



LUIZ GABRIEL PEREIRA MARTIN

**ESTUDO DA SECAGEM DA POLPA DE CUPUAÇU
POR ATOMIZAÇÃO**

CAMPINAS

2013



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

LUIZ GABRIEL PEREIRA MARTIN

**ESTUDO DA SECAGEM DA POLPA DE CUPUAÇU
POR ATOMIZAÇÃO**

Orientador: Prof. Dr. Rafael Augustus de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Tecnologia Pós-colheita.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO
DO ALUNO LUIZ GABRIEL PEREIRA MARTIN
E ORIENTADO PELO PROF.DR. RAFAEL AUGUSTUS DE OLIVEIRA

Assinatura do Orientador

A handwritten signature in blue ink, reading "Rafael Augusto", is written over a horizontal line.

CAMPINAS

2013

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M363e Martin, Luiz Gabriel Pereira, 1986-
Estudo da secagem de polpa de cupuaçu por atomização / Luiz Gabriel Pereira Martin. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Rafael Augustus de Oliveira.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Secagem em spray. 2. Vitamina C. 3. Propriedades físico-químicas. 4. Maltodextrina. 5. Cupuaçu - Processamento. I. Oliveira, Rafael Augustus de, 1979-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em inglês: Study of spray drying of cupuassu pulp

Palavras-chave em inglês:

Spray drying

Vitamin C

Physicochemical properties

Maltodextrin

Cupuaçu processing

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Rafael Augustus de Oliveira [Orientador]

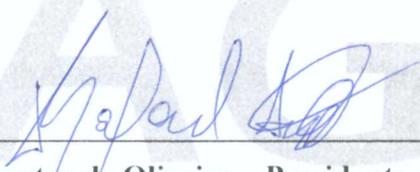
Juliana Tofano de Campos Leite Toneli

Flávio Luís Schmidt

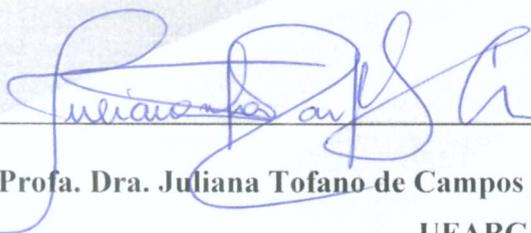
Data de defesa: 22-02-2013

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Luiz Gabriel Pereira Martin**, aprovada pela Comissão Julgadora em 22 de fevereiro de 2013, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



**Prof. Dr. Rafael Augustus de Oliveira – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp**



**Profa. Dra. Juliana Tofano de Campos Leite Toneli - Membro Titular
UFABC**



**Prof. Dr. Flávio Luís Schmidt – Membro Titular
FEA/Unicamp**

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Mauro Gabriel Martin e Nair Pereira Martin,
pelo amor, incentivo e dedicação .*

”A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.
(Albert Einstein)

“A persistência é o menor caminho do êxito”.
(Charles Chaplin)

“Só um sentido de invenção e uma necessidade intensa de criar levam o homem a revoltar-se e a descobrir-se com lucidez”.
(Pablo Picasso)

“Não importa aonde você parou...
Em que momento da vida você cansou...
O que importa é que sempre é possível e necessário "Recomeçar".
Recomeçar é dar uma chance a si mesmo...
É renovar as esperanças na vida e o mais importante...
Acreditar em você de novo.
Sofreu muito nesse período?
Foi aprendido...
Chorou muito?
Foi limpeza da alma...
Ficou com raiva das pessoas?
Foi para perdoá-las um dia...
Sentiu-se só por diversas vezes?
É porque você fechou as portas até para os anjos...
Acreditou que tudo estava perdido?
Era o início da sua melhora...
Pois é...
Agora é hora de reiniciar...
De pensar na luz...
De encontrar prazer nas coisas mais simples de novo...”
(Carlos Drummond de Andrade)

"Posso todas as coisas em Cristo
que me fortalece."
Filipenses, 4:13

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser meu melhor amigo, por me fazer companhia mesmo quando estão saindo faíscas da minha cabeça, meu humor não é dos melhores e estou confuso, por me ouvir, acalmar, fortalecer, direcionar, encorajar, me alcançar com Sua graça, misericórdia e amor e por me cingir com uma armadura inabalável de confiança e fé para a luta de cada dia.

À minha família, minha maior dádiva, pela força, auxílio: financeiro, psicológico, espiritual, pela compreensão na distância, por estarem do meu lado sempre.

Ao meu pai por me ensinar a amar pessoas e não coisas, por me apresentar Jesus Cristo, por ser exemplo de grande coração e por todo incentivo durante toda minha vida.

A minha mãe por sonhar meus sonhos, pelo amor e pela dedicação durante todos esses anos, algumas vezes abdicando de sua felicidade em função da minha, guerreira, sábia, edificadora.

A meus três irmãos: João Paulo, Eduardo e Mateus, engenheiros dedicados e virtuosos por ser exemplo de perseverança na adversidade e por serem as grandes testemunhas da minha peregrinação nesse mundo, sem vocês para compartilhar as conquistas ou me esperarem do outro lado do rio pra me ajudar a me recompor não teria graça nem lutar nem vencer.

As minhas cunhadas Miriam e Fernanda por serem as irmãs que não tive, por ajudarem a unir a família, e cuidarem dos meus irmãos com carinho e acima de tudo por me presentear com uma das maiores alegrias da minha vida meus sobrinhos Giovana e bebê a bordo que já é amado e coberto de orações.

A minha namorada, companheira, confiante, acalentadora e linda ajudadora pelo apoio, torcida e por, mesmo sem entender todas as dificuldades do desenvolvimento de um trabalho científico, se alegrar com as minhas conquistas e se preocupar com as minhas angústias.

À Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) – UNICAMP, pela oportunidade e pela estrutura oferecida para a realização deste trabalho.

A CAPES, pela bolsa de mestrado.

Ao Prof. Dr. Rafael Augustus de Oliveira, pela orientação, paciência, compreensão, preocupação e pela amizade construída. Obrigado por estar sempre disposto a me ouvir e me aconselhar, e pela confiança que sempre demonstrou em mim e no meu trabalho, algumas vezes quando eu mesmo não acreditava. A você, Rafael, toda a minha gratidão e carinho.

À Dr.^a. Audirene Amorim Santana, por todo o apoio, incentivo e assistência antes, durante e após a realização do mestrado.

A todos os membros da banca examinadora, pelas valiosas sugestões e correções, que muito contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

Aos professores da FEAGRI e FEA, pela convivência e aprendizado.

A CABRUCA pela disponibilização dos frutos e atenção na transação. A DeMarchi Com. Ltda pela doação das polpas. A Corn Products pelo fornecimento de agente carreador.

Às técnicas Rosália, Rosa e Fran (Pós colheita-Secagem/FEAGRI), Kelly, Lucélia e Rafaela (LRAC/FEQ), Alessandra (Cereais/FEA), Celso (DEPro/FEQ) e a Rosemar (DCA/FEA), pela ajuda todas as vezes em que precisei, tanto na realização de análises como na utilização de equipamentos.

Aos alunos de iniciação científica que tive a oportunidade de co-orientar: Maria, Felipe e Gustavo.

A todo o pessoal do laboratório (Arthur, Rodolfo, Miguel, Vânia, Carol, Denise, Glenda, Eveline, Mara, Rívia, Allan, Auro, Rojane, Stella, Juliana, Wesley...) pela agradável convivência, pelas risadas e por todas as besteiras faladas durante esses 2 anos.

Aos amigos da FEA das matérias de pós que são vários (Leilane, Raquel, Júlio, Vanessa, Laís, Marcio, Leandra, Carolyne, Aninha, Silvana, Simone, Celeste, André, Danille, ...), por, apesar da distância, estarem sempre presentes de alguma forma, se alegrando com minhas conquistas, me ajudando a levantar nos tropeços e torcendo para o meu sucesso.

Aos amigos da IEQ - Barão Geraldo pela companhia, auxílio e intercessão.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho...

MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) tipicamente amazônico apresenta polpa ácida (com bastante vitamina C), sabor agradável e de aroma característico. Sua característica exótica vem conquistando cada vez mais adeptos, tendo grande potencial comercial e merecendo a atenção da comunidade científica. A secagem da polpa de cupuaçu por atomização é uma excelente alternativa para conservar e garantir o comércio do fruto em períodos de entressafra. O objetivo deste trabalho é a avaliação da secagem de polpas de cupuaçu comercial e *in natura* por meio do processo de secagem por atomização, utilizando como agente carreador a maltodextrina 10DE. Inicialmente, foram determinadas as composições centesimais das matérias-primas. Testes preliminares foram realizados para definir a faixa de valores dos parâmetros operacionais utilizados no processo de secagem. A partir disso, um planejamento experimental – delineamento composto central rotacional (DCCR) avaliou a influência das variáveis independentes temperatura de entrada do ar no secador (variando de 90 à 160°C) e a concentração de maltodextrina (variando de 5 a 30%) nas respostas rendimento de secagem, teor de água, higroscopicidade, atividade de água, vitamina C, pH, açúcares redutores, açúcares totais e cor para ambos os tipos de polpa. Por meio da metodologia de superfície de resposta, foram obtidas as condições otimizadas do processo (temperatura de secagem de 155°C e 28,2% de maltodextrina) iguais para ambas às polpas. Com isso foi feita a validação dos modelos matemáticos. As partículas obtidas nas condições ótimas foram avaliadas quanto à densidade aparente, densidade absoluta, porosidade, distribuição do tamanho de partícula e microscopia eletrônica de varredura. Os modelos das respostas: teor de água, higroscopicidade, vitamina C, açúcares redutores, açúcares totais e cor, da polpa de cupuaçu comercial foram significativos com coeficiente de determinação R^2 de 71,57%, 92,18%, 85,11%, 93,76%, 93,76% e 81%, respectivamente. Para a polpa de cupuaçu *in natura* foram significativos os modelos das respostas: teor de água, higroscopicidade, rendimento, atividade de água, vitamina C, pH, açúcares redutores, com R^2 de 93,83%, 94,23%, 71,33%, 83,99%, 82,27%, 73,66% e 76,44%, respectivamente. As partículas da polpa *in natura* tiveram densidade menor resultando em uma maior porosidade comparando com a polpa comercial, com diâmetro médio de 9,1 e 8,96 μm , respectivamente. A morfologia da partícula resultante da amostra *in natura* apresentou-se com menos aglomerações e com superfícies mais lisas em comparação com a amostra comercial. As partículas produzidas de polpa de cupuaçu *in natura* foram as que apresentaram maior preservação dos teores de vitamina C e melhor estrutura na encapsulação.

Palavras-chave: *Spray drying*, vitamina C, propriedades físico-químicas, maltodextrina, pó.

ABSTRACT

Cupuassu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) is a typically Amazonian fruit which presents acidic pulp (with enough Vitamin C), pleasant taste and distinctive aroma. Its exotic characteristic is gaining more and more followers, with great commercial potential and deserving the attention of scientific community. Cupuassu pulp spray drying is a great alternative to support and ensure the fruit trade in off-season periods. The objective of this research work is the evaluation of commercial and fresh cupuassu pulp drying by spray drying process, using as maltodextrin 10DE encapsulating agent. Initially, raw materials compositions were analyzed. Preliminary tests were performed in order to set the range of operational parameters which were used in experimental runs. Then, an experimental design - central composite rotational design (CCRD) – was performed to evaluate the influence of independent variables inlet air temperature (ranging from 90 to 160 °C) and maltodextrin concentration (range 5-30%) on the responses drying yield, moisture content, hygroscopicity, water activity, vitamin C, pH, reducing sugars, total sugars and color for both kind of cupuassu pulp. By response surface methodology, we obtained the optimized process conditions (drying temperature of 155 °C and 28.2% maltodextrin) which are the same for the both pulps. After that, the mathematical models were validated. The particles obtained in optimum conditions were evaluated for bulk density, absolute density, porosity, particle size distribution and scanning electron microscopy. For commercial cupuassu pulp, the models of the responses moisture content, hygroscopicity, vitamin C, reducing sugars, total sugars and color were significant with determination coefficient R^2 of 71.57%, 92.18%, 85.11%, 93, 76%, 93.76% and 81%, respectively. For fresh cupuassu pulp, the models of responses moisture content, hygroscopicity, yield, water activity, vitamin C, pH, reducing sugars were significant with R^2 of 93.83%, 94.23%, 71, 33%, 83.99%, 82.27%, 73.66% and 76.44%, respectively. The powder from the fresh pulp presented lower density resulting in a higher porosity in comparison with the commercial pulp powder, with a mean diameter of 9.1 and 8.96 μm , respectively. The particle morphology of the fresh pulp powder presented with fewer agglomerated particles and smoother surfaces compared to the commercial pulp powder. The particles produced from fresh cupuassu pulp showed higher preservation of vitamin C and better structure in the encapsulation.

Keywords: *Spray drying*, vitamin C, physicochemical properties, maltodextrin, powder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Cupuaçu fruto com quebra longitudinal e perpendicular da casca.	5
Figura 3.2: Cupuaçuzeiro e cupuaçu com detalhes da estrutura do fruto.....	7
Figura 3.3 - Esquema de um secador atomizador.....	14
Figura 3.4: Diagrama esquemático do atomizador.....	15
Figura 4.1: Mini <i>spray dryer</i> utilizado nos ensaios de secagem de atomização.	19
Figura 4.2: Diagrama de fluxo do processamento do extrato da polpa de cupuaçu (onde T é temperatura).....	21
Figura 5.1: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta teor de água (%) da polpa de cupuaçu comercial.	43
Figura 5.2: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta teor de água (%) da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	43
Figura 5.3: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta higroscopicidade (%) da polpa de cupuaçu comercial.	45
Figura 5.4: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta higroscopicidade (%) da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	45
Figura 5.5: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta rendimento da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	49
Figura 5.6: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta atividade de água da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	53
Figura 5.7: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta vitamina C (%) da polpa de cupuaçu comercial.	58
Figura 5.8: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta vitamina C (%) da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	58
Figura 5.9: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta pH da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	62
Figura 5.10: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta açúcares redutor da polpa de cupuaçu comercial.	68

Figura 5.11: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta açúcar redutor da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	68
Figura 5.12: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta açúcar total da polpa de cupuaçu comercial.	69
Figura 5.13: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta cor da polpa de cupuaçu comercial.	73
Figura 5.14: Distribuição do tamanho de partículas dos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).	80
Figura 5.15: Micrografias das partículas resultantes da secagem de polpa de cupuaçu comercial nos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).....	82
Figura 5.16: Micrografias das partículas resultantes da secagem de polpa de cupuaçu <i>in natura</i> nos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Testes preliminares da polpa comercial de cupuaçu utilizando maltodextrina como agente microencapsulante.....	26
Tabela 4.2: Planejamento experimental para as polpas de cupuaçu comercial e <i>in natura</i> variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}), concentração de maltodextrina (C_{MA}) e os dados de monitoramentos de cada ensaio.....	28
Tabela 5.1: Composição centesimal da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	33
Tabela 5.2: Teores de água e higroscopicidade do processo de secagem da polpa de cupuaçu <i>in natura</i> e comercial por atomizador.....	37
Tabela 5.3: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta teor de água (%) da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	38
Tabela 5.4: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	39
Tabela 5.5: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta teor de água da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	40
Tabela 5.6: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	40
Tabela 5.7: Rendimento do processo de secagem da polpa de cupuaçu <i>in natura</i> e comercial por atomizador.....	46
Tabela 5.8: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	47
Tabela 5.9: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta rendimento da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	48
Tabela 5.10: Atividade de água do processo de secagem da polpa de cupuaçu <i>in natura</i> e comercial por atomizador à 25°C.	50
Tabela 5.11: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água da polpa de cupuaçu comercial.	51

Tabela 5.12: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta atividade de água da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	52
Tabela 5.13: Vitamina C do processo de secagem da polpa de cupuaçu <i>in natura</i> e comercial por atomizador.....	54
Tabela 5.14: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta vitamina C (%) da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	55
Tabela 5.15: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta vitamina C da polpa de cupuaçu comercial.	56
Tabela 5.16: pH do processo de secagem da polpa de cupuaçu <i>in natura</i> e comercial por atomizador.	59
Tabela 5.17: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta pH da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	60
Tabela 5.18: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta pH da polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	61
Tabela 5.19: Açúcares redutores do processo de secagem da polpa de cupuaçu <i>in natura</i> e comercial por atomizador.	63
Tabela 5.20: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta açúcares redutores da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	64
Tabela 5.21: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta açúcares totais da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	64
Tabela 5.22: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta açúcares redutores da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	65
Tabela 5.23: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta açúcar total da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	66
Tabela 5.24: Cor do processo de secagem da polpa de cupuaçu <i>in natura</i> e comercial por atomizador.	70
Tabela 5.25: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta cor da polpa de cupuaçu comercial e <i>in natura</i>	71
Tabela 5.26: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta cor da polpa de cupuaçu comercial.	72

