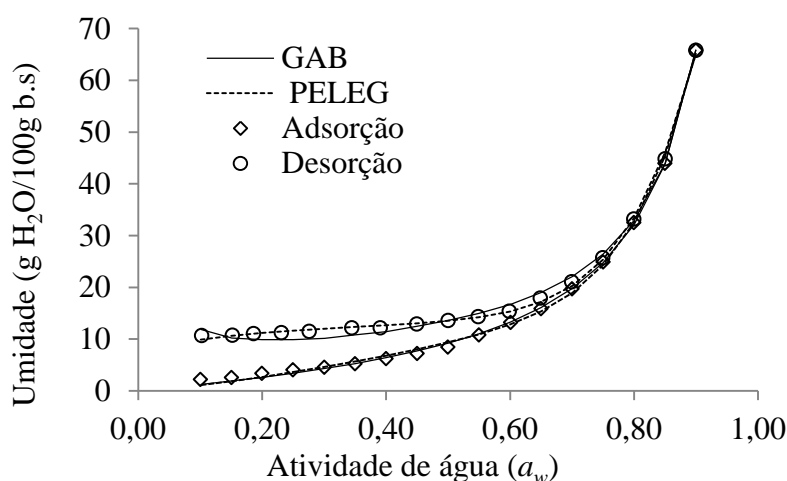


Figura 34. Isotermas de adsorção e dessorção de umidade para o cupuaçu em pó a 25°C.

Observa-se que o efeito de histerese inicia na região de condensação capilar ($a_w \approx 0,7$) e se prolonga até a região da monocamada ($a_w \approx 0,1$), porém o laço de histerese não fechou na região da monocamada, o que pode ser atribuído a perda de fluidez e de cristalinidade do produto durante a adsorção. Nestes casos, durante a adsorção ocorre uma maior aglomeração

das partículas do produto devido à formação de pontes de hidrogênio entre as partículas (CANO-CHAUCA et al., 2005; TONELI et al., 2008). Essa aglomeração, atribuída à presença de açúcares na forma amorfa, resulta na diminuição da fluidez do produto devido a alterações estruturais do material, o que compromete a sua qualidade de maneira irreversível (TEUNOU; FITZPATRICK, 1999; AGUILERA; VALLE; KAREL, 1995; FITZPATRICK et al., 2004).

Na Tabela 24 são apresentados os valores do coeficiente de determinação (R^2), do desvio médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE), bem como os coeficientes dos modelos matemáticos ajustados aos dados de sorção de umidade do cupuaçu em pó a 25°C.

Tabela 24. Dados dos ajustes dos modelos aos dados de sorção de umidade do cupuaçu em pó a 25°C.

Processo	Modelo	Parâmetros	R^2	SE	P (%)
Adsorção	Halsey	$a = 6,08$ $b = 0,96$	0,997	0,912	11,35
	Henderson	$a = 0,21$ $b = 0,58$	0,991	1,578	25,93
	Oswin	$a = 9,24$ $b = 0,89$ $m_o = 7,99$	0,999	0,455	7,86
	GAB	$c = 1,44$ $k = 0,99$ $k_1 = 23,17$	0,999	0,461	8,30
	Peleg	$n_1 = 1,34$ $k_2 = 118,32$ $n_2 = 9,15$	0,998	0,699	10,07
Dessorção	Halsey	$a = 20,49$ $b = 1,27$	0,964	2,754	16,75
	Henderson	$a = 0,08$ $b = 0,83$	0,857	5,507	32,80
	Oswin	$a = 14,33$ $b = 0,66$ $m_o = 6,48$	0,928	4,498	23,48
	GAB	$c = -22,39$ $k = 1,00$ $k_1 = 14,83$	0,996	0,928	5,888
	Peleg	$n_1 = 0,18$ $k_2 = 120,58$ $n_2 = 8,23$	0,999	0,530	2,29

Com base nos valores de R^2 , P e SE, os modelos de GAB e Peleg foram os que melhor se ajustaram, tanto aos dados de adsorção quanto de dessorção do cupuaçu em pó ($P \leq 10\%$). Estes modelos conseguiram prever com boa precisão as isotermas de adsorção e dessorção

de umidade do produto (Figura 34). Alguns trabalhos reportam a eficiência do modelo de GAB na predição da isoterma de sorção do cupuaçu em pó (MEDEIROS et al., 2006; SILVA et al., 2008), da polpa de manga desidratada (PAGLARINI et al., 2013) e da polpa de morango atomizada (OLIVEIRA et al., 2013). Enquanto o modelo de Peleg apresentou os melhores ajustes aos dados experimentais da pêra bartlett desidratada (PARK; BIN; BROD, 2001) e do umbu-cajá em pó (SILVA et al., 2015).

6. CONCLUSÃO

A temperatura de entrada do ar foi a variável do processo de secagem da polpa de cupuaçu em *spray dryer* que apresentou efeito significativo sobre todas as variáveis de respostas estudadas.

De maneira geral, as partículas apresentaram formato esférico, com variados diâmetros, tendendo a aglomeração e a predominância de superfícies lisas; embora algumas tenham apresentado superfícies rugosas, com ocorrência de poros.

As variáveis operacionais ótimas definidas para a secagem da polpa de cupuaçu em *spray dryer* são: temperatura de entrada do ar de 150°C, vazão de alimentação de 7,5 mL/min e 40% de maltodextrina.

A validação das condições ótimas de secagem para o processo de obtenção do cupuaçu em pó confirma a capacidade preditiva dos modelos para as resposta analisadas, não sendo observados desvios relativos superiores a 5%.

O cupuaçu em pó obtido na condição ótima apresentou boas características, para: umidade (2,66% b.s.), a_w (0,162), acidez (2,12 g ácido cítrico/100 g) e lipídios (0,89 g/100 g); valores consideráveis de proteínas (5,45 g/100 g) e higroscopicidade (39,60 g/100 g b.s.) e altos índices de solubilidade em água (83,01%); além da presença de vitamina C (105,84 mg/100g) e compostos fenólicos totais (133,75 mg GAE/ 100 g), o que agrega valor ao produto.

A avaliação higroscópica do cupuaçu em pó indicou que o produto deve, preferencialmente, ser armazenado em ambiente com umidade relativa inferior a 50% e que o mesmo terá estabilidade microbiológica quando apresentar umidade inferior a 11,5%. Adicionalmente, 4,3% foi definido como o nível de umidade de maior estabilidade degradativa do produto.

Os modelos de GAB e Peleg se mostraram capazes de predizer com boa precisão as isotermas de adsorção e dessorção de umidade do cupuaçu em pó.

REFERÊNCIAS

- 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 modelling. **Journal of Food Engineering**, v.62, n.1, p.53-68, 2004.
- AGUILERA, J. M.; STANLEY, D. W. **Microstructural Principles of Food & Engineering**. 1. ed. Cambridge: Elsevier Applied Science, 1990.
- AGUILERA, J. M.; VALLE, J. M.; KAREL, M. Caking phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6, n. 5, p. 149-155, 1995.
- AKHNAZAROVA, S.; KAFAROV, V. **Experiment optimization in chemistry and chemical engineering**. Moscow: Mir, 1982.
- 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, n.1-2, p.179-184, 2005.
- ALCÂNTARA, S. R.; ALMEIDA, F. DE A. C.; SILVA, F. L. H. DA; GOMES, J. P. Isotermas de adsorção do pedúnculo seco do caju. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.13, n.1, p.81-87, 2009.
- ALVES, R. M.; SILVA, L. G. T; FERNANDES, J. R. Q.; MATOS, G. B. de. **Estratégias para conservação dos recursos genéticos em assentamentos rurais no sudeste paraense: a criação de um bag de cupuaçuzeiro [*Theobroma grandiflorum* (Willd ex. Spreng) Schum] no PA Araras**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007.
- ANANDARAMAN, S.; REINECCIUS, G. A. Stability of encapsulated orange peel oil. **Food Technology**, v. 40, p.88-93, 1986.
- ANDERSON, R. A.; CONWAY, V. F. P.; GRIFFIN, E. L. Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion cooking. **Cereal Science Today**, v.14, n.1, p.130-135, 1969.
- ANGEL, R. C. M.; ESPINOSA, L. C. M.; AVILES-AVILES, C.; GARCÍA, R. G.; SANTILLÁN, M. M.; LAGUNES, A. G.; ARCHILA, M. A. Spray-Drying of Passion Fruit Juice Using Lactose-Maltodextrin Blends as the Support Material. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 4, p.1011-1018, 2009.
- ANANDHARAMAKRISHNAN, C; RIELLY, C. D.; STAPLEY, A. G. F. Effects of Process Variables on the Denaturation of Whey Proteins during Spray Drying. **Drying Technology**, v. 25, p. 799-807, 2007.
- AMERI, A.; MAA, Y. F. Spray Drying of Biopharmaceuticals: Stability and Process Considerations. **Drying Technology**, v. 24, n. 6, p. 763-768, 2006.
- AOAC- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of Analysis**. 16 ed. Gaithersburg, Maryland, 1997.
- AUDU, T.O.K.L.; LONCIN, M.; WEISSER, H. Sorption isotherms of sugars. **Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie**, v.11, p.31-34, 1978.