Tabela 5.27: Valores experimentais e preditos para as análises realizadas nos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).	75
Tabela 5.28: Densidade aparente, densidade absoluta e porosidade dos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).....	79
Tabela 5.29: Diâmetro médio $D[4,3]$ das partículas produzidas nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).....	80

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiv
SUMÁRIO.....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Cupuaçu	5
3.2 Secagem.....	12
3.1 Secagem por Atomização	13
3.2 Microencapsulação	16
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 Material.....	18
4.1.1 Matérias-primas	18
4.1.2 Agente encapsulante.....	19
4.1.3 Spray-dryer	19
4.2 Métodos	20
4.2.1 Processamento das polpas de cupuaçu e elaboração dos extratos de cupuaçu.....	20

4.2.2	Caracterizações físico-químicas e químicas das polpas comercial e <i>in natura</i> de cupuaçu	23
4.2.3	Ensaio de secagem no atomizador	26
4.2.4	Propriedades físico-químicas do pó	29
4.2.5	Propriedades físico-químicas do pó nas condições ótimas do processo	30
4.2.6	Análise Estatística dos dados	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	Caracterização das matérias-primas	33
5.2	Resultados dos ensaios de secagem	35
5.2.1	Teor de água e higroscopicidade dos pós de polpa de cupuaçu	36
5.2.2	Rendimento de secagem dos pós de polpa de cupuaçu	46
5.2.3	Atividade de água dos pós de polpa de cupuaçu	49
5.2.4	Vitamina C dos pós de polpa de cupuaçu	53
5.2.5	pH dos pós de polpa de cupuaçu	59
5.2.6	Açúcares Redutores e Açúcares Totais dos pós de polpa de cupuaçu	62
5.2.1	Cor dos pós de polpa de cupuaçu	70
5.3	Otimização do processo e validação dos modelos	74
5.3.1	Densidade aparente, Densidade absoluta e Porosidade	79
5.3.2	Distribuição do tamanho de partícula	79
5.3.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	81
6.	CONCLUSÕES	83
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	85
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

1. INTRODUÇÃO

O cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum.) é uma das fruteiras que se desenvolve espontaneamente nas matas da região Amazônica. O cupuaçu é apreciado por sua polpa ácida e de aroma intenso. Devido ao seu sabor forte, a polpa dos frutos não é consumida pura, mas é utilizada para fabricação de sucos, sorvetes, licores, compotas, geleias, cremes, doces, entre outros. Nas últimas três décadas, com o aumento da demanda, a exploração do cupuaçuzeiro passou de extrativista para a forma cultivada e, em consequência, ocorreu a ampliação do cultivo para outras regiões brasileiras.

Além de atender e se enquadrar no gosto popular, o cupuaçu é interessante para a indústria de alimentos por apresentar componentes bioativos, sendo muitos deles antioxidantes. Antioxidantes são compostos que atuam inibindo e/ou diminuindo os efeitos desencadeados pelos radicais livres, podendo ser definidos como compostos que protegem as células contra os efeitos danosos dos radicais livres oxigenados e nitrogenados, formados nos processos oxidativos. Os antioxidantes podem ser obtidos por meio da ingestão de alimentos, destacando-se as vitaminas E e C, os carotenoides, os compostos fenólicos, etc.

O cupuaçu desponta como um importante produto agrícola de exportação com amplas perspectivas de mercado, dadas à aceitação que desfruta entre os consumidores. Além das características intrínsecas do fruto, o consumo de produtos exóticos é outro fator que vem propiciando o interesse de outros países pelo cupuaçu.

Por outro lado, uma parte considerável da produção de cupuaçu, assim como de outras frutas e hortaliças, é perdida nos centros de produção, principalmente em climas tropicais, por não se dispor de técnicas eficientes de processamento que assegurem um tempo maior de conservação. Devido ao fato do teor de água da maioria das frutas e vegetais ser superior a 80%, estes produtos são altamente perecíveis e junto a manejos inadequados na colheita e na pós-colheita, os processos de senescência são acelerados, afetando sensivelmente a qualidade do alimento e limitando ainda mais o período de comercialização. Conseqüentemente, uma expansão na produção e consumo de alimentos processados é mandatória.

Industrialmente, isto significa o desenvolvimento de operações que minimizem os efeitos adversos do processamento. Os processos de conservação têm por objetivo evitar as alterações nos alimentos, sejam elas de origem microbiana, enzimática, física ou química.

A água, sendo o principal componente dos alimentos, tem uma direta e decisiva influência na sua qualidade e vida de prateleira através de seu efeito sobre as diversas reações físico-químicas e mudanças biológicas. Neste contexto, a técnica de secagem tem sido amplamente utilizada para a produção de frutas e hortaliças desidratadas. Entretanto, devido às características dos processos convencionais de secagem, nutrientes sensíveis ao calor, luz e oxigênio são degradados durante o processo.

Contudo, um número considerável de métodos alternativos de desidratação vem sendo objeto de pesquisas, principalmente aqueles que utilizam temperaturas mais baixas e/ou menores tempos de secagem. Entre estes, pode-se citar a secagem a vácuo, desidratação osmótica com e sem a utilização de vácuo, micro-ondas, liofilização, atomização, entre outros. Existe também uma grande quantidade de trabalhos que procuram investigar as relações existentes entre as condições de secagem e as modificações físicas e químicas do produto.

A secagem se comporta de forma diferente para cada produto biológico, pelo fato dos alimentos não possuírem a mesma composição físico-química, estrutural, ligações químicas e nutrientes.

O processo de secagem por atomização constitui em uma alternativa de conservação, resultando em produtos em pó com características estáveis, prolongando assim a vida útil do produto seco. A encapsulação cria uma barreira entre o nutriente ou princípio ativo sensível ou relevante em questão e o oxigênio, luz, ou outro tipo de ambiente/questão desfavorável à integridade do produto. É muito utilizada na área farmacêutica, em que uma série de compostos precisa ser protegida. Essa técnica ainda permite que aconteça uma liberação controlada desse núcleo ativo, devido à utilização de diferentes agentes encapsulantes com finalidade de agregar as características de barreira desejada em cada caso. A técnica facilita o manuseio, armazenagem, e transporte do produto, sendo alguns dos benefícios do processo de secagem.

A possibilidade de controle de temperatura levando-se em consideração o curto período de residência na secagem por atomização reflete em um método eficiente na secagem

de produtos sensíveis ao calor porque promove uma maior retenção dos nutrientes, sabor, cor (RÉ, 1998).

A qualidade dos pós produzidos pela secagem por atomização depende das características da solução de alimentação (vazão de entrada, viscosidade, etc.), do ar de secagem (fluxo, temperatura, pressão de ar, etc.), do contato entre o ar quente e gotas na câmara de secagem (em fluxo concorrente ou contracorrente), e do tipo de atomizador utilizado (ABBAS, *et al.*, 2012)

A secagem de alimentos ricos em açúcar, como os sucos de frutas, tem um grande potencial econômico por resultar em um produto formulado seco com reduzido volume e prolongado prazo de validade. No entanto, este tipo de produto apresenta açúcares com grandes cadeias, de alto peso molecular, e ácidos orgânicos, desencadeando um problema tecnológico de pegajosidade, viscosidade e escoabilidade do produto em pó devido à higroscopicidade, que é a capacidade de absorver água do meio que o envolve. Isto é reflexo de uma baixa temperatura de transição vítrea (T_g). Solução para esse outro problema é a utilização de agentes carreadores na secagem por atomização. A maltodextrina, por exemplo, com seu peso molecular maior, eleva a T_g , diminuindo a higroscopicidade e protegendo, assim, os componentes sensíveis dos alimentos contra condições ambientais desfavoráveis.

Levando em consideração esse aspecto, o atual trabalho tem por hipótese que a tecnologia de secagem por atomização é capaz de preservar as características físico-químicas da polpa de cupuaçu.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo principal a obtenção da polpa de cupuaçu em pó, através do processo de secagem por atomização (*spray drying*).

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Avaliar, através de um planejamento experimental, o efeito das condições de processo (temperatura do ar de entrada e concentração de maltodextrina) na secagem por atomização, para as polpas de cupuaçu comercial e *in natura*, visando definir parâmetros operacionais ótimos quanto ao rendimento do processo, teor de água, higroscopicidade, atividade de água, vitamina C, pH, açúcares redutores, açúcares totais e cor;
- ✓ Selecionar a melhor temperatura de entrada e a melhor concentração de agente carreador, visando a manutenção da vitamina C, cor, açúcares redutores, açúcares totais, pH; tanto quanto encontrar parâmetros operacionais ótimos sobre o rendimento do processo, teor de água, higroscopicidade e atividade de água.
- ✓ Determinar para o ponto ótimo, de cada polpa, os parâmetros: densidade aparente e absoluta, porosidade, distribuição do tamanho de partícula, morfologia de partículas;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cupuaçu

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) é uma árvore frutífera nativa da Amazônia brasileira (Figura 3.1), uma espécie diplóide, membro da família *Sterculiaceae* e é comumente relacionado ao cacau (*Theobroma cacao* L.). O nome cupuaçu provém da língua Tupi (*kupu* = que parece com cacau + *uasu*=grande) (GONDIM *et al.*, 2001). Este gênero, tipicamente neotropical, contém 22 espécies, e encontra-se distribuído nas florestas tropicais úmidas do hemisfério ocidental, entre as latitudes 18° Norte e 15° Sul, estendendo-se do México ao Sul da floresta Amazônica (ALVES, 2002). De todas as espécies amazônicas do gênero *Theobroma*, destacam-se: *T. cacao* L., *T. obovatum* Bern., *T. subincanum* Mart., *T. speciosum* (L.) Willd, *T. grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum, *T. bicolor* H. & B. (CUATRECASAS, 1964).



(Fonte: arquivo pessoal/ L. G. P. Martin)

Figura 3.1: Cupuaçu fruto com quebra longitudinal e perpendicular da casca.

Os grupos populacionais de cupuaçu são encontrados com uma enorme quantidade de variedades. Vriesman (2008) os classifica através de suas características morfológicas, como formato do fruto ou da ausência e presença de sementes, da seguinte forma:

- Cupuaçu redondo: fruto de extremidades arredondadas e peso médio de 1,5kg, com a casca em torno de 6 a 7 mm de espessura. Esta é a variedade mais comum da região Amazônica;

- Cupuaçu casca fina: semelhante ao redondo, porém com casca de 4 a 5 mm de espessura, com formato cilíndrico levemente anguloso nas laterais;

- Cupuaçu mamorana: chegando a pesar até 4 kg, apresentando uma casca grossa que varia de 7 a 9 mm de espessura e anguloso nas laterais;

- Cupuaçu de colares: peso levemente superior ao grupo redondo com casca que varia de 6 a 7 mm de espessura, sem angulação nas laterais, sementes médias, largo na parte próxima ao pedúnculo e estreito na posterior;

- Cupuaçu mamau: os frutos não apresentam sementes, a casca tem uma espessura que varia de 6 a 7 mm de espessura e o formato da fruta é arredondado, bastante parecido com o cupuaçu redondo. Seu peso médio é de 1,5kg.

Clement *et al.* (2010) desenvolveram pesquisa na área genética buscando as origens e domesticação da cultura do cupuaçu entre outras culturas nativas da Amazônia. Este tipo de estudo abre um caminho para o crescimento e possível adaptação do cupuaçu, o que pode contribuir à dispersão dessas árvores em outras regiões. Nas últimas três décadas, com o aumento da demanda, o cupuaçuzeiro (Figura 3.2) passou por um processo de transição do extrativismo para a forma cultivada, o que corroborou para ampliação do cultivo para outras regiões brasileiras (EMBRAPA, 1999). Entretanto, a floresta é imprescindível para o fruto do cupuaçu se desenvolver, haver eficiente polinização, floração, desenvolvimento foliar e do caule, pois a árvore necessita de uma condição de 50% de sombreamento em sistemas agroflorestais (SILVA *et al.*, 2007). Em tempos de desmatamento, a não extinção e o incentivo ao consumo do cupuaçu vem tomando corpo. Todavia, é de vital importância que a comunidade científica se atente a este cultivar, pois é notória a escassez literária sobre este ascendente fruto. Logo, torna-se necessário responder à problemática da sazonalidade e da dificuldade na aproximação entre o fruto e os consumidores.



(Fonte: Reisdorff, 2012)

Figura 3.2: Cupuaçuzeiro e cupuaçu com detalhes da estrutura do fruto.

Bueno (2002) diz que a polpa desta fruta tem grande importância como matéria-prima, podendo ser produzida nas épocas de safra, armazenadas e processadas nos períodos mais propícios ou segundo a demanda do mercado consumidor, como doces em massa, geleias, sorvetes, néctares entre outros. Entretanto, ele é altamente perecível, e isto adicionado à dificuldade no armazenamento durante os picos do processamento industrial e também à distância e dificuldade na logística dos frutos coletado, contribui para perdas pós-colheita.

Contudo, o consumidor do cupuaçu ainda é predominantemente regional, o que pode ser atribuído à ausência de estruturas que possibilitem a oferta do produto em maiores escalas nos mercados nacional e internacional. No entanto, o cupuaçu é considerado a fruta predileta da maioria dos amazonenses, apresentando excelentes características de aroma, sabor e textura, podendo adquirir grande aceitação no mercado nacional e internacional, com grande potencial econômico no que se diz à industrialização e comercialização (VRIESMAN *et al.*, 2008). Deste modo, há grande expectativa para o desenvolvimento de processos para preservação local (junto ao produtor) desta fruta entre outras (ALZAMORA *et al.*, 1992).

Bastos *et al.* (2002) mencionaram que o aumento da utilização industrial do cupuaçu é mais concentrado em Belém do Pará, onde muitas indústrias geram produtos e os comercializam na Amazônia, no Sudeste e Sul do Brasil, além de exportarem para a Europa. Os plantios de cupuaçu têm crescido em muitas áreas da Amazônia Brasileira devido ao aumento da demanda pela polpa.

As pesquisas que envolveram o cupuaçu têm se estendido do plantio à formulação de produtos industriais. Observa-se no trabalho de Venturieri *et al.*(1993) uma análise do desenvolvimento da árvore, no qual os autores indicam que o cupuaçuzeiro pode atingir 15 metros de altura e de 6 a 8 metros de diâmetro de copa.

Outro ponto notável é dado por Ribeiro (1995), o qual diz que o cupuaçuzeiro é uma espécie tricômica, ou seja, cada lançamento (ramo) se divide em três, que crescem quase em paralelo com o solo. Da axila desses galhos, surge um broto que retoma o crescimento vertical e assim por diante. As folhas, quando jovens, são de cor rósea e revestidas de pelos, atingindo em seu estágio final de 25 a 30 cm de comprimento por 10 a 15 cm de largura, adquirindo tonalidade verde-escura. As flores desenvolvem-se nos ramos mais periféricos, sendo o cupuaçuzeiro uma espécie de polinização cruzada (alógama), com possibilidades de autofecundação. A espécie possui um elevado índice de abortamento floral, pois a planta produz aproximadamente 3.500 flores, com produção média de 17,2 frutos. Entretanto, em termos de eficiência energética, a produção de aproximadamente 16,0 kg de frutos por árvore assemelha-se a outras espécies de fruteiras tropicais (FALCÃO e LERAS, 1983).

O fruto é uma baga drupácea oblonga, elipsóide ou oboval, com as extremidades obtusas ou arredondadas, que cai da árvore quando maduro, após quatro a quatro meses e meio desde a polinização (PRANCE e SILVA, 1975; CALZAVARA *et al.*, 1984; CAVALCANTI, 1991). A parte comestível tem coloração branco-amarelada, de sabor ácido e odor agradável e recobre as sementes. Estas se apresentam em número variável de 15 a 50, em média 36 por fruto, com 2,5 cm de largura e 0,9 cm de espessura (CALZAVARA *et al.*, 1984; VENTURIERI, 1993).