AVILA, E. L.; RODRÍGUEZ, M. C.; VELÁSQUEZ, H. J. C. Influence of Maltodextrin and Spray Drying Process Conditions on Sugarcane Juice Powder Quality. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v.68, n.1, p.7509-7520, 2015.

AZEREDO, H. M. C. de. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2005.

BAE, E. K.; LEE, S. J. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. **Journal of Microencapsulation**, v. 25, n. 8, p.549-60, 2008.

BARROS NETO, B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

BEUCHAT, L. R. Microbial stability as affected by water activity. **Cereal Foods World**, v.26, n.7, p.345-349, 1981.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p.671-684, 1997.

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

BIBLE, B. B.; SINGHA S. Canopy position influences CIELab coordinates of peach color. **Hortscience**, v.28, n.10, p.992-993, 1993.

BOX, G. E. P.; HUNTER, W. G.; HUNTER, J. S. **Statistics for experiments: An introduction to design, data analysis and model building**. New York: John Wiley and Sons, 1978.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. Wisconsin: University of Wisconsin, 1973.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) – Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005: Aprova o regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais**. Diário oficial da união, Brasília - DF, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Instrução Normativa n. 1, de 7 de janeiro de 2000. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília - DF, 2000.

BRENNAN, J. G.; HERRERA, J.; JOWITT, R. A study of some of the factors affecting the spray drying of concentrated orange juice, on laboratory scale. **Journal of Food Technology**, v. 6, n. 3, p.295-307, 1971.

BROADHEAD, J.; EDMOND ROUAN, S. K.; RHODES, C. T. The spray drying of pharmaceuticals. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, v.18, n.11-12, p.1169-1206, 1992.

BRODY, A. L. **Envasado de alimentos en atmosferas controladas, modificadas y vacio.** Zaragoza: Acribia, 1996.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W. E.; TROLLER, E. On the theory of Van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, n. 7, p.1723-1732, 1940.

BRUNAUER, S.; EMMET, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal American Chemical Society**, v. 60, n. 2, p.309-319, 1938.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 7, p.1248-1252, 2000.

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

CALZAVARA, B. B. G. **Fruteiras:** abieiro, abricozeiro, bacurizeiro, cupuaçuzeiro. (Série Culturas da Amazônia, 20), v. 1. Belém: IPEAN, 1970.

CALZAVARA, B. B. G.; MÜLLER, C. H.; KAHWAGE, O. N. N. **Fruticultura Tropical: O cupuaçuzeiro – cultivo, beneficiamento e utilização do fruto.** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1984.

CAMARGO, G. A. **Processo produtivo de tomate seco: novas tecnologias** (manual técnico). Workshop Tomate na Unicamp, 2003.

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 and Emerging Technologies**, v. 6, n.4, p.420-428, 2005.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. de T. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com atividade anti-radical livre. **Revista brasileira de Fruticultura**, v.32, n.4, p.1196-1205, 2010.

CAO, X. Q.; VASSEN, R.; SCHWARTZ, S.; JUNGEN, W.; TIETZ, F.; STÖEVER, D. Spray-drying of ceramics for plasma-spray coating. **Journal of the European Ceramic Society**, v.20, n. 14-15, p.2433-2439, 2000.

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.

CAVALCANTI MATA, M. E. R.M.; MEDEIROS, S. S. A.; DUARTE, M. E. M. Microencapsulamento do umbu em pó com diferentes formulações de maltodextrina: estudo do tamanho das partículas por microscopia eletrônica. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, n.1, p.59-70, 2005.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de Alimentos.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

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

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

CLEMENT, C. R. 1942 and the loss of Amazonian crop genetic resources: I. The relation between domestication and human population decline. **Economic Botany**, v.53, n.2, p.188-202, 1999.

CORAL, R. P. S. **O cupuaçu: boa opção para investimento**. Belém: Sagri, 1992.

COSTA, M.C. Conservação de polpa de cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum] por métodos combinados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p.213-215, 2003.

COULTATE, T. P. **Food: The Chemistry of its components**. 3ed. London: Royal Society of Chemistry, 1996.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v.12, n.4, p214-219, 1980.

DESAI, K.G.H.; PARK, H.J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**, v. 23, n.7, p.1361-1394, 2005.

DIB-TAXI, C. M.; MENEZES, H. C.; SANTOS, A. B.; GROSSO, C. R. Study of the microencapsulation of camu-camu (*Myrciaria dubai*) juice. **Journal of Microencapsulation**, v.20, n.4, p.443-448, 2003.

DOWNTON, G. E.; FLORES-LUNA, J. L.; KING, C. J. Mechanism of stickiness in hygroscopic amorphous powders. **Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals**. v. 21, n.4, p.447-451, 1982.

DZIEZAK, J. D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Technology**, v.42, n.4, p.136-151, 1988.

ELNAGGAR, Y. S. R.; EL-MASSIK, A. M.; ABDALLAH O. Y.; EBIAN, A. E. R. Maltodextrin: a novel excipient used in sugar-based orally disintegrating tablets and phase transition process. **AAPS PharmSciTech**, v.11, p.645-651, 2010.

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

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. 2ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

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

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Estudo da secagem da casca do maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, n.1, p.15-28, 2010.

FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. G. de O. C.; MAIA, M. C. A. Efeito da temperatura e taxa de cisalhamento nas propriedades de escoamento da polpa de cupuaçu (*T. grandiflorum* Schum.) integral. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.2, p.385-389, 2008.

FIETZ, V. R.; SALGADO, J. M. Efeito da pectina e da celulose nos níveis séricos de colesterol e triglicérides em ratos hiperlipidêmicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p.318-321, 1999.

FILKOVÁ, I.; MUJUMDAR; A. S. Industrial spray drying systems. In: Mujundar AS. **Handbook of Industrial Drying**. Nova York: Dekker, 1987.

FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2004.

FITZPATRICK, J. J. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 435-444, 2004.

FORNY, L.; MARABI, A.; PALZER, S. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. **Powder Technology**, v. 206, n.1-2, p.72-78, 2011.

FRANCO, M. R. B.; SHIBAMOTO, T. Volatile composition of some Brazilian Fruits: Umbu-caja (*Spondiascitherea*), Camu-camu (*Myrciariadúbia*), Araça-boi (*Eugenia stipitata*), and Cupuaçu (*Theobromagrandiflorum*). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.48, n.4, p.1263-1265, 2000.

FREIRE JR, M.; SOUZA, A. L. R.; CABRAL, L. M. C.; SOARES, A. G.; SOARES, C. M. Irradiação de Polpa de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **EMBRAPA: Comunicado Técnico**, 163. ISSN 0103-5231, Rio de Janeiro, 2010.

FREIRE, M. T. A.; PETRUS, R. R.; FREIRE, C. M. A.; OLIVEIRA, C. A. F.; FELIPE, A. M. P. F.; GATTI, J. B. Caracterização físico-química, microbiológica e sensorial de polpa de cupuaçu congelada (*Theobroma grandiflorum* Schum). **Brazilian Journal of Food and Technology**, v. 12, n.1, p. 09-16, 2009.

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

GONDIM, T. M. de S. **Aspectos da produção do cupuaçu**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001.

GOUBET, I.; LE QUERE, J. L.; VOILLEY, A. Retention of aroma compounds by carbohydrates: influence of their physicochemical characteristics and of their physical state. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 5, p.1981-1990, 1998.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. **Drying Technology: An International Journal**, v. 26, p.726-737, 2008.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.11, n.2, p. 342-351, 2010.

GREENSMITH, M. **Practical dehydration**. 2 ed. Woodhead publishing, Cambridge, 1998.

HALSEY, G. Physical desorption on non-uniform surfaces. **Journal of Chemistry and Physics**, v. 16, n.10, p.931-937, 1948.

HARBORNE, J. B.; WILLIAMS, C. A. Advances in flavonoid research since 1992. **Phytochemistry**, v.55, n.6, p.481-504, 2000.