Os seus frutos são a parte de maior interesse, com a extração e beneficiamento da polpa e das sementes pelas indústrias alimentícias e de cosméticos, em virtude de suas propriedades sensoriais e químicas (NAZARÉ *et al.*, 1990). Na industrialização do cupuaçu, a polpa é a parte mais consumida contribuindo com aproximadamente 40% da utilização do fruto. Os outros 60% restantes são constituídos pela casca do fruto (40%) e pelas sementes (20%) (SEBRAE/AM, 1999).

As sementes servem para a fabricação do “cupulate”, produto com características nutritivas similares às do chocolate; enquanto que a gordura é utilizada na indústria de cosméticos, alimentos e farmacêutica. Para cada 100 kg de sementes frescas, são obtidos 45,5 kg de sementes secas, 42,8 kg de sementes torradas e 31,2 kg de amêndoas sem casca. Destas,

pode-se obter 13,5 kg de manteiga de cupuaçu (NAZARÉ *et al.*, 1990). O cupulate tem características nutricionais e sensoriais muito próximas às do chocolate (OLIVEIRA *et al.*, 2004). Cruz (2007) aplicou secagem por ar forçado em sementes de cupuaçu e níveis de até 37,8% de teor de água não reduziram a germinação e na faixa de 16,1% de teor de água, demandou mais dias pra germiná-las.

O cupuaçu, com sua polpa branca-amarelada, apresenta sabor ácido agradável e uma forte fragrância característica devido à presença de substâncias voláteis responsáveis pelo aroma, tais como linalol, um terpinol-, 2-fenil-etanol, mirceno e limoneno, dióis e metoxi-2, 5-dimetil-3(2H)-furanona, (ROGEZ *et al.*, 2004).

Outro componente importante do cupuaçu é sua fração pécica, o qual vários estudos mostraram ser ótimo composto com aplicações nas áreas farmacêutica, cosmética e de alimentos, formando géis com grande potencialidade de uso (VRIESMANN *et al.*, 2009; VRIESMANN *et al.*, 2010).

Além de ser utilizada em mistura com outros resíduos da agroindústria de frutas como adubo orgânico, a casca do fruto do cupuaçu apresenta razoáveis teores de potássio, ferro, manganês e outros nutrientes (CARVALHO *et al.*, 2004). Cardoso *et al.* (2010) explanaram a utilização da casca de cupuaçu como eficaz biossorvente de corantes em solução aquosa na área de indústrias têxtil. Outra aplicação da casca, já na área de alimentos, é a utilização da farinha de casca de cupuaçu em porcentagem de 6 a 9% juntamente com a farinha de trigo na formulação de pães integrais. A farinha de casca apresenta 79,81% de fibras alimentares sendo 78,29% fibras insolúveis, caracterizando-a como um potencial enriquecedor de fibras alimentares e fitoquímicos (SALGADO *et al.*, 2011).

O cupuaçu como alimento funcional

Existe grande diversidade de produtos derivados de frutos e constante inserção de novos produtos no mercado de consumo, os quais, na maioria das vezes, ainda não foram devidamente pesquisados com respeito às suas propriedades e atividades benéficas à saúde. A polpa de cupuaçu e os produtos derivados, ao longo dos últimos anos, têm despertado interesse científico devido a seus compostos bioativos (SANTOS *et al.*, 2010; PORTE *et al.* 2010; KUSKOSKI *et al.*, 2006; SOUSA *et al.*, 2011). O cupuaçu é um alimento funcional devido

aos teores de vitamina C, carotenoides, capacidade antioxidante e compostos fenólicos (SANTOS *et al.*, 2010).

Os frutos contêm, além dos nutrientes essenciais e de micronutrientes como minerais, fibras e vitaminas, diversos compostos secundários de natureza fenólica, denominados polifenóis (HARBONE e WILLIAMS, 2000). O interesse da indústria de alimentos para comercialização é, além de atender aos padrões exigidos pela legislação vigente, que estes possuam propriedades que melhorem a sua funcionalidade, assim como o aumento nos componentes bioativos, sendo muito deles antioxidantes. Antioxidantes são compostos que atuam inibindo e/ou diminuindo os efeitos desencadeados pelos radicais livres (SOARES *et al.*, 2005), podendo ser definidos como compostos que protegem as células contra os efeitos danosos dos radicais livres oxigenados e nitrogenados, formados nos processos oxidativos. Os radicais livres em excesso geram um desequilíbrio, dando início ao estresse oxidativo, processo metabólico responsável pelo desencadeamento de diversos tipos de doenças crônico-degenerativas.

Santos *et al.* (2010) avaliaram marcas comerciais de polpa de cupuaçu comerciais, correlacionando a atividade antioxidante aos níveis de compostos bioativos encontrados e mostrou que as polpas de cupuaçu das marcas avaliadas estavam em desacordo com a legislação em pelo menos um dos parâmetros de qualidade (pH, acidez, açúcares totais e vitamina C). Entretanto, todas as marcas avaliadas apresentaram diferenças significativas quanto aos teores de vitamina C, carotenoides e capacidade antioxidante. Os valores de carotenoides e a atividade antioxidante para os produtos de cupuaçu foram baixos quando comparados com o de outras frutas. A capacidade antioxidante das polpas foi correlacionada com o teor de fenólicos totais; porém, a vitamina C e os carotenoides pouco contribuíram para a capacidade sequestrante de radicais livres.

Kuskoski *et al.* (2006) compararam frutos tropicais silvestres *in natura* e polpas de frutas congeladas comerciais, em relação aos níveis de atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. Entre as polpas de frutos tropicais estudadas a de manga e acerola receberam destaque por conterem elevados teores de polifenóis totais e apreciáveis propriedades antioxidantes. Entre os frutos *in natura*, o baguaçu se destacou como potente antioxidante, com considerável teor de antocianinas. Já a polpa de cupuaçu em relação às propriedades estudadas, apresentou menores níveis de compostos. O índice de polifenóis totais da polpa de

cupuaçu foi de 20,5mg/100g, próximo da polpa de maracujá e abacaxi. As antocianinas totais não foram detectadas nas polpas de manga, graviola, abacaxi, cupuaçu e maracujá. Já a atividade antioxidante equivalente ao Trolox em 60 minutos, foi de 1,1µmol/g semelhante ao do maracujá que foi de 1,2µmol/g e superior o do abacaxi que foi de 0,6µmol/g.

Sousa *et al.* (2011) estudaram a caracterização nutricional e teores de compostos funcionais de resíduos da indústria de frutos do estado do Piauí. Comprovaram que todos resíduos de frutas avaliados podem ser reutilizados como matéria prima agregadora de valor, diminuindo a contaminação ambiental por resíduos industriais. O resíduo de cupuaçu foi ressaltado por ser, entre os resíduos estudados, aquele com maior fonte de proteínas e lipídios. Com valores de 93,86% para teor de água, 0,20% de cinzas, 1,65% de proteínas, 3,69% de lipídios, 0,6% de carboidratos e 42 calorias por 100g, 127,9µg/100 g para carotenoides, $3,06 \cdot 10^{-3}$ µg/100 g para antocianinas, 1,08µg/g para flavonoides, 14,47mg/100 g para vitamina C, 4,66mg ácido gálico/100 g para fenólicos totais.

As etapas e procedimentos adotados no processamento das polpas de frutos são importantes, visto que há uma infinidade de variedades de frutos e cada um apresenta características diferentes e, por conseguinte, a necessidade de um cuidado focado na preservação e conservação de nutrientes e compostos benéficos à saúde. Entretanto, é notório que há uma desuniformidade de produto visto as variações nos teores de nutrientes nas polpas de frutas disponíveis no mercado. Por isso, é necessário que haja um aprofundamento em pesquisas nas áreas científica e tecnológica, que visem minimizar os efeitos abrasivos de forma que encontrem padrões ótimos no processamento de cada variedade de fruta. Porte *et al.* (2010) avaliaram a degradação de aminoácidos em bacuri, cupuaçu e murici no processamento em diferentes pHs e temperaturas. O aquecimento das polpas reduziu significativamente os teores dos aminoácidos. O pH alcalino promoveu maiores perdas nos teores dos aminoácidos.

Embora muitas pesquisas tenham sido feitas para avaliar a perda de vitamina C da polpa de cupuaçu, entre outros compostos, pelo aquecimento ou processamento industrial, a literatura científica tem poucas informações sobre o efeito do tratamento térmico sobre o conteúdo de vitamina C e componentes nutricionais durante a secagem por atomização da polpa de cupuaçu.

3.2 Secagem

De acordo com Medina *et al.* (2007), frutos com teor elevado de água são altamente perecíveis, apresentando perdas superiores a 30% após a colheita, quando armazenados à temperatura ambiente, necessitando a utilização de um método de conservação, com o objetivo de diminuir estas perdas.

A secagem é uma das técnicas mais antigas de preservação de alimentos utilizadas pelo homem. O processo é simples e consiste na eliminação de água de um produto por evaporação, com transferência de calor e massa. Uma de suas maiores vantagens é não necessitar de refrigeração durante o armazenamento e transporte (MELONI, 2003).

Além de ser utilizada como um método de conservação, impedindo a deterioração e perda do valor comercial, objetiva também o aprimoramento do alimento, tendo-se como consequência a oferta de um novo produto no mercado, o que usualmente vem motivando os investimentos de produção e beneficiamento agrícola, face aos benefícios monetários que derivam da transformação do produto (SOARES, 2001).

Segundo Dionello *et al.* (2007), o processo envolve custos e volumes menores de acondicionamento, armazenagem e transporte. Em alguns casos, a desidratação apresenta a vantagem adicional de colocar ao alcance do consumidor uma maior variedade de produtos alimentícios que podem ser disponibilizados fora da safra, como é o caso das frutas secas (PARK *et al.*, 2002).

Apesar dos aspectos positivos, a secagem pode alterar as características sensoriais e o valor nutricional dos alimentos. A intensidade dessas alterações é dependente das condições utilizadas no processo de secagem e das características próprias de cada produto.

Perez *et al.* (2012) estudaram a cinética de secagem de polpa de cupuaçu com duas formas de secagens combinadas. A pré-desidratação foi feita com solução binária (sacarose a 40 °Brix) e ternária (80% de sacarose/20% de cloreto de sódio), durante três horas em temperatura ambiente, seguida pela secagem convencional na estufa (ar circulante) a 65 °C, até peso constante. O tempo de secagem menor foi o da amostra tratada com a solução binária na pré-desidratação e o modelo de Page apresentou o melhor ajuste dos dados experimentais, podendo ser utilizado para predição da cinética de secagem da polpa do cupuaçu.

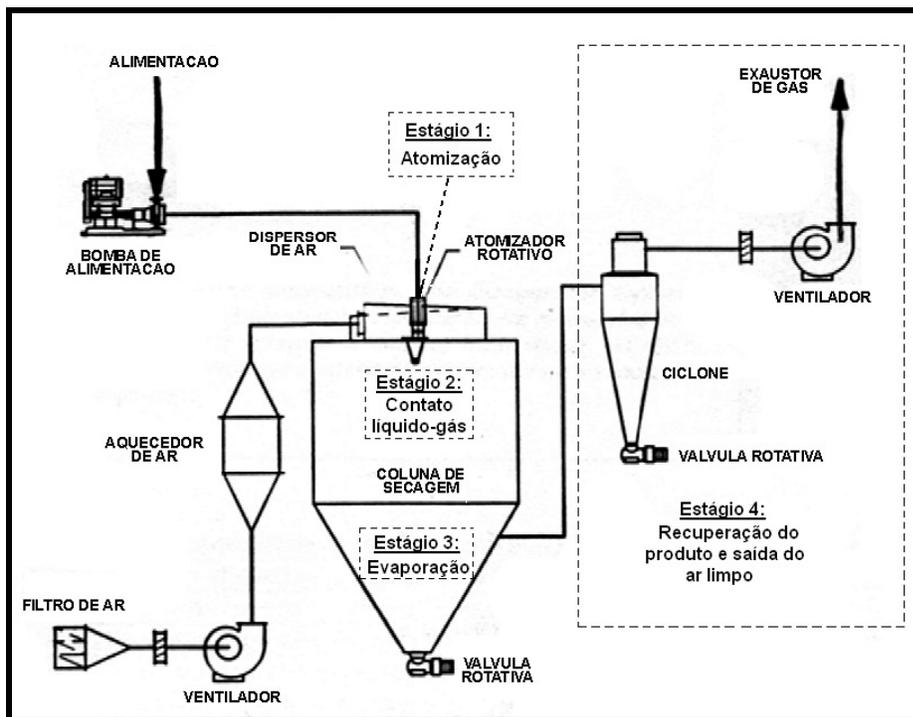
Todavia, a comunidade científica tem que se atentar no aprofundamento da pesquisa da polpa de cupuaçu e na conservação de seus nutrientes durante a secagem por atomização, que vem despontando como uma secagem aprimorada e eficaz na preservação de compostos sensíveis.

3.1 Secagem por Atomização

A secagem por atomização ou também conhecida como pulverização ou *spray drying* é uma técnica amplamente utilizada e trata-se da transformação de alimentos que estão dispostos na forma de solução, suspensão, emulsão, ou pasta, resultando em alimentos em pó na forma de partículas isoladas, grânulos ou aglomerados. Este método é um processo contínuo no qual a solução líquida é atomizada dentro de uma câmara, geralmente por um bico aspersor, o qual provoca um rompimento do líquido em milhões de gotículas. Aumenta-se, assim, a superfície de contato que se mistura com um fluxo de ar aquecido, secando rapidamente o produto. Os nutrientes do produto não são degradados por causa do resfriamento das partículas após a saída da água, por forças capilares, não alcançando faixa superior a temperatura de bulbo úmido. Seu baixo tempo de residência em temperaturas altas resulta em processo adequado para produtos sensíveis ao calor porque promove uma maior retenção de sabor, cor e nutrientes. Contudo, a qualidade dos pós produzidos pela secagem por atomização depende das características da solução de alimentação (por exemplo: viscosidade, taxa de fluxo), do ar de secagem (por exemplo: temperatura, pressão de ar, fluxo de ar), do contato entre o ar quente e das gotas na câmara de secagem (em fluxo co-corrente ou fluxo em contracorrente) e do tipo de atomizador utilizado (MASTERS, 1979).

De acordo com Cano-Chauca *et al.* (2005), a secagem por atomização (Figura 3.3) de alimentos ricos em açúcar, como sucos de frutas, tem grande potencial econômico porque há a formulação de produto com volume reduzido e com uma vida útil mais longa. No entanto, os pós de extratos de frutas são altamente higroscópicos e podem facilmente absorver a umidade do ar circundante, resultando em problemas de viscosidade e fluidez. Essa pegajosidade é atribuída à elevada concentração de moléculas de açúcar com alto peso e de ácidos orgânicos, que têm baixas temperaturas de transição vítrea e tendem a impregnar-se às paredes da câmara do secador e diminuir o rendimento do processo. Para solucionar estes problemas, a adição de

agentes de transporte tais como a maltodextrina é recomendado durante a secagem por atomização.



(Fonte: adaptado de DZIEZAK, 1988).

Figura 3.3 - Esquema de um secador atomizador.

A secagem por atomização é um dos métodos mais empregados para a encapsulação, devido à disponibilidade de equipamento, baixo custo de processo, emprego de ampla variedade de agentes encapsulantes, boa retenção dos compostos voláteis e estabilidade do produto final (REINECCIUS, 1989).

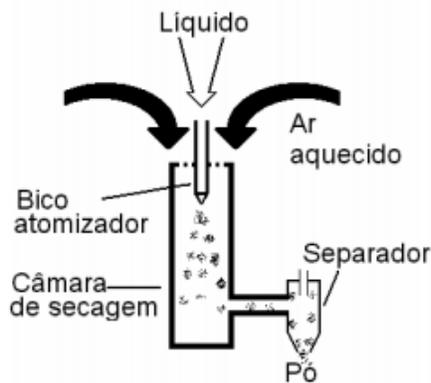
Archeri (1997) afirmou que a secagem por atomização pode ser realizada com o material em solução, suspensão, emulsão, ou pasta, resultando em partículas isoladas, grânulos ou aglomerados, onde estas formas dependem das propriedades físicas e químicas do material utilizado e do projeto e operação do secador. Reineccius (1989) caracterizou o processo como flexível, capaz de produzir partículas de boa qualidade e reter componentes voláteis. Utilizada para aumentar a eficiência e a faixa de aplicação de muitos compostos naturais como: aromas, corantes e vitaminas.