HELDMAN, D. R., LUND, D. B. **Handbook of Food Engineering**. New York: Marcel Dekker, 1992.

HELDMAN, D. R.; HARTEL, R. W. **Principles of Food Processing**. New York: Chapman and Hall, 2000.

HENDERSON, S. M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural Engineering**, v. 33, n. 1, p.29-32, 1952.

HERNANDEZ, M. S., GARCIA, J. A. B., **Manejo poscosecha e transformacion de frutales ativos promisorio en la Amazonia colombiana**. Bogotá: Instituto amazônico de investigaciones científicas, 2000.

HOMMA, A. K. O. Ciência e tecnologia para o desenvolvimento rural da Amazônia. **Parcerias Estratégicas**, v. 17, n. 34, p. 107-130, 2012.

IGUAL, M.; RAMIRE, S.; MOSQUERAC, L. H.; MARTÍNEZ NAVARRETEA, N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. **Powder Technology**, v. 256, p. 233-238, 2014.

IUPAC. INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. Reporting physisorption data for gas/solid systems. **Pure and Applied Chemistry**, v.57, n.4, p.603-619, 1985.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p.125-134, 2004.

JAYA, S.; DAS, H. Glass Transition and sticky point temperatures and stability/mobility diagram of fruit powders. **Food Bioprocess Technology**, v.2, n.1, p.89-95, 2009.

KAMINSKI, W.; KUDRA, T. Equilibrium moisture relations for food and biomaterials. In: **Drying Technology in Agriculture and Food Sciences**. Enfield (NH) USA: Ed. Arum S. Mujumdar, Science Publishers, 2000.

KENNEDY, J. F.; KNILL, C. J.; TAYLOR, D. W. Maltodextrins. In: KEARSLEY, M. W.; DZIEDZIC, S. Z. (Eds.). **Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives**. London: Blackie Academic and Professional, 1995.

KENYON, M. M.; ANDERSON, R. J. Maltodextrins and low-dextrose equivalence with syrup solids. In: RISCH S.J.; REINECCIUS, G.A. **Flavor encapsulation**. ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, DC, 1988.

KHA, 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, n.3, p.385-392, 2010.

KING, C. J.; KIECKBUSCH, T. G.; GREENWALD, C. G. Food quality factors in spray drying. **Advantages in Drying**, v.3, p.71-120. 1984.

KRISHNAN, S.; BHOSALE, R.; SINGHAL, R. S. Microencapsulation of cardamom oleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. **Carbohydrate Polymers**, v. 61, n. 1, p.95-102, 2005.

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

LABUZA, T. P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**, v. 22, n.3, p.263-272, 1968.

LABUZA, T.P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. **Food Technology**, v.34, p.36-59, 1980.

LANG, K. W.; STEINBERG, M. P. Linearization of the water sorption isotherm for homogeneous ingredients over a_w 0,30-0,95. **Journal of Food Science**, v. 46, p.1450-1452, 1981.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations part I: Fruit, vegetable and meat products. **LWT – Food Science and Technology**, v. 18, n. 2, p.111-117, 1985.

MAROULIS, Z. B.; TSAMI, E.; ARINOS-KOURIS, D.; SARAVACOS, G. D. Application of the GAB model to the sorption isotherms for dried fruits. **Journal of Food Engineering**, v. 7, n.1, p. 63-78, 1988.

MARTIM, S. R.; NETO, J. C.; OLIVEIRA, I. M. de A. Características físico-químicas e atividade da peroxidase e polifenoloxidase em genótipos de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Willd ex-Spreng Schum) submetidos ao congelamento. **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5 , p.2265-2276, 2013.

MASTERS, K. **Spray Drying Handbook**. 4ed. Londres: George Godwin, 1985.

MATOS, C. B.; SOUZA, C. N.; FARIA, J. C.; OLIVEIRA, S. J. R.; SANTOS, L. P.; SACRAMENTO, C. K. Características físicas e físico-químicas de cupuaçus de diferentes formatos. **Revista de Ciências Agrárias**, n.50, p.35-45, 2008.

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, n.3, p.565-573, 2005.

MEDEIROS, M. L.; AYROSA, A. M. I. B.; PITOMBO, R. N. de M.; LANNES, S. C. da S. Sorption isotherms of cocoa and cupuassu products. **Journal of Food Engineering**, v.73, p.402-406, 2006.