Naturalmente, apenas uma boa área de contato não é suficiente para assegurar uma secagem eficiente, fazendo-se necessário fornecer a energia para vaporização do líquido

(água) e também suficiente dessecante (ar) para absorver toda a umidade (FILKOVÁ e MUJUMDAR, 1995). A operação de secagem em atomizador consiste de quatro fases: atomização do líquido, contato do líquido atomizado com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem, de modo que todas estas fases interferem nas características do pó final (TONON, 2009).

Tendo como grande diferencial a possibilidade de obtenção dos produtos diretamente na forma de pó, este método elimina as etapas posteriores de moagem que são típicas de outros equipamentos de secagem.

O conjunto que compõe um equipamento do tipo atomizador padrão é constituído de: 1) sistema de atomização do material; 2) sistema de aquecimento e controle de temperatura do ar de secagem; 3) sistema de bombeamento e controle de vazão da alimentação de material a ser seco; 4) sistema da alimentação de ar para secagem; 5) câmara de secagem e 6) sistema de separação ar - pó seco. A Figura 3.4 mostra um diagrama esquemático de uma configuração básica de atomizador.



(Fonte: FILKOVÁ e MUJUMDAR, 1995.)

Figura 3.4: Diagrama esquemático do atomizador.

Segundo Masters (1979), a secagem de 1 m^3 de líquido origina aproximadamente 2×10^{12} partículas uniformes de diâmetro $100 \text{ }\mu\text{m}$, o que equivale a uma área superficial de 60.000 m^2 .

As variáveis do processo podem afetar o produto obtido por atomização, por isso devem ser cuidadosamente estudadas visando maior produtividade e reprodutibilidade. E estas são: temperatura do ar de entrada e de saída; fluxo de ar ou fluido de arraste; distribuição de temperatura e umidade; tempo de residência; geometria da câmara e tipo de atomizador (LEITE, 2001). Entretanto, as propriedades intrínsecas do produto também devem ser

avaliadas, e são: densidade e volume aparente, distribuição do tamanho de partícula, teor de água, tendências a aglomeração e retenção da qualidade desejada (vitamina C, atividade antioxidante, cor, aroma, etc).

Kim *et al.* (2009) descrevem os períodos de secagem e o comportamento da água na partícula ao longo da secagem. O primeiro período é caracterizado pela evaporação da água livre presente na partícula e se chama período de taxa constante, nesta etapa a gotícula ainda líquida exposta ao ar quente de secagem sofre arrasto da água superficial e, para manter o equilíbrio dinâmico, a água interior migra para as extremidades, mantendo as condições de saturação. A evaporação de água a partir da superfície do produto ocorre a uma taxa constante, diminuindo a quantidade de umidade presente na gota, uma vez que está sendo evaporada. No começo dessa fase, a temperatura da gota diminui até a temperatura de bulbo úmido do ar de secagem. Como a água é evaporada, a partícula se resfria não sendo superior à temperatura de bulbo úmido. Esse fator é benéfico, pois o núcleo a ser preservado não é exposto à temperatura em demasia. Contudo, após algum tempo, o teor de água torna-se muito baixo para manter condições de saturação na camada limite e a substância dissolvida a partir da solução saturada começa a ser depositada como uma fase sólida na superfície da gota. As gotículas tornam-se partículas com uma fina crosta sólida em sua superfície. Com a formação da crosta sólida, a taxa de secagem diminui, sendo uma resistência à difusão do vapor e essa etapa se chama período de taxa decrescente. Nesse período, a temperatura das partículas começa a aumentar.

3.2 Microencapsulação

No atual contexto mundial em que a competitividade industrial é crescente, o domínio da tecnologia, ou seja, a aplicação de princípios, métodos, instrumentos ou processos elaborados a partir da pesquisa científica para desenvolver e aperfeiçoar produtos é essencial para qualquer país. Entre as tecnologias a serem utilizadas, a microencapsulação se destaca por permitir um controle sofisticado de certas propriedades do produto, por ser uma tecnologia que envolve processos complexos que permitem incorporar a um material ativo novas propriedades funcionais e "inteligentes" como a liberação ou atuação controlada em um meio específico ou sob condições apropriadas, tornando mais eficaz o produto final do qual esse material fará parte (PARK *et al.*, 2002).

As principais razões para o uso da microencapsulação em alimentos são: proteger os alimentos contra condições ambientes adversas (como luz, umidade, oxigênio, radiação UV), proteger componentes sensíveis dos alimentos contra outros ingredientes durante a estocagem, proteger os alimentos contra perdas nutricionais ou até mesmo adicionar materiais nutritivos a eles, incorporar mecanismos de liberação controlada às formulações, mascarar ou preservar *flavors* e aromas, diluir material do núcleo quando é preciso ser usados em quantidades muito pequenas e, finalmente, tornar o produto mais atrativo, promovendo uma maior flexibilidade e controle no desenvolvimento de produtos mais saborosos e nutritivos, a fim de satisfazer as expectativas dos consumidores (RÉ, 1998).

Segundo Arshady (1993) e Nori (1996), os pontos críticos da microencapsulação são: a composição correta entre o material encapsulante e o núcleo, a comestibilidade do alimento que contém o ingrediente encapsulado, a escolha correta do material de parede da microcápsula (suas características físico-químicas, solubilidade, cristalinidade, capacidade de formação de filme e propriedades de barreira), o tamanho desejado da microcápsula, a sensibilidade do material encapsulado, o custo de operação, a aplicabilidade para produtos alimentícios e o mecanismo de liberação do material ativo. Porém, na prática, na maioria das vezes o critério decisivo na escolha é o custo do material de parede, que na encapsulação pode chegar a até 95% do preço do produto final.

A microencapsulação de substâncias sensíveis através da secagem por atomização possibilita protegê-las contra evaporação, oxidação e outras reações químicas. Além disso, tem como um dos seus principais objetivos o refinamento do alimento e, conseqüentemente, a oferta de um novo produto no mercado.

A microencapsulação com liberação controlada de aromas e fragrâncias revolucionou as indústrias de alimentos, melhorando conseqüentemente o sabor, aroma, estabilidade, valor nutritivo e aparência nos seus produtos. Nessas áreas, a conversão de líquidos para pós secos, que são fáceis de manusear, foi uma das primeiras motivações para o uso de microcápsulas. Os exemplos de aditivos alimentares que podem se beneficiar do encapsulamento e da liberação controlada são os conservantes, cores, adoçantes, enzimas, antioxidantes, sabores e nutrientes que podem ser acrescentados ao núcleo (FERRARI *et al*, 2012; RÉ, 1998).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

4.1.1 Matérias-primas

A matéria prima utilizada nos ensaios experimentais deste trabalho originou-se de dois tipos distintos:

4.1.1.1 Polpa de cupuaçu comercial

A polpa comercial industrializada de cupuaçu foi fornecida por doação pela empresa De Marchi Indústria e Comércio de Frutas Ltda, Jundiaí/SP, em lote único, com a intenção de utilização da mesma matéria-prima para a realização das caracterizações físico-químicas e dos ensaios de secagem. A polpa foi armazenada em freezer com temperatura de $-10^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, para posterior utilização nos ensaios de secagem.

4.1.1.2 Polpa de cupuaçu *in natura*

A polpa *in natura* foi adquirida ainda em forma de frutos da Cooperativa de Produtores Orgânicos do Sul da Bahia (CABRUCA), em lote único. Com a intenção de utilização da mesma matéria-prima para a realização das caracterizações físico-químicas e dos ensaios de secagem, os frutos foram coletados em estágio maduro e enviados em caixas apropriadas para preservação da integridade do produto, de Ilhéus, BA, para Campinas, SP, por via rodoviária. O tempo de logística foi de 48 horas desde a colheita até o recebimento na transportadora, de onde foram transportados para o Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP. Os frutos de cupuaçu foram devidamente lavados, processados para retirada da polpa e armazenados por congelamento com temperatura de $-10^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, para posterior aplicação como explica o item 4.2.1 e o fluxograma na Figura 4.2.

4.1.2 Agente encapsulante

Para o processo de secagem da polpa de cupuaçu em atomizador, foi utilizada a maltodextrina Mor-rex® 1910 com DE 10 (Corn Products, Mogi-Guaçu, Brasil) como agente carreador. A dissolução do agente carreador foi realizada em um homogeneizador tipo “Turrax” à temperatura ambiente por 10 minutos para completa dissolução, seguindo as proporções determinadas no planejamento experimental.

4.1.3 Spray-dryer

A secagem das polpas de cupuaçu foram realizadas em um secador laboratorial com sistema de atomização (mini *spray dryer*) (Modelo B191, BÜCHI, Flawil, Suíça), disponível no Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita/Secagem da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP. Na Figura 4.1, está ilustrada uma imagem do equipamento.



(Fonte: arquivo pessoal/ L. G. P. Martin)

Figura 4.1: Mini *spray dryer* utilizado nos ensaios de secagem de atomização.

O equipamento foi operado usando um bico atomizador tipo duplo fluido com um orifício de 0,7 mm de diâmetro. As dimensões da câmara de secagem são: diâmetro de 110

mm e altura de 435 mm. A secagem foi realizada com um fluxo de ar comprimido constante de 0,6 m³/h e um fluxo de ar de 19 m³/h.

A temperatura de saída do ar foi monitorada, para observar sua variação em função dos parâmetros adotados na alimentação do secador e das características do produto.

A alimentação do equipamento foi realizada através de uma bomba peristáltica, cuja vazão mássica da alimentação pode ser ajustada em função da porcentagem da velocidade máxima de rotação.

Os limites de temperatura de entrada de ar no secador e a concentração de agente microencapsulante foram definidos por ensaios preliminares, sendo fixados entre 90-160°C e 5-30%, respectivamente.

4.2 Métodos

4.2.1 Processamento das polpas de cupuaçu e elaboração dos extratos de cupuaçu

As fases de obtenção e processamento das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* que foram utilizadas na secagem no *atomizador* são mostradas na Figura 4.2.

A forma de processamento e obtenção da polpa comercial não foi revelada pela indústria que doou a amostra para realização dessa pesquisa. Contudo, foi creditada via embalagem do produto o não acréscimo de água e nem conservante químico. A polpa comercial sofreu a mesma diluição de (1:1,5) sendo uma parte de polpa de cupuaçu para uma e meia parte de água tratada (massa:massa), homogeneização em liquidificador doméstico e filtragem em filtro com auxílio de bomba a vácuo na elaboração do extrato de polpa comercial, definido da mesma forma para a amostra *in natura*, antes de ambas receberem o agente carreador para os ensaio de secagem na proporção determinada pelo planejamento experimental.

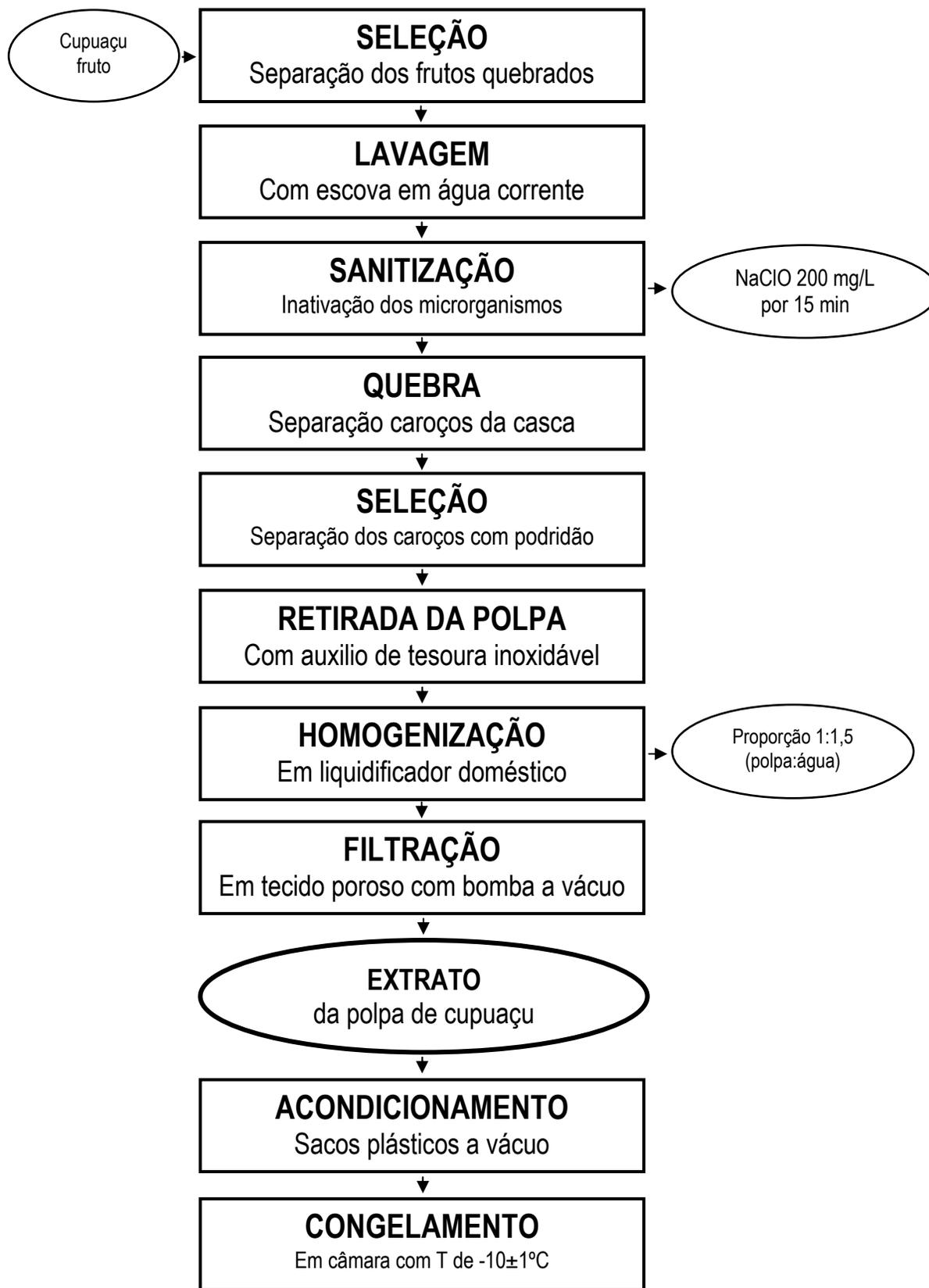


Figura 4.2: Diagrama de fluxo do processamento do extrato da polpa de cupuaçu (onde T é temperatura)

Descrição das etapas de processamento

- **Seleção**

Esta etapa foi realizada a partir da inspeção visual e retirada manual dos frutos de cupuaçu de má-qualidade, que apresentaram casca escurecida, quebradas ou mofadas.

- **Lavagem**

Foi realizada a escovação da casca em água corrente com o objetivo de retirar os resíduos grosseiros (as cerdas características do fruto, terra, etc.).

- **Sanitização**

Após a etapa de lavagem, os frutos foram higienizados em imersão de solução de hipoclorito de sódio a 200mg/L por 15 minutos.

- **Quebra**

Esta etapa foi realizada manualmente com auxílio de facas de aço inoxidáveis. Os frutos foram quebrados e retirados os caroços.

- **Seleção**

Os caroços foram colocados em recipientes para separação e retirada daqueles que apresentaram podridão, presença de fungos ou amolecimento.

- **Retirada da Polpa**

Este processo foi realizado manualmente, com auxílio de tesouras de aço inoxidáveis, retirando a polpa das sementes que por sua vez apresenta fibra alongada, pegajosa e firmemente aderida às sementes.

- **Homogeneização**

A diluição adotada na preparação dos extratos da polpa de cupuaçu foi de (1:1,5) sendo uma parte de polpa de cupuaçu para uma e meia parte de água tratada (massa:massa). É necessária a diluição das polpas, visto que a viscosidade e densidade influem na pulverização e dispersão do material na secagem por atomização. A mistura foi homogeneizada em liquidificador doméstico de baixa rotação.

- **Filtração**

A mistura foi filtrada em tecido poroso TNT (tecido não tecido) com auxílio de bomba a vácuo, retirando todas possíveis estruturas de maior granulometria para não obstrução do bico aspersor.

- **Extrato da polpa de cupuaçu**

O filtrado resultante se denomina extrato e esse está finalizado pra posterior diluição do agente carreador na proporção determinada pelo planejamento experimental.