MINOLTA. **Precise color communications**. Color Control from Feeling to Instrumentation. Osaka, Japan: 1994.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

MOREIRA, G. E. G; COSTA, M. G. M.; SOUZA, A. C. R. de; BRITO, E. S. de; Medeiros, M. de F. D. de. AZEREDO, H. M. C de. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. **LWT – Food Science and Technology**, v.42, n.2 , p.641-645, 2009.

MUJUMDAR, A; S. **Handbook of Industrial Drying**. 2ed. MUJUMDAR, A; S. **Handbook of Industrial Drying**. 2ed. New York: Marcel Dekker, Inc., 1995.

MULET, A.; GARCIA-REVERTER, J.; SANJUÁN, R.; BON, J. Sorption isosteric heat determination by thermal analysis and sorption isotherms. **Journal of Food Science**, v. 64, n.1, p. 64-68, 1999.

MÜLLER, C. H.; FIGUEIREDO, F. J. C.; NASCIMENTO, W. M. O. do.; GALVÃO, E. U. P.; STEIN, R. L. B.; SILVA, A. de B.; RODRIGUES, J. E. L. F.; CARVALHO, J. E. U. de.; NUNES, A. M. L.; NAZARÉ, R. F. R. de.; BARBOSA, W. C. **A cultura do cupuaçu**. Brasília: Embrapa-SPI, 1995.

MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. **Powder Technology**, v.279, p.179-184, 2015.

MUZAFFAR, K; DINKARRAO, B. V.; KUMAR, P. Optimization of spray drying conditions for production of quality pomegranate juice powder. **Cogent Food and Agriculture**, v.2, p. 1-9, 2016.

NIJDAM, J. J.; LANGRISH, T. A. J. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v.77, n.4, p.919-925, 2006.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. de. Análise de sazonalidade de preços de varejo de açaí, cupuaçu e bacaba no estado do Pará. **Revista de Estudos Sociais - Ano 11**, v. 1, n. 21, p.7-22, 2009.

OLIVEIRA, J. A. R. de; CARVALHO, A. V.; MOREIRA, D. K. T; MARTINS, L. H. da S. Elaboração e caracterização de estruturado obtido de polpa concentrada de cupuaçu. **Revista Ciências Agrárias**, v.53, n.2, p.164-170, 2010.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 16, n. 4, p.310-318, 2013.

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

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos: Vol.1 – Componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

OSWIN, C. R. The kinetics of package life. III isotherm. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 65, n. 12, p.419-421, 1946.

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

PARDI, M. C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne: Vol. 1. 2ed.** Goiânia: Editora UFG, 1995.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. de; PARK, K. J. B. **Conceitos de processos e equipamentos de secagem**. Campinas: UNICAMP, 2007.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em Fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PATIL, V.; CHAUHAN, A. K.; SINGH, R. P. Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. **Powder Technology**, v.253, p.230-236, 2014.

PEIGHAMBARDOUST, S. H.; TAFTI, A. G.; HESARI, J. Application of spray drying for preservation of lactic acid starter cultures: a review. **Trends in food science & technology**. v. 22, n.5, p.215-224, 2011.

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**, v. 16, p. 21-37, 1993.

PENA, R. da S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemático bi e tripamétricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.08-11, 2000.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1997.

PHOUNGCHANDANG, S.; SERTWASANA, A. Spray-drying of ginger juice and physicochemical properties of ginger powders. **Science Asia**, v.36, p.40-45, 2010.

PORTE, A.; REZENDE, C. M.; ANTUNES, O. A. C.; MAIA, L. H. Redução de aminoácidos em polpas de bacuri (*Platonia insignis Mart*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Willd. Spreng Schum) e murici (*Byrsonima crassifolia L.*) processado (aquecido e alcalinizado). **Acta Amazônia**. v.40, n.3, p.573-578, 2010.

PUGLIESE, A. G.; TOMAS-BARBERAN, F. A.; TRUCHADO, P.; GENOVESE, M. I. Flavonoids, proanthocyanidins, vitamin C, and antioxidant activity of *Theobroma*

grandiflorum (Cupuassu) pulp and seeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, n. 11, p.2720-2728, 2013.

QI, Z. H.; XU, A. Starch-based ingredients for flavor encapsulation. **Cereal Foods World**, v.44, p.460-465, 1999.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray dried watermelon powder. **Chemical Engineering and Processing**. v.46, n.5, p.386-392, 2007.