- **Acondicionamento**

O extrato de cupuaçu foi armazenado em sacos plásticos de polietileno, em vácuo, de aproximadamente 1 kg.

- **Congelamento**

Os sacos plásticos lacrados e sob vácuo foram armazenados em freezer com temperatura de -10 ± 1 °C.

4.2.2 Caracterizações físico-químicas e químicas das polpas comercial e *in natura* de cupuaçu

Para as polpas de cupuaçu comercial e *in natura* foram realizadas as seguintes análises:

4.2.2.1 Teor de água

A determinação do teor de água foi feito por meio de estufa a vácuo na temperatura de 70 °C até peso constante (AOAC, 1998).

4.2.2.2 Cinzas

A determinação foi realizada através da carbonização das amostras em bico de Bunsen e incineração em mufla (modelo Pyrotec, QUIMIS, Brasil) a 525 °C conforme AOAC (1998).

4.2.2.3 Fibras

Foram determinadas através de amostras desengorduradas e submetidas às lavagens com os reagentes ácidos e básicos, para obtenção do teor de fibra bruta, conforme AOAC (2005).

4.2.2.4 Lipídios

A determinação de lipídeos foi realizada pelo método de Soxhlet utilizando éter de petróleo na extração (AOAC, 2006).

4.2.2.5 Proteínas

Foram determinadas através do método de Kjeldahl que se trata da digestão da amostra e conversão de N em NH_3 , que foi destilado e titulado, conforme metodologia (AOAC, 2006).

4.2.2.6 Carboidratos

O teor de carboidratos foi determinado através da diferença de 100 % com a soma das quantidades de teor de água, lipídeos, cinzas e proteínas.

4.2.2.7 pH

Foi determinado através de leitura direta em potenciômetro pHmetro (modelo pH 300M, ANALYSER®, Brasil) devidamente calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7, conforme a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008).

4.2.2.8 Acidez Total Titulável (ATT)

Foi determinada através das amostras com soluções de NaOH 0,1 N e expressa como porcentagem de ácido cítrico, segundo a metodologia de BRASIL (2005).

4.2.2.9 Açúcares Redutores e Totais

Foram determinados através de titulação a quente das amostras por junção das soluções de Fehling A e B, conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008).

4.2.2.10 Cor

A determinação dos parâmetros para a análise de cor das polpas de cupuaçu foi feita utilizando um colorímetro (Hunterlab, Color Quest XE, USA) com a determinação do modo CIE L*a*b*. A coordenada L* representa quanto mais clara ou mais escura é a amostra, com valores variando de 0 (totalmente preta) a 100 (totalmente branca). A coordenada de cromaticidade a* pode assumir valores de -80 (verde) a +100 (vermelho) e a coordenada de cromaticidade b* pode variar de -50 (azul) a +70 (amarelo). A diferença de cor total (ΔE^*) foi calculada de acordo com a Equação 4.1:

$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{0.5} \quad [4.1]$$

4.2.2.11 Atividade de água

Foi medida instrumentalmente por aparelho Aqualab CX-2 Decagon à 25°C, através da adição de uma pequena quantidade de amostra no aparelho que apresenta o resultado de forma direta.

4.2.2.12 Vitamina C

O teor de ácido ascórbico (mg/100g) foi determinado através de titulação da amostra segundo AOAC (2006), que se baseia na redução do indicador 2,6-diclorobenzenoindofenol (DCFI) pelo ácido ascórbico.

4.2.3 Ensaios de secagem no atomizador

4.2.3.1 Testes preliminares de secagem

Foram feitos alguns testes utilizando a polpa comercial de cupuaçu (Tabela 4.1), visando definir a melhor diluição (polpa : água – massa : massa), os níveis de temperatura de entrada do ar de secagem e de concentração de maltodextrina.

A dissolução do agente carreador foi realizada em um homogeneizador tipo “turrax” (Dispensor Extratur, QUIMIS, Brasil) à temperatura ambiente e velocidade de 8000 rpm por 10 minutos (completa dissolução).

Tabela 4.1 – Testes preliminares da polpa comercial de cupuaçu utilizando maltodextrina como agente microencapsulante.

Ensaio	Diluição (Massa:massa)	T _{ent} (°C)	C _{MA} (%)
1	1 : 1	160	0
2	1 : 1,5	125	15
3	1 : 2	90	30

Os testes preliminares serviram para identificar os níveis mínimos e máximos da faixa de estudo das variáveis, além de testar as limitações operacionais do secador.

4.2.3.2 Planejamento Experimental – Delineamento central Composto Rotacional

Foi realizado um planejamento experimental - delineamento composto central rotacional (DCCR), com duas variáveis independentes, com pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$), totalizando 11 ensaios, para os dois tipos de polpa de cupuaçu avaliados,

conforme apresentado na Tabela 4.2. As variáveis independentes analisadas foram: temperatura do ar de entrada no secador (T_{ent} em °C) e concentração de agente carreador (C_{MA} em %) e foram avaliadas como respostas (variáveis dependentes) o rendimento do processo de secagem, teor de água, higroscopicidade, vitamina C, atividade de água, acidez titulável, pH, açúcares redutores e açúcares totais e cor. Durante os experimentos, foram monitoradas a temperatura de saída (T_s), temperatura ambiente (T_a) e umidade relativa (UR) de cada ensaio, em intervalos de cinco em cinco minutos.

Tabela 4.2: Planejamento experimental para as polpas de cupuaçu comercial e *in natura* variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}), concentração de maltodextrina (C_{MA}) e os dados de monitoramentos de cada ensaio.

Ensaio	Variáveis Independentes				Dados de Monitoramento					
	Real		Codificado		Polpa cupuaçu comercial			Polpa cupuaçu <i>in natura</i>		
	T_{ent} (°C)	C_{MA} (%)	T_{ent} (°C)	C_{MA} (%)	T_s (°C) ± DP	T_a (°C) ± DP	UR (%) ± DP	T_s (°C) ± DP	T_a (°C) ± DP	UR (%) ± DP
1	100	8,6	-1	-1	72,2 ± 0,9	22,4 ± 0,5	64,1 ± 1,6	70,0 ± 1,5	19,2 ± 0,2	71,3 ± 2,1
2	150	8,6	1	-1	108,2 ± 1,3	22,5 ± 0,5	59,7 ± 2,4	105,0 ± 1,2	19,3 ± 0,3	74,2 ± 0,9
3	100	26,4	-1	1	69,7 ± 0,7	22,8 ± 0,2	64,4 ± 0,6	64,5 ± 0,5	15,3 ± 0,3	62,1 ± 0,9
4	150	26,4	1	1	91,9 ± 0,5	20,9 ± 0,2	74,1 ± 0,9	107,7 ± 0,5	16,7 ± 0,3	56,2 ± 1,8
5	90	17,5	-1,41	0	63,6 ± 1,2	20,7 ± 0,1	76,3 ± 1,1	63,4 ± 0,6	17,8 ± 0,2	56,2 ± 1
6	160	17,5	1,41	0	117,2 ± 1,1	22,1 ± 0,2	43,2 ± 0,6	115,4 ± 1,4	18,6 ± 0,2	55,1 ± 0,6
7	125	5,0	0	-1,41	91,2 ± 0,9	19,6 ± 0,3	51,0 ± 3,3	87,5 ± 1,5	15,6 ± 0,5	61,5 ± 0,5
8	125	30,0	0	1,41	89,8 ± 0,7	24,4 ± 0,3	42,5 ± 1,8	89,1 ± 0,3	21,7 ± 0,4	54,0 ± 0,9
9	125	17,5	0	0	90,2 ± 0,8	22 ± 0,6	63,2 ± 1,9	91,0 ± 0,0	23,3 ± 0,7	52,0 ± 1,0
10	125	17,5	0	0	91,6 ± 0,9	19,4 ± 0,4	58,5 ± 0,0	91,3 ± 2,2	24,2 ± 0,3	50,4 ± 0,7
11	125	17,5	0	0	91,5 ± 0,9	23,3 ± 0,3	47,9 ± 2,8	86,9 ± 1,1	24,9 ± 0,3	44,4 ± 1,7

T_s - Temperatura de saída; T_a - Temperatura ambiente, UR - Umidade relativa e DP - Desvio padrão.

4.2.4 Propriedades físico-químicas do pó

Foram realizadas, para os pós de cada ensaio, as análises referentes às respostas (variáveis dependentes) dos planejamentos experimentais, sendo elas: atividade de água, pH, acidez titulável, açúcares redutores, açúcares totais e cor segundo metodologias descritas no item 4.2.2, além das análises descritas nos itens:

4.2.4.1 Rendimento de Secagem

O rendimento de secagem foi determinado como sendo a razão entre a massa de sólidos no produto em pó e a massa de sólidos na polpa de cupuaçu utilizado na alimentação do secador. O cálculo foi feito através da seguinte Equação 4.2:

$$RS(\%) = \frac{m_{sól, pó}}{m_{sól, liq}} \times 100 = \frac{m_{pó} \times X_{sól, pó}}{m_{liq} \times X_{sól, liq}} \times 100 \quad [4.2]$$

Onde: RS é o rendimento de secagem, m é a massa (g), e $X_{sól}$ é o conteúdo de sólidos (g sólidos/g pó ou alimentação). Os subscritos $pó$ e liq são referentes ao produto em pó obtido e ao líquido utilizado na alimentação do secador.

4.2.4.2 Teor de Água

O teor de água do pó foi determinado gravimetricamente usando estufa a vácuo a 70°C até peso constante. Já para o teor de água dos extratos da polpa de cupuaçu *in-natura* e comercial formulados através das porcentagens de concentração de maltodextrina seguindo o planejamento experimental, as amostras foram levadas a estufa com circulação forçada a 60°C por 24 horas, e em seguida para a estufa a vácuo a 70°C até peso constante (AOAC, 2006).

4.2.4.3 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações. Cerca de 1 g de cada amostra foi colocado em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25°C e, após uma semana, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como massa de umidade adsorvida por massa seca da amostra em porcentagem (g/100g).

4.2.5 Propriedades físico-químicas do pó nas condições ótimas do processo

Além das análises descritas no item 4.2.4 para os pós em cada ensaio e as análises descritas no item 4.2.2., foram realizadas as análises descritas nos itens seguintes para o ponto ótimo:

4.2.5.1 Densidade aparente ('bulk density')

Para determinação da densidade aparente (ρ_{ap}), 2g do pó foram transferidos para uma proveta graduada. O pó foi compactado batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada. A densidade foi calculada de acordo com a Equação 4.3:

$$\rho_{ap} = m / V \quad (4.3)$$

Onde: m é a massa (g) e V é o volume (mL) da amostra

4.2.5.2 Densidade absoluta

A densidade absoluta (ρ_{abs}) das amostras foi determinada a 25°C em um picnômetro de gás hélio automático AccuPyc 1330 Automatic Gas Pycnometer (Micromeritics, Norcross, USA), disponível no Laboratório de Análise e Caracterização de Produtos e Processos do Departamento de Termofluidodinâmica (Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP).

4.2.5.3 Porosidade

A porosidade (ϵ) dos pós foi determinada de acordo com a Equação 4.4:

$$\epsilon = 1 - \rho_{\text{ap}} / \rho_{\text{abs}} \quad (4.4)$$

Onde: ρ_{ap} é a densidade aparente (g/ml) e ρ_{abs} é a densidade absoluta (g/ml) da amostra.

4.2.5.4 Distribuição do tamanho de partícula

A distribuição do tamanho das partículas foi determinada em um aparelho com difração a laser (Laser Scattering Spectrometer Mastersizer S, modelo MAM 5005 – Malvern Instruments Ltd., U.K), disponível no Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração (Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP), utilizando isopropanol como líquido sedimentador, uma vez que a solubilização das partículas não ocorre neste líquido. Um ultrassom acoplado ao equipamento foi utilizado para aumentar a dispersibilidade da amostra. O diâmetro médio foi determinado com base no diâmetro médio de uma esfera de mesmo volume (diâmetro de Brouckere, D[4,3]), geralmente utilizado para caracterizar partículas de pó. Para essa análise, uma pequena quantidade do produto foi dispersa em isopropanol e submetida a 5 leituras de distribuição do tamanho de partículas.

4.2.5.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microestrutura dos pós foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura utilizando-se um microscópio eletrônico (LEICA, modelo DMLM, EUA) acoplado ao computador (LEICA Q500IW), no Laboratório de Recursos Analíticos e de Calibração do Departamento de Processos Químicos (DPQ/FEQ/UNICAMP). As amostras foram fixadas em porta espécimes metálicos (*stubs*), com uma fita adesiva de dupla face condutora convencional. Em seguida, foram metalizadas com uma liga de ouro/paládio, em um metalizador (Polaron

SC7620 Sputter Coater Ringmer, U.K.), a uma taxa de recobrimento de 0,51 Å/s, por 180 segundos, com corrente de 3-5 mA, 1 Volt e $2 \cdot 10^{-2}$ Pa.

4.2.6 Análise Estatística dos dados

Os resultados das análises físico-químicas das matérias-primas e dos pós foram avaliados estatisticamente através de Análise de Variância, aplicando o teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. Para isso, foi utilizado o *software* STATISTICA 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA).

Para a elaboração dos modelos, foi utilizado o *software* STATISTICA 9.0, com a finalidade de assegurar a validade dos coeficientes dentro de um nível de confiança de 90 %, através de análises estatísticas apropriadas. Após a análise estatística dos coeficientes, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), que consiste na avaliação do coeficiente de determinação (R^2) e do teste F, verificando se o modelo apresenta um ajuste adequado aos dados experimentais.

A otimização da secagem por atomização das polpas de cupuaçu foi realizada através da Metodologia de Superfície de Resposta, de modo a obter para todos os ensaios, os maiores valores de rendimento de processo, retenção de vitamina C e menores valores de teor de água e higroscopicidade do pó.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das matérias-primas

Na etapa inicial desta pesquisa foi realizada a caracterização da polpa de cupuaçu *in natura* e comercial. Verificou-se que estes produtos possuem alta variabilidade em sua composição.

Na Tabela 5.1, são apresentados os valores das caracterizações físico-químicas da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

Tabela 5.1: Composição centesimal da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

Componentes	Média ± Desvio padrão	
	Polpa cupuaçu comercial	Cupuaçu <i>in natura</i>
Teor de água (% , base úmida)	88,12±0,12	83,80±0,41
Proteínas (% , base seca)	6,59±0,04	7,42±0,28
Lipídeos (% , base seca)	1,93±0,02	2,92±0,05
Cinzas (% , base seca)	4,74±0,00	4,66±0,00
Fibras (% , base seca)	2,50±1,58	3,43±1,43
Açúcares Totais (% , base úmida)	2,86±0,33	5,48±0,73
Açúcares Redutores (% , base úmida)	2,24±0,10	2,22±0,14
Atividade de Água (à 25°C)	0,93	0,94
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	10,74	18,59
Acidez Titulável Total (%)	3,09±0,01	2,81±0,09
Vitamina C (mg/100g, base úmida)	23,16±0,07	56,16±1,15
pH	3,40±0,02	3,72±0,04

O maior componente presente na polpa de cupuaçu é água, com valores variando de 83,80% a 88,12% de teor de água para a polpa de cupuaçu *in natura* e comercial

respectivamente, de acordo com os resultados expressos na Tabela 5.1. A atividade de água (A_w) da polpa *in natura* foi de 0,94 e da comercial foi de 0,93 sendo muito próximas pertencendo à classe dos alimentos perecíveis. Alimentos com esse nível de teor de água e A_w , neste caso a polpa de cupuaçu, apresentam substâncias e nutrientes que estão diluídos na água, se tornando meio propício para desenvolvimento de microrganismos deteriorantes. Por isso, é preciso que a indústria crie barreiras de preservação para que esse produto seja comercializado. Além de todas as boas práticas de fabricação, processamento, possíveis conservantes químicos e embalagem, é necessário que a polpa seja armazenada até o consumo em congelamento, sendo a barreira extrínseca de maior importância, mesmo que ao longo do tempo de armazenamento sofra alterações, tendo declínio em seus nutrientes sensíveis, pelo tipo de processamento ou conservante.

A polpa comercial industrializada, não mostrou acentuadas alterações em relação à polpa *in natura* no quesito caracterização centesimal inicial, de acordo com os resultados da Tabela 5.1, apesar de ter sido processada mecanicamente, homogeneizada, filtrada e manuseada em grandes quantidades.

A polpa *in natura*, em comparação a polpa comercial, apresenta menor teor de água, sendo 83,80 e 88,12, respectivamente. A diferença entre o teor de água das amostras iniciais pode ser resultante da diferença de processamento das polpas. Entretanto, Santos *et al.* (2010) estudaram as condições físico-químicas de polpas comerciais e néctares de cupuaçu em relação a padrões de concentração determinados pela legislação, sendo este valor de 86% de teor de água para polpa de cupuaçu *in natura*. Desta forma, a faixa de teor de água encontrada nesse trabalho está dentro do esperado para este produto.

Rogez *et al.* (2004) encontraram teor de 8,8% de proteínas. Este valor foi semelhante ao encontrado nesta pesquisa (7,42%). Estes mesmos autores encontraram valor de pH igual ao obtido para a polpa de cupuaçu comercial.

5.2 Resultados dos ensaios de secagem

Testes preliminares

Foram feitos três testes preliminares da polpa comercial de cupuaçu usando um atomizador laboratorial. O primeiro pré-teste foi feito com diluição na proporção de 1:1 (polpa:água, massa:massa). Neste teste não foi usado agente carreador. A temperatura do ar de entrada no secador foi fixada em 160°C. O objetivo deste primeiro teste era saber como se comportava a polpa no equipamento, sem a incorporação das características do agente encapsulante. Neste caso, houve formação de pó, embora com baixo rendimento. A maior viscosidade da emulsão de alimentação causada pela menor diluição 1:1 resultou em maior aderência do produto na câmara de secagem devido à baixa T_g (presença de ácidos orgânicos e açúcares). Nos parâmetros de secagem fixados, a temperatura do ar de secagem de 160°C não degradou o pó formado, não apresentou caramelização visível ou reação de Maillard.

No segundo pré-teste, foi modificada a temperatura de entrada de ar no secador (125°C) e a proporção da elaboração do extrato foi de 1:1,5 (polpa:água), com 15% de concentração de maltodextrina. Nesta diluição foi observada boa vazão de alimentação e aspensão da emulsão a ser seca. O rendimento foi maior em relação ao primeiro pré-teste mostrando a importância do agente carreador para a microencapsulação da polpa comercial de cupuaçu.

O terceiro pré-teste foi feito com diluição 1:2 (polpa:água), 90°C de temperatura entrada do ar de secagem e 30% de concentração de maltodextrina. Houve bom rendimento, mas com formação de pó mais fino explicado possivelmente pela maior diluição da polpa e maior porcentagem de maltodextrina.

Com base nos ensaios de pré-testes, foram fixados para o planejamento experimental a diluição de 1:1,5 (polpa:água), limites de temperatura de entrada do ar de secagem entre 90 à 160°C e concentração de maltodextrina de 5 à 30%, para as duas polpas de cupuaçu.

Planejamento Experimental

Os ensaios experimentais de secagem das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* foram realizados seguindo um delineamento composto central rotacional 2^2 completo, com 4 pontos fatoriais, 4 pontos axiais e 3 pontos centrais, totalizando 11 ensaios, para cada polpa, conforme descrito na Tabela 4.2. Este planejamento teve como objetivo avaliar a influência das variáveis: temperatura de ar de entrada no secador e concentração de agente carreador (maltodextrina), sobre as respostas: teor de água, higroscopicidade, rendimento do processo, atividade de água, vitamina C, pH, açúcares redutores, açúcares totais e cor.

5.2.1 Teor de água e higroscopicidade dos pós de polpa de cupuaçu

Os teores de água e as higroscopicidades obtidas em cada ensaio de secagem estão apresentados na Tabela 5.2, juntamente com a temperatura de entrada do ar e a concentração de maltodextrina referente ao planejamento experimental.

O teor de água é uma importante resposta, pois por meio dela se analisa a eficiência de secagem, e influencia diretamente a temperatura de transição vítrea (T_g) dos produtos secos,. Os valores de teor de água dos pós de polpa de cupuaçu comercial encapsulados com maltodextrina variaram de 1,30 a 3,50% referentes aos ensaios 6 (160°C de T_{ent} e 17,5% de C_{MA}) e 5 (90°C de T_{ent} e 5% de C_{MA}) do planejamento experimental, respectivamente (Tabela 5.2). Os ensaios 6 e 5 são que apresentam maior e menor valores da variável independente temperatura de entrada do ar de secagem do planejamento experimental. O teor de água para a polpa de cupuaçu *in natura* variou de 2,19 a 6,76%, referentes aos ensaios 10 (125°C de T_{ent} e 17,5% de C_{MA}) e 1 (100°C de T_{ent} e 8,6% de C_{MA}), respectivamente (Tabela 5.2). No trabalho publicado por Osman e Endut (2009), trabalhando com suco de abacaxi seco em atomizador, os autores encontraram valores semelhantes aos obtidos neste trabalho.

Os valores de higroscopicidade dos pós do planejamento experimental de polpa de cupuaçu comercial e *in natura* com maltodextrina como agente carreador variaram de 11,06 a 17,01g água adsorvida/100 g sólidos e de 13,52 a 20,56 g água adsorvida/100 g sólidos respectivamente, referentes aos ensaios 3 (100°C de T_{ent} e 26,4% de C_{MA}) e 7 (125°C de T_{ent} e 5% de C_{MA}) das duas amostras, igualmente. Estes valores se assemelham aos obtidos por

Angel *et al.* (2009), trabalhando com suco de maracujá usando uma mistura de lactose e maltodextrina como encapsulante em secagem por atomizador.

Tabela 5.2: Teores de água e higroscopicidade do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* e comercial por atomizador.

Ensaio	Teor de Água (%)				Higroscopicidade (g água adsorvida/ 100g matéria seca)	
	T _{ent} (°C)	C _{MA} (%)	Polpa cupuaçu comercial	Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Polpa cupuaçu comercial	Polpa cupuaçu <i>in natura</i>
	1	100	8,6	2,52 ± 0,012	6,76±0,005	14,20±0,0040
2	150	8,6	1,44 ± 0,004	3,99±3,990	15,21±0,0010	19,47±0,0010
3	100	26,4	2,88 ± 0,004	4,64±0,001	11,06±0,0005	13,52±0,0020
4	150	26,4	2,55 ± 0,007	2,50±0,001	11,79±0,0004	15,65±0,0010
5	90	17,5	3,50 ± 0,004	4,40±0,002	11,57±0,0010	16,32±0,0005
6	160	17,5	1,30 ± 0,001	2,97±2,970	13,61±0,0002	18,09±0,0010
7	125	5,0	1,99 ± 0,010	6,60±0,017	17,01±0,0009	20,56±0,0001
8	125	30,0	2,87 ± 0,016	2,94±0,001	13,62±0,0027	14,25±0,0020
9	125	17,5	2,94 ± 0,013	2,63±0,004	15,67±0,0001	16,25±0,0002
10	125	17,5	1,75 ± 0,002	2,19±0,001	15,54±0,0014	16,07±0,0010
11	125	17,5	1,97 ± 0,003	2,39±0,007	15,78±0,0005	16,25±0,0010

Na Tabela 5.3 são apresentados os valores dos efeitos significativos ao nível de 90% de confiança para a polpa de cupuaçu comercial e *in natura* em relação ao teor de água.

Tabela 5.3: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta teor de água (%) da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Polpa cupuaçu comercial	Média	2,2203	0,2807	7,9096	0,0005
	T_{ent} (L)	-1,1314	0,3443	-3,2859	0,0218
	T _{ent} (Q)	0,1463	0,4109	0,3560	0,7364
	C _{MA} (L)	0,6797	0,3443	1,9742	0,1054
	C _{MA} (Q)	0,1764	0,4109	0,4295	0,6855
	T _{ent} x C _{MA}	0,3750	0,4862	0,7713	0,4754
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Média	2,4024	0,3217	7,4674	0,0007
	T_{ent} (L)	-1,7367	0,3946	-4,4011	0,0070
	T_{ent} (Q)	1,4080	0,4709	2,9902	0,0304
	C_{MA} (L)	-2,1992	0,3946	-5,5730	0,0026
	C_{MA} (Q)	2,4995	0,4709	5,3082	0,0032
	T _{ent} x C _{MA}	0,3150	0,5572	0,5653	0,5963

Valores em **negrito** são significativos estatisticamente a $p < 0,10$.

De acordo com a Tabela 5.3, o único fator que apresentou influência significativa sobre o teor de água para os pós da polpa de cupuaçu comercial foi a temperatura de entrada linear com efeito negativo. Entretanto, com a exclusão das variáveis não significativas, a variável concentração de maltodextrina linear mostrou influência significativa com um nível de confiança de 90%.

Por outro lado, todos os parâmetros estudados para o teor de água foram significativos para polpa de cupuaçu *in natura*, com exceção da interação entre as variáveis (T_{ent} x C_{MA}).

Na Tabela 5.4 são apresentados os valores dos efeitos significativos ao nível de 90% de confiança para a polpa de cupuaçu comercial e *in natura* em relação à higroscopicidade.

Tabela 5.4: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Polpa cupuaçu comercial	Média	15,6668	0,3748	41,8023	<0,0001
	T_{ent} (L)	1,1575	0,4597	2,5180	0,0533
	T_{ent} (Q)	-3,5365	0,5485	-6,4470	0,0013
	C_{MA} (L)	-2,8434	0,4597	-6,1854	0,0016
	C_{MA} (Q)	-0,7952	0,5485	-1,4496	0,2069
	T_{ent} x C_{MA}	-0,1400	0,6492	-0,2157	0,8378
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Média	16,1925	0,2613	61,9804	<0,0001
	T_{ent} (L)	1,5184	0,3204	4,7385	0,0052
	T_{ent} (Q)	0,6958	0,3824	1,8196	0,1285
	C_{MA} (L)	-4,3221	0,3204	-13,4878	<0,0001
	C_{MA} (Q)	0,8970	0,3824	2,3458	0,0659
	T_{ent} x C_{MA}	0,3500	0,4525	0,7735	0,4742

Valores em **negrito** São significativos estatisticamente a $p < 0,10$.

Para a polpa de cupuaçu comercial, a temperatura de entrada apresentou efeito linear positivo e efeito quadrático negativo, embora os dois sejam significativos em relação à higroscopicidade dos pós. Já em relação à concentração de maltodextrina, seu parâmetro linear teve efeito negativo significativo (Tabela 5.4). Com a exclusão dos efeitos não significativos no quesito higroscopicidade dos pós da polpa de cupuaçu *in natura*, em um nível de confiança de 90%, os únicos efeitos significativos foram os relativos aos parâmetros lineares da temperatura de entrada do ar de secagem, com efeito positivo, e da concentração de maltodextrina, com efeito negativo (Tabela 5.4).

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste com 90 % de confiança ($p \leq 0,10$), através do teste F, na Análise de Variância para o planejamento experimental das duas amostras referente a resposta teor de água (Tabela 5.5).

Extraíndo os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e a falta de ajuste, através do teste F, na ANOVA para a resposta higroscopicidade (Tabela 5.6).

Tabela 5.5: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta teor de água da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Polpa cupuaçu comercial	Regressão	3,47	2	1,74	10,07	3,11
	Resíduos:	1,38	8	0,17		
	- Falta de ajuste	0,58	6	0,10	0,24	9,33
	- Erro puro	0,80	2	0,40		
	Total	4,85	10	0,49	R ² = 71,57 %	
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Regressão	25,12	4	6,28	22,81	3,18
	Resíduos:	1,65	6	0,28		
	Falta de ajuste	1,55	4	0,39	8,01	9,24
	Erro puro	0,10	2	0,05		
	Total	26,77	10	2,68	R ² = 93,83 %	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

Tabela 5.6: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Polpa cupuaçu comercial	Regressão	35,51	3	11,84	27,51	3,07
	Resíduos:	3,01	7	0,43		
	- Falta de ajuste	2,98	5	0,60	41,33	9,29
	- Erro puro	0,03	2	0,01		
	Total	38,52	10	3,85	R ² = 92,18 %	
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Regressão	41,85	2	20,92	65,34	3,11
	Resíduos:	2,56	8	0,32		
	- Falta de ajuste	2,54	6	0,42	39,20	9,33
	- Erro puro	0,02	2	0,01		
	Total	44,41	10	4,44	R ² = 94,23 %	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

O coeficiente de determinação (R^2) referente à resposta teor de água para o modelo ajustado para os pós da polpa de cupuaçu comercial foi de 0,72, indicando que o modelo explicou 71,57 % da variação dos dados observados. Já para os pós da polpa de cupuaçu *in natura*, o coeficiente de determinação (R^2) mostrou-se próximo de 0,94 indicando que o modelo explicou 93,83 % da variação dos dados observados. Não houve falta de ajuste para as duas polpa no quesito teor de água.

O coeficiente de determinação (R^2) referente à resposta higroscopicidade para o modelo ajustado para os pós de polpa de cupuaçu comercial encapsulados com maltodextrina foi de 0,92, explicando 92,18% da variação dos dados observados e indicando que se pode construir modelo matemático e superfícies de resposta. Para os pós de polpa de cupuaçu *in natura*, obteve-se coeficiente de determinação (R^2) de 0,94 indicando que o modelo explicou 94,23% da variação dos dados observados. Houve falta de ajuste para as duas polpas no quesito higroscopicidade

Os modelos codificados propostos para representarem o teor de água das partículas resultantes do processo de secagem das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* com maltodextrina como agente encapsulante, dentro dos limites de temperatura e concentrações de agente estudados, são descritos pelas equações 5.1 e 5.2, respectivamente.

$$\mathbb{G}_{PCC} = 2,34 - 0,57T_{ent} + 0,34C_{MA} \quad (5.1)$$

$$\mathbb{G}_{PCI} = 2,40 - 0,87T_{ent} + 0,70T_{ent}^2 - 1,10C_{MA} + 1,25C_{MA}^2 \quad (5.2)$$

Onde: T_{ent} e C_{MA} representam as variáveis codificadas temperatura do ar de entrada e concentração de maltodextrina, e (\mathbb{G}_{PCC} e \mathbb{G}_{PCI} - %) são os teores de água dos pós das polpas de cupuaçu comercial e *in natura*.

Os modelos apresentaram regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{calculado} > F_{tabelado}$). Portanto, os modelos ajustados para teor de água dos pós resultantes das secagens das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* encapsulados com maltodextrina em atomizador foram considerados preditivos.

Os modelos codificados propostos para representar a higroscopicidade dos pós obtidos nos processos de secagens das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* com maltodextrina,

dentro dos limites de temperatura do ar de entrada no secador e concentração de agente estudados, são mostrados nas equações 5.3 e 5.4, respectivamente.

$$H_{PCC} = 15,29 + 0,58T_{ent} - 1,65T_{ent}^2 - 1,42C_{MA} \quad (5.3)$$

$$H_{PCI} = 16,77 + 0,76T_{ent} - 2,16C_{MA} \quad (5.4)$$

Onde: T_{ent} e C_{MA} representam as variáveis codificadas temperatura de entrada do ar e concentração de maltodextrina, e (H_{PCC} e H_{PCI} - g água adsorvida/100g matéria seca) são as higroscopiedades dos pós das polpas de cupuaçu comercial e *in natura*.

Os modelos apresentaram regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{calculado} > F_{tabelado}$). Portanto, os modelos ajustados para higroscopiedade resultantes das secagens de polpas de cupuaçu comercial e *in natura* encapsuladas com maltodextrina em atomizador foram considerados preditivos.

As Figuras 5.1 e 5.2 mostram as superfícies de resposta e curvas de contorno geradas através dos modelos propostos.

De acordo com a Figura 5.1, as variáveis concentração de maltodextrina e temperatura de entrada influenciaram o teor de água da polpa de cupuaçu comercial em pó, sendo que quando se aumenta a temperatura de entrada, diminui-se o teor de água e quando se aumenta a concentração de maltodextrina, aumenta-se o teor de água, corroborando com o modelo expresso pela equação 5.1.