RANKELL, A. S.; LIEBERMAN, HÁ; SCHIFFMAN, R. F. Secagem. In: Lachman L, Lieberman HA, Kanig JL. **Teoria e prática na indústria farmacêutica**, v. 1. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 2001.

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

REINECCIUS, G. A. Carbohydrates for flavor encapsulation. **Food Technology**, v. 45, n. 1, p.144-146, 1991.

ROCHA, E. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J. P. da; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. da. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. UAEA/UFCG, v.18, n.6, p.646-651, 2014.

ROCKLAND, L. B. A new treatment of hygroscopic equilibria: application to Walnuts (*Juglansregia*) and other foods. **Food Research**, v. 22, n.6, p.604-628, 1957.

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, G. R.; GONZLEZ-GARCA, R.; GRAJALESLAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M. A.; ABUD-ARCHILA, M. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. **Drying Technology: An International Journal**, v.23, n.4, p.955-973, 2005.

ROGEZ, H.; BUXANT, R.; MIGNOLET, E.; SOUZA, J. N. S; SILVA, E. M.; LARONDELLE, Y. Chemical composition of the pulp of three typical Amazonian fruits: araçá-boi (*Eugenia stipitata*), bacuri (*Platonia insignis*) and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **European Food Research and Technology**, v. 218, n. 4, p.380-384, 2004.

ROOS, Y.; KAREL, M. Amorphous state and delayed ice formation in sucrose solutions. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 26, n. 6, p.553-566, 1991.

ROOS, Y. H. Glass transition-related physicochemical changes in foods. **Food Technology**, v.49, n.10, p.97-102, 1995.

ROSENBERG, M.; KOPELMN, I.; TALMON, Y. A scanning electron microscopy study of microencapsulation. **Journal of Food Science**, v.50, n.1, p.139-144, 1985.

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

SALWIN, H. Defining minimum moisture contents for dehydrated foods. **Food Technology**, v. 13, n. 10, p. 594-585, 1959.

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

SANTANA, A. A.; KUROZAWA, L. E., OLIVEIRA, R. A. de; PARK, K. J. Spray drying of pequi pulp: process performance and physicochemical and nutritional properties of the powdered pulp. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.59, 2016.

SANTHALAKSHMY, S.; BOSCO, S. J. D.; FRANCIS, S.; SABEENA, M. Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. **Powder Technology**, v.274, p.37-43, 2015.

SANTOS, G. M.; MAIA, G. A; SOUSA, P. H. M.; FIGUEIREDO, R. W.; COSTA, J. M. A.; FONSECA, A. V. V. Atividade antioxidante e correlações com componentes bioativos de produtos comerciais de cupuaçu. **Revista Ciência Rural**, v.40, n.7, p.1636-1642, 2010.

SAHARI, M. A.; MOHSEN, B. F.; ZOHREH, H. E. Effect of low temperature on the ascorbic acid content and quality characteristics of frozen strawberry. **Journal of Food Chemistry**, v.86, n.3, p.357-363, 2004.

SARAWADE, P. B.;KIM, J.; HILONGA, A.; QUANG, D.V.; KIM, H.T. Effect of drying technique on the physicochemical properties of sodium silicate-based mesoporous precipitated sílica. **Applied Surface Science**, v.258. n.2, p.955-961, 2011.

SCOTT, W. J. Water relation of food spoilage microorganisms. **Advances in food research**, v.7, p. 83-127, 1957.

SAGRI - SECRETARIA de ESTADO de AGRICULTURA. Belém-PA, 2011. Disponível em:http://www.sagri.pa.gov.br/files/pdfs/SEB_Cartilha_Frutal_18x21cm_OUT11_FINAL.pdf f. Acesso em:17/12/2015.

SHAHIDI, F.; HAN, X.D. Encapsulation of food ingredients. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.33, n.6, p.501-547, 1993.

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

SILVA, J. de A.; MACIEL, M. I. S.; MOURA, N. P. de; JÚNIOR, M. da S, MELO, J. V. de; AZOUBEL, P. M.; MELO, E. de A. Influência das condições de processo na secagem por atomização polpa de umbu. **Journal of Bioprocessing & Biotechnology**, v. 4, n.4, p.1-9, 2014.