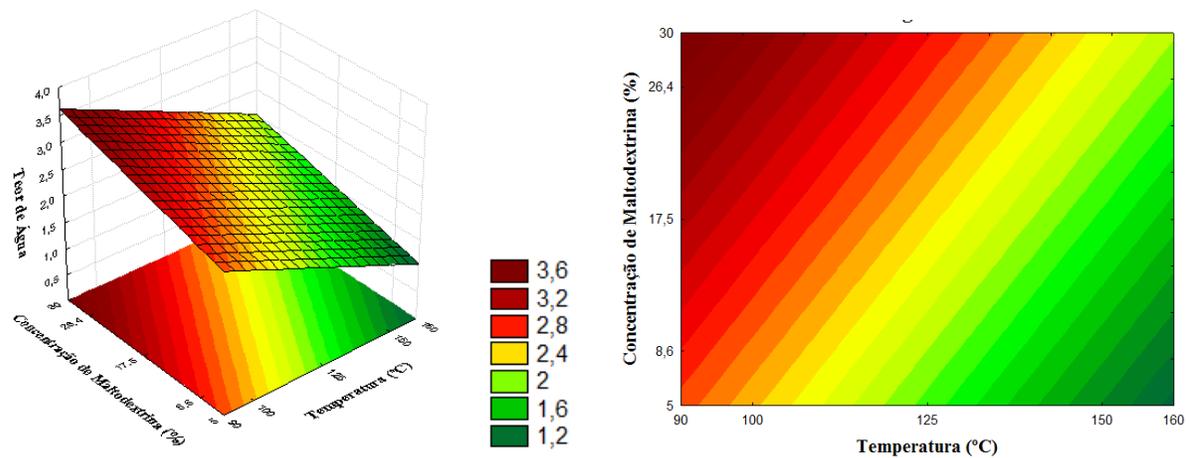


Figura 5.1: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta teor de água (%) da polpa de cupuaçu comercial.

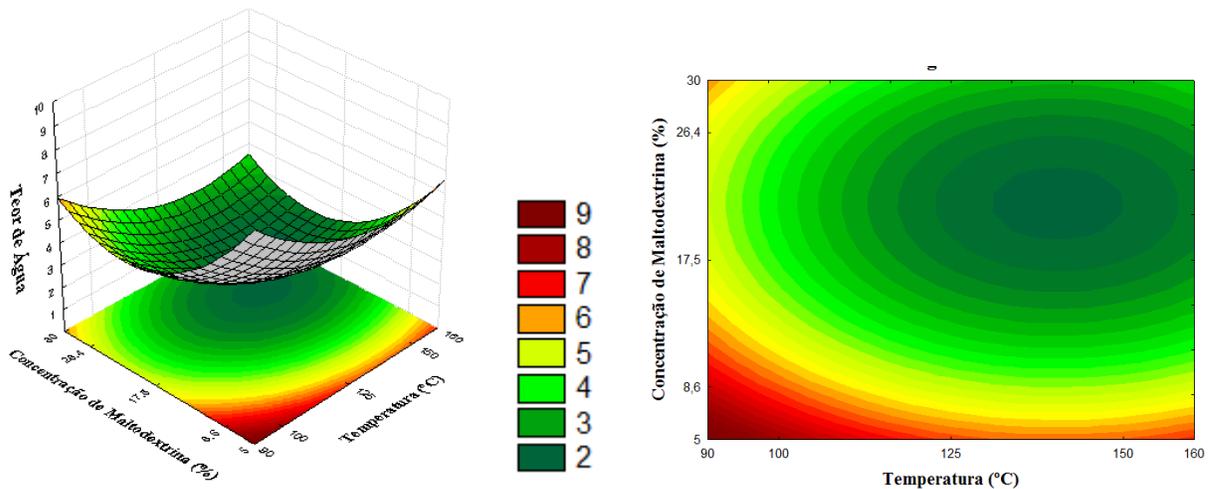


Figura 5.2: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta teor de água (%) da polpa de cupuaçu *in natura*.

Já para a polpa de cupuaçu *in natura* (Figura 5.2), os menores valores para o teor de água estão nos pontos centralizados do planejamento experimental deslocados para maiores temperaturas de entrada do ar e maiores concentrações de agente carreador. A variável concentração de maltodextrina influenciou o teor de água visto que, nos limites estudados, os maiores valores para esta resposta estão localizados na região de menores porcentagens de agente carreador. A temperatura de entrada para a polpa de cupuaçu *in natura* em pó, mostrou influencia, pois os maiores valores de teor de água foram obtidos quando se utilizaram os menores valores de temperatura de entrada. Isto se explica, pois a adição de encapsulante no

extrato a ser seco em atomizador aumenta a concentração de sólidos solúveis (°Brix), reduzindo assim o teor de água total disponível para evaporação dentro do equipamento. Em concordância com este estudo, tem-se os teores de água encontrados por Krishnaiah *et al.* (2012) que trabalharam com extrato de *Morinda citrifolia L.*

Entretanto, em baixas concentrações de maltodextrina e no menor valor de temperatura de entrada (90°C), houve um fenômeno de aumento no teor de água para os pós da polpa de cupuaçu *in natura* se aproximando do acontecido no planejamento experimental da polpa de cupuaçu comercial, em que os maiores valores de teor de água estão nos maiores valores de concentração de encapsulante. Isto corrobora com a hipótese de que a maltodextrina talvez não seja o melhor agente carreador para polpa de cupuaçu e/ou a faixa de temperatura de entrada não foi favorável à formação das cápsulas. Porém, a encapsulação da polpa de cupuaçu não tem como ser verificada somente pela leitura da superfície de resposta do teor de água, devido à complexidade de reações físico-químicas que acontecem nesse processo de atomização.

Durante os ensaios experimentais de secagem, foi notado que havia menos formação de pó para os ensaios com menores concentrações de maltodextrina, provavelmente devido a não encapsulação pelo agente carreador. O pó formado muitas vezes se aderiu ao ciclone em vez de se acumular no coletor central possivelmente por ser composto de cápsulas com massa específica real muito pequena. Contudo, quando se detinha no coletor principal, as partículas se acumulavam formando uma camada compacta aderida às paredes do coletor sem, no entanto perder as características de pó. Uma simples movimentação fazia com que a camada se dispersasse em pó. É notória também a grande aderência na câmara de secagem após o extrato ser pulverizado para a secagem, nos ensaios com baixa concentração de encapsulante .

Para os pós da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*, à medida que a concentração de agente carreador aumenta, a higroscopicidade dos pós diminui e o teor de água aumenta, são inversamente proporcionais, devido à baixa higroscopicidade da maltodextrina. Ferrari *et al.* (2012b), estudando amoras secas no atomizador verificaram o mesmo efeito que este trabalho, pois os valores de higroscopicidade dos pós obtidos foram inversamente proporcionais aos valores de teor de água dos pós, ou seja, com um menor teor de água houve maior higroscopicidade. Explica-se pelo fato de que, se o produto já tem mais água, tem menor capacidade de sequestrar água no ambiente.

Nas Figuras 5.3 e 5.4 estão apresentadas as superfícies de resposta e curvas de contorno para a variável dependente higroscopicidade dos pós de polpa de cupuaçu comercial e *in natura* utilizando maltodextrina como encapsulante das partículas.

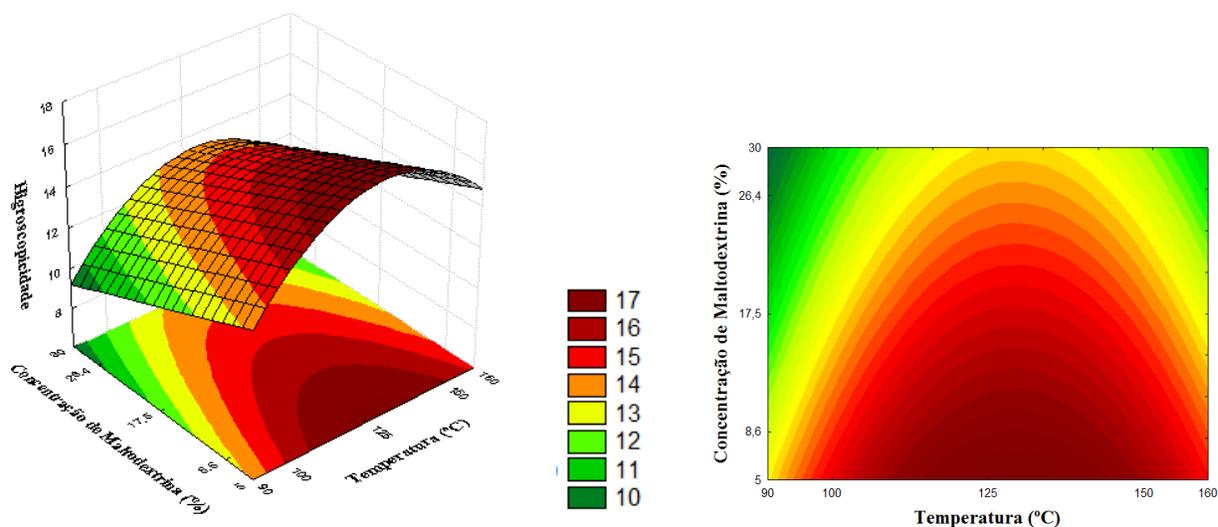


Figura 5.3: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta higroscopicidade (%) da polpa de cupuaçu comercial.

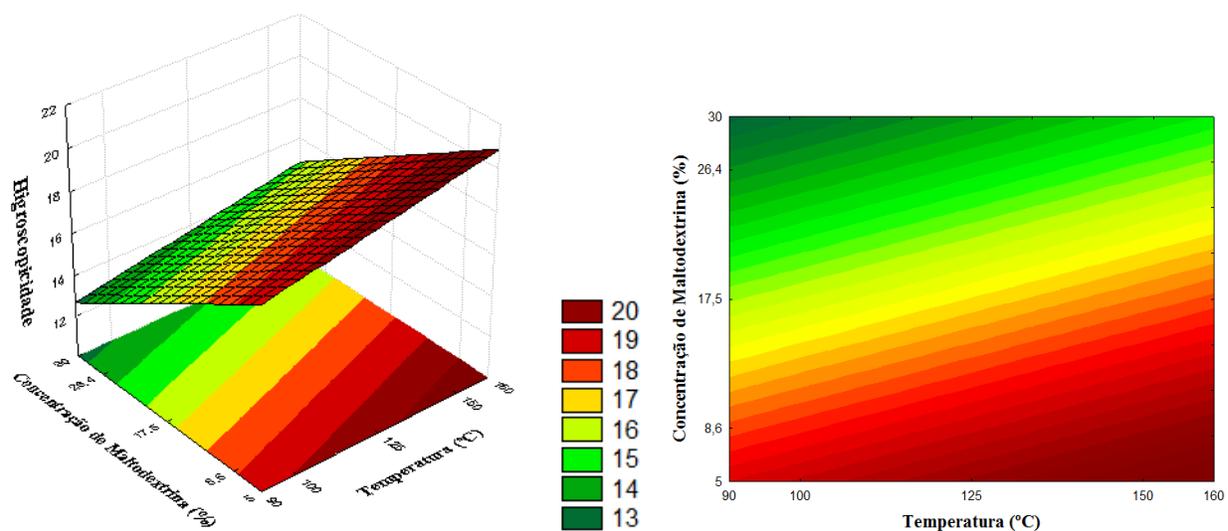


Figura 5.4: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta higroscopicidade (%) da polpa de cupuaçu *in natura*.

5.2.2 Rendimento de secagem dos pós de polpa de cupuaçu

Os rendimentos obtidos em cada ensaio de secagem estão apresentados na Tabela 5.7, juntamente com a temperatura de entrada do ar e a concentração de maltodextrina referente aos planejamentos experimentais.

Tabela 5.7: Rendimento do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* e comercial por atomizador.

Ensaio	T _{ent} (°C)	C _{MA} (%)	Rendimento (%)	
			Polpa cupuaçu comercial	Polpa cupuaçu <i>in natura</i>
1	100	8,6	32,88	27,82
2	150	8,6	33,48	34,32
3	100	26,4	30,11	30,2
4	150	26,4	35,85	33,68
5	90	17,5	34,10	33,58
6	160	17,5	40,22	36,92
7	125	5,0	27,93	28,27
8	125	30,0	38,97	35,76
9	125	17,5	30,85	30,38
10	125	17,5	32,31	28,58
11	125	17,5	25,62	30,33

Os valores de rendimento de secagem dos pós da polpa de cupuaçu comercial encapsulados com maltodextrina variaram de 25,62 a 40,22% referentes aos ensaios 11 (125°C de T_{ent} e 17,5% de C_{MA}) e 6 (160°C de T_{ent} e 17,5% de C_{MA}) do planejamento experimental, respectivamente (Tabela 5.7). O rendimento de secagem para a polpa de cupuaçu *in natura* variou de 28,27 a 36,92% referente aos ensaios 7 (125°C de T_{ent} e 5% de C_{MA}) e 6 (160°C de T_{ent} e 17,5% de C_{MA}), respectivamente (Tabela 5.7).

Na Tabela 5.8 são apresentados os valores dos efeitos significativos ao nível de 90% de significância para a polpa de cupuaçu comercial e *in natura* em relação ao rendimento de secagem.

O rendimento final do pó da polpa de cupuaçu comercial encapsulado com maltodextrina não foi influenciado significativamente ($p \leq 0,10$), após a exclusão dos efeitos não significativos, por nenhuma das variáveis estudadas, impossibilitando a verificação dos efeitos e obtenção de modelo (Tabela 5.8).

Já para os pós da polpa de cupuaçu *in natura*, apenas os efeitos quadráticos da concentração de agente encapsulante e a interação não influenciaram a resposta, após a exclusão dos efeitos não significativos, além de todos os efeitos significativos serem positivos (Tabela 5.8).

Tabela 5.8: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Polpa cupuaçu comercial	Média	29,6023	2,1247	13,9322	<0,0001
	T _{ent} (L)	3,7535	2,6062	1,4402	0,2094
	T_{ent} (Q)	6,4666	3,1098	2,0794	0,0921
	C _{MA} (L)	3,8029	2,6062	1,4592	0,2043
	C _{MA} (Q)	2,7344	3,1098	0,8793	0,4195
	T _{ent} X C _{MA}	2,5700	3,6802	0,6983	0,5161
Polpa cupuaçu in natura	Média	29,7719	1,2795	23,2678	<0,0001
	T _{ent} (L)	3,6833	1,5695	2,3469	0,0658
	T_{ent} (Q)	4,4292	1,8728	2,3651	0,0643
	C _{MA} (L)	3,0844	1,5695	1,9653	0,1066
	C _{MA} (Q)	1,1748	1,8728	0,6273	0,5580
	T _{ent} X C _{MA}	-1,5100	2,2162	-0,6813	0,5259

Valores em **negrito** são significativos estatisticamente a $p < 0,10$.

Tabela 5.9: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta rendimento da polpa de cupuaçu *in natura*.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	71,58	3	23,86	5,81	3,07
Resíduos:	28,77	7	4,11		
- Falta de ajuste	26,67	5	5,33	5,08	9,29
- Erro puro	2,10	2	1,05		
Total	100,36	10	10,04	R ² = 71,33 %	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$), através do teste F, na Análise de Variância para o planejamento experimental da polpa de cupuaçu *in natura* Tabela 5.9.

O modelo codificado proposto representa o rendimento de secagem das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* com maltodextrina como agente encapsulante, dentro dos limites de temperatura e concentrações de agentes estudados. O modelo é descrito pela Equação 5.5.

$$RS_{PCI} = 30,32 + 1,84T_{ent} + 2,04T_{ent}^2 - 1,54C_{MA} \quad (5.5)$$

Onde: T_{ent} e C_{MA} representam as variáveis codificadas temperatura do ar de entrada e concentração de maltodextrina e (RS_{PCI} -%) é o rendimento de secagem da polpa de cupuaçu *in natura*.

O modelo apresenta regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{calculado} > F_{tabelado}$). Portanto, o modelo ajustado para rendimento das secagens da polpa de cupuaçu *in natura* encapsulado com maltodextrina em atomizador foi considerado preditivo, sem falta de ajuste.

A Figura 5.5 mostra a superfície de resposta e as curvas de contorno geradas através do modelo proposto para o rendimento da polpa de cupuaçu *in natura*.

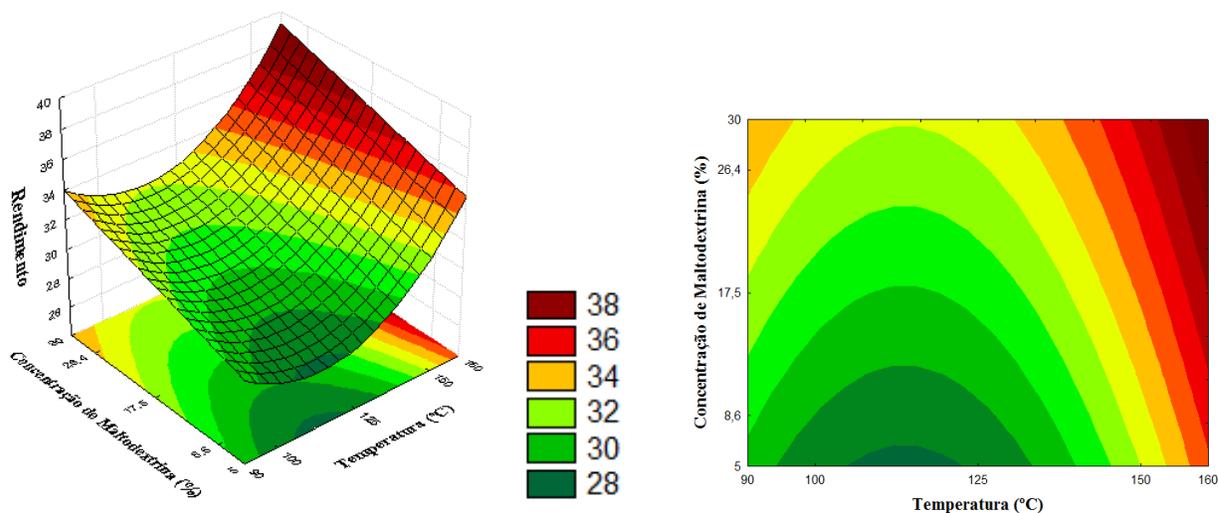


Figura 5.5: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta rendimento da polpa de cupuaçu *in natura*.

Como pode-se observar, os maiores valores de rendimento do processo foram obtidos nas maiores faixas do parâmetro concentração de maltodextrina e nas maiores faixas de temperatura de entrada no secador de 17,5 a 30% e 150 a 160 °C, respectivamente. A utilização de maiores porcentagens de maltodextrina reflete diretamente no rendimento de secagem da polpa de cupuaçu, pois a adição da maltodextrina aumenta a T_g facilitando a secagem. Outra razão para explicar a faixa de menor rendimento (T_{ent} entre 100 a 125°C e C_{MA} de 5 a 8,6%) pode ser a concentração de maltodextrina insuficiente para encapsular a porcentagem de polpa definida pelo planejamento experimental. Já no fator temperatura de entrada, as maiores faixas são facilitadoras no quesito rendimento do processo. Entretanto, para a polpa de cupuaçu, um dos objetivos é não degradar a vitamina C que é sensível ao calor.

5.2.3 Atividade de água dos pós de polpa de cupuaçu

As atividades de água obtidas em cada ensaio de secagem estão apresentadas na Tabela 5.10, juntamente com a temperatura de entrada do ar e a concentração de maltodextrina referente aos planejamentos experimentais.

Tabela 5.10: Atividade de água do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* e comercial por atomizador à 25°C.

Ensaio	T _{ent} (°C)	C _{MA} (%)	Atividade de Água	
			Polpa cupuaçu comercial	Polpa cupuaçu <i>in natura</i>
1	100	8,6	0,29±0,03	0,23±0,0072
2	150	8,6	0,22±0,02	0,08±0,0121
3	100	26,4	0,17±0,01	0,16±0,0064
4	150	26,4	0,11±0,00	0,06±0,0004
5	90	17,5	0,27±0,01	0,22±0,0306
6	160	17,5	0,11±0,01	0,15±0,0124
7	125	5,0	0,15±0,01	0,17±0,0194
8	125	30,0	0,12±0,01	0,09±0,0168
9	125	17,5	0,15±0,02	0,10±0,0113
10	125	17,5	0,09±0,01	0,10±0,0058
11	125	17,5	0,13±0,02	0,10±0,0104

A atividade de água (A_w) do pó de polpa de cupuaçu oscilou de 0,09 a 0,29, correspondentes aos ensaios 10 (125°C de T_{ent} e 17,5 de C_{MA}) e 1 (100°C de T_{ent} e 8,6% de C_{MA}), respectivamente. Para os pós da polpa *in natura* variou de 0,06 a 0,23, correspondentes aos ensaios 4 (150°C de T_{ent} e 26,4% de C_{MA}) e 1 (100°C de T_{ent} e 8,6% de C_{MA}), respectivamente. Nenhum ensaio apresentou atividade de água acima de 0,30. Altas atividades de água indicam mais água livre disponível para as reações bioquímicas e, conseqüentemente, vida útil mais curta. Geralmente, alimentos com atividades de água menores que 0,30 são considerados microbiologicamente estáveis e a ocorrência de deteriorações é induzida por reações químicas ao invés de microrganismos (QUEK *et al.*, 2007). Osman e Endut (2009), estudando a secagem de suco de abacaxi por atomizador, encontraram valores de A_w de 0,18 a 0,22. Estes valores aumentavam à medida que a temperatura de entrada e a concentração de maltodextrina decresciam.

Na Tabela 5.11 são apresentados os valores dos efeitos significativos ao nível de 90% de confiança para a polpa de cupuaçu comercial e *in natura* em relação à atividade de água.

Tabela 5.11: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água da polpa de cupuaçu comercial.

	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Polpa de cupuaçu comercial	Média	0,0995	0,0345	2,8817	0,0345
	T_{ent} (L)	-0,0892	0,0424	-2,1047	0,0892
	T_{ent} (Q)	0,1084	0,0506	2,1449	0,0848
	C_{MA} (L)	-0,0683	0,0424	-1,6117	0,1679
	C_{MA} (Q)	0,0531	0,0506	1,0504	0,3416
	T_{ent} x C_{MA}	0,0050	0,0598	0,0836	0,9366
Polpa de cupuaçu in natura	Média	0,1001	0,0167	5,9992	0,0018
	T_{ent} (L)	-0,0874	0,0205	-4,2721	0,0079
	T_{ent} (Q)	0,0727	0,0244	2,9752	0,0310
	C_{MA} (L)	-0,0509	0,0205	-2,4846	0,0555
	C_{MA} (Q)	0,0173	0,0244	0,7097	0,5096
	T_{ent} x C_{MA}	0,0250	0,0289	0,8650	0,4266

Valores em **negrito** são significativos estatisticamente a $p < 0,10$.

Verificou-se que a atividade de água final do pó da polpa de cupuaçu comercial encapsulado com maltodextrina, após eliminação dos efeitos não significativos, não foi influenciada significativamente ($p \leq 0,10$) por nenhuma das variáveis estudadas, inclusive pelos parâmetros que inicialmente eram significativos. Dessa forma, não foi possível verificar os efeitos e nem obter modelo matemático.

Para os pós da polpa de cupuaçu *in natura*, foram significantes os efeitos da temperatura de entrada linear de forma negativa e quadrática de forma positiva, enquanto que, para o parâmetro concentração de maltodextrina, apenas o efeito linear foi significativo de forma negativa ao nível de 90 % de confiança.

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$), através do teste F, na Análise de Variância para o planejamento experimental da polpa de cupuaçu *in natura* (Tabela 5.12).

Tabela 5.12: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta atividade de água da polpa de cupuaçu *in natura*.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,03	3	0,01	12,24	3,07
Resíduos:	0,01	7	0,00		
- Falta de ajuste	0,0052	5	0,00	-	9,29
- Erro puro	0,0000	2	0,00		
Total	0,0326	10	0,00	R ² = 83,99 %	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

O modelo codificado proposto representa a atividade de água das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* com maltodextrina como agente encapsulante, dentro dos limites de temperatura e concentrações de agentes estudados. O modelo é descrito pela Equação 5.6.

$$Aw_{PCI} = 0,11 - 0,04T_{ent} + 0,03T_{ent}^2 - 0,03C_{MA} \quad (5.6)$$

Onde: T_{ent} e C_{MA} representam as variáveis codificadas temperatura do ar de entrada e concentração de maltodextrina e (Aw_{PCI} – decimal) é a atividade de água dos pós da polpa de cupuaçu *in natura*.

O modelo apresenta regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{calculado} > F_{tabelado}$). Portanto, o modelo ajustado para a atividade de água da polpa de cupuaçu *in natura* encapsulado com maltodextrina em atomizador foi considerado preditivo, sem falta de ajuste, a ausência de f calculado para o erro puro é resultante da pontual repetibilidade dos pontos centrais.

A Figura 5.6 mostra a superfície de resposta e curva de contorno gerada através do modelo proposto para a atividade de água da polpa de cupuaçu *in natura*.

Atividades de água abaixo de 0,30 refletem em pós estáveis, pois a água presente está intimamente ligada e não disponível para desencadear reações de degradação. Entretanto, para alimentos oleosos, que não é o caso deste estudo, tornam-se susceptíveis à oxidação lipídica e fungos visto que há uma concentração maior dos nutrientes. Neste trabalho, todos os ensaios

apresentaram valores abaixo de 0,30 para atividade de água. Contudo, as menores temperaturas de entrada geraram maiores valores de A_w , dependendo da temperatura de T_g . Por isso, espera-se que em maiores temperaturas de entrada do ar, a atividade de água dos pós acompanhem o comportamento do teor de água.

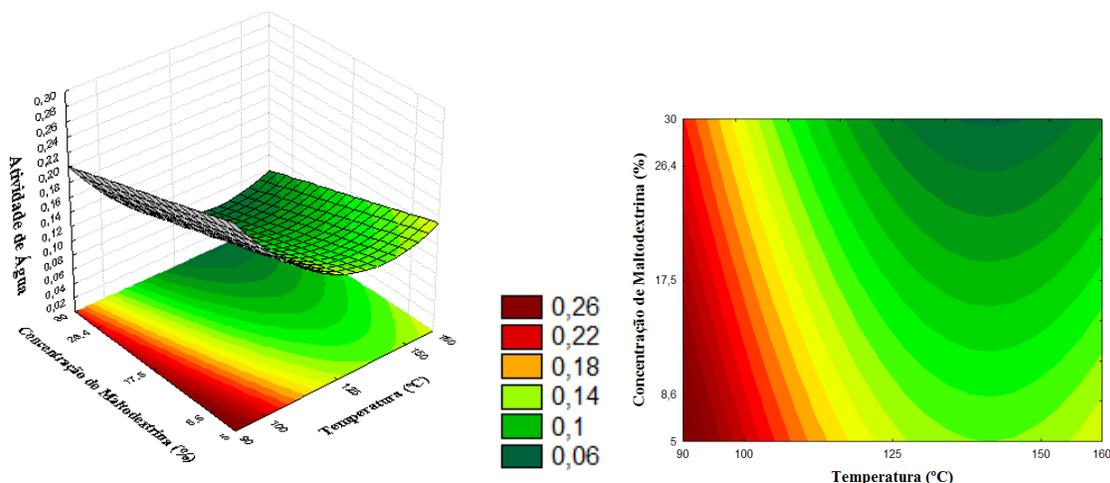


Figura 5.6: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta atividade de água da polpa de cupuaçu *in natura*.

5.2.4 Vitamina C dos pós de polpa de cupuaçu

Os teores de vitaminas C obtidos em cada ensaio de secagem estão apresentados na Tabela 5.13, juntamente com a temperatura de entrada do ar e a concentração de maltodextrina referente ao planejamento experimental.

Os teores de vitamina C obtidos nos pós das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* encapsuladas com maltodextrina são encontrados na Tabela 5.13. Os valores experimentais de vitamina C para os pós da polpa de cupuaçu comercial variaram de 60,40 a 218,75 mg de ácido ascórbico/100g sólidos de polpa no pó referentes aos ensaios 1 (100°C de T_{ent} e 8,6% de C_{MA}) e 8 (125°C de T_{ent} e 30% de C_{MA}). Já os ensaios para a polpa de cupuaçu *in natura* oscilaram de 178,55 a 489 mg de ácido ascórbico/100g sólidos de no pó, referentes aos ensaios 7 (125°C de T_{ent} e 5% de C_{MA}) e 3 (100°C de T_{ent} e 26,4% de C_{MA}). Os pós, apesar das perdas com a secagem, mantiveram a vitamina C comparando os pós das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* com os produtos iniciais.

Tabela 5.13: Vitamina C do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* e comercial por atomizador.

Ensaio	Vitamina C			
	T _{ent} (°C)	C _{MA} (%)	(mg ácido ascórbico/100g sólidos polpa em pó)	
			Polpa cupuaçu comercial	Polpa cupuaçu <i>in natura</i>
1	100	8,6	60,40±4,26	184,58±4,20
2	150	8,6	87,25±3,99	225,43±1,99
3	100	26,4	167,96±1,46	489,00±1,63
4	150	26,4	132,10±1,25	402,79±2,27
5	90	17,5	123,68±4,83	270,25±2,32
6	160	17,5	124,74±1,28	282,36±1,22
7	125	5	71,39±2,87	178,55±4,87
8	125	30	218,75±1,21	411,38±1,59
9	125	17,5	84,48±1,21	269,22±1,61
10	125	17,5	103,15±2,00	266,43±2,16
11	125	17,5	112,90±0,80	228,08±0,81

A polpa de cupuaçu comercial e o cupuaçu *in natura* iniciais apresentaram maior presença de vitamina C que estudo feito por Santos *et al.* (2010) que pesquisou a atividade antioxidante, presença de carotenoides e vitamina C em diversas polpas comerciais e produtos a base de cupuaçu. Os autores encontraram, para vitamina C entre 6 polpas comerciais do estado do Ceará, uma faixa entre 5,05 a 15,26 mg de ácido ascórbico/100g de polpa. Já para suco integral e suco pronto para beber (néctar), encontraram valores iguais de 4,95 mg de ácido ascórbico/100g de suco. Por fim, para a amostra de polpa de cupuaçu acrescido de conservante e sacarose, encontraram valor de 9,90 mg de ácido ascórbico/100g de dessa polpa. Já para o presente trabalho a polpa comercial apresentou vitamina C de 26,16 mg de ácido ascórbico/100g de polpa, estando acima da faixa acima referida. Para o cupuaçu *in natura*, despolpados como referido na metodologia desse trabalho, apresentou teor de vitamina C de 56,16 mg de ácido ascórbico/100g de polpa.

Transformando os valores iniciais de vitamina C, da matéria-prima utilizada nesse trabalho, que são de 23,16 e 56,15 mg de ácido ascórbico/100g de polpa, das polpas de

cupuaçu comercial e *in natura*, respectivamente, para base seca obtendo-se 200,2 e 346,67 mg de ácido ascórbico/ 100g de sólidos da polpa, respectivamente. Isto levando em consideração o teor de água inicial de cada polpa. Entretanto, os teores de vitamina C obtidos experimentalmente através do planejamento experimental dos pós das polpas de cupuaçu comercial e *in natura*, foram determinados excluindo a porção de água residual dos pós e a porcentagem de maltodextrina de cada ensaio, a fim de evidenciar a preservação de vitamina C pelos sólidos de polpa no pó. Os valores são referenciados em (mg de ácido ascórbico/ 100g de sólidos da polpa no pó), onde estão descritos na Tabela 5.13. Os teores estando em base seca, esclarecem que houve boa retenção da vitamina C do cupuaçu pela maltodextrina, na faixa entre 24,6 e 30% de concentração de maltodextrina.

Na Tabela 5.14, estão apresentados os efeitos estimados ao nível de 90% de confiança para a resposta vitamina C das polpas de cupuaçu comercial e *in natura*.

Tabela 5.14: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta vitamina C (%) da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Polpa cupuaçu comercial	Média	100,2702	11,17730	8,97087	0,000287
	T _{ent} (L)	-1,8852	13,70991	-0,13750	0,895999
	T _{ent} (Q)	12,5541	16,35949	0,76739	0,477503
	C _{MA} (L)	90,3180	13,70991	6,58779	0,001210
	C _{MA} (Q)	33,5423	16,35949	2,05032	0,095603
	T _{ent} x C _{MA}	-31,3570	19,35988	-1,61969	0,166224
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Média	254,3654	25,32322	10,04475	0,000167
	T _{ent} (L)	-20,9425	31,06109	-0,67424	0,530070
	T _{ent} (Q)	48,9493	37,06397	1,32067	0,243828
	C _{MA} (L)	189,2715	31,06109	6,09352	0,001722
	C _{MA} (Q)	67,7198	37,06397	1,82710	0,127241
	T _{ent} x C _{MA}	-35,9117	43,86163	-0,81875	0,450176

Valores em Negrito são significativos estatisticamente a $p < 0,10$.

Para as polpas de cupuaçu apenas o fator concentração de maltodextrina influenciou significativamente a resposta vitamina C dos pós da polpa de cupuaçu comercial apresentando

efeito