SILVA, R. N. G.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FEITOSA, R. M. Isotermas de adsorção de umidade do umbu-cajá em pó. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.30, n.1, p.33-36, 2015.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p.144-158, 1965.

SOARES, L. A. L. **Obtenção de comprimidos contendo alto teor de produto seco por aspersão de *Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek – Celastraceae. Desenvolvimento**

tecnológico de produtos intermediários e final. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas. UFRGS, Porto Alegre, 2002.

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, n.1, p.287-293, 2012.

SOUSA, B.; VIEIRA, L. M.; SILVA, M. DE J. M. DA; LIMA, A. de. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p.554-559, 2011.

SOUZA, A. das G. C. de. SILVA, S. E. L. da; TAVARES, A. M.; RODRIGUES, M. do R. L. **A cultura do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.)**. Embrapa Amazônia Ocidental. Circular Técnica, 2. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999.

SOUZA, A. das G. C. Recursos genéticos e melhoramento do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum.). In: WORKSHOP SOBRE AS CULTURAS DE CUPUAÇU E PUPUNHA. Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 6. Manaus, AM. **Anais**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, v.1, 1996.

SOUZA, A. G. C. de; SOUZA, M. G.; PAMPLONA, A. M. S. R.; WOLFF, A. C. S. **Boas práticas na colheita e pós-colheita do cupuaçu**. Embrapa: Curricular Técnico, Manaus - Amazonas, 2011.

STATISTICA for Windows 7. **Computer programa manual**. Tulsa: StatSoft, Inc., 2000.

TACO - **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. NEPA-UNICAMP. 4ed. revisada e ampliada. Campinas: São Paulo, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004.

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

THEVENET, F. Acacia Gums. Stabilizers for flavor encapsulation. Chapter 5 in Flavor Encapsulation, ACS Symposium Series 370, Risch S.J.; Reineccius, G.A. eds, **American Chemical Society**, DC, USA, 1988.

TONELI, J. T. de C. L.; PARK, K. J.; MURR, F. E. X.; NEGREIRO, A. A. Efeito da umidade sobre a microestrutura da inulina em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.1, p. 122-131, 2008.

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GILBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGUER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n.3-4, p.215-221, 2009a.

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

TONON, R. V; BRABET, C; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n. 2, p.444-450, 2009b.

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

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

TROLLER, J. A. Water activity and food quality. In: HARDMAN, T. M. (Ed.). **Water and food quality**. London, GB: Elsevier Applied Science, 1989.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J. **Food Dehydration: Vol. 1 – Principles**. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, Inc., 1963.

VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidante capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**, v.111, p.816-823, 2008.

VASCONCELOS, M. A. da S.; MELO FILHO, A. B. de. Conservação de Alimentos. **Programa Escola Técnica Aberta do Brasil (e-Tec Brasil)**. Recife: EDUFRPE, 2010.

VENTURIERI, G. A.; AGUIAR, J. P. L. Composição do chocolate de amêndoas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **Acta Amazônica**, v. 18 n.1-2, p.3-8, 1988.

VISSOTTO, L. C.; RODRIGUES, E.; CHISTÉ, R. C.; BENASSI, M. de T.; ERCADANTE, A. Z. Correlation, by multivariate statistical analysis, between the scavenging capacity against reactive oxygen species and the bioactive compounds from frozen fruit pulps. **Ciência Tecnologia Alimentos**, v.33, p.57-65, Campinas, 2013.

WAGNER, L. A.; WARTHESEN, J. J. Stability of spray dried encapsulated carrot carotenes. **Journal of Food Science**, v.60, n.5, p.1048-1053, 1995.

WELTI, J. ; VERGARA, F. Atividade de água / Conceito y aplicación em alimentos com alto contenido de humedad. In: AGUILERA, J. M. **Temas em Tecnologia de Alimentos**. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile, 1997.

WHITE, G. W.; CAKEBREAD, S. H. The glassy state in certain sugar containing food products. **Journal of Food Technology**, v.1, n.6, p.73-82, 1966.

WOLF, W.; SPIESS, W.; JUNG. G. **Sorption isotherms and water activity of food material**. 1ed. London: Elsevier Science Publishing Co, 1985.

ZHANG, X. W.; LIU, X; GU, D. X.; ZHOU, W.; WANG, R. L.; LIU, P. Desorption isotherms of some vegetables. **Journal of Science and Agriculture**, v. 70, n.3, p.303-306, 1996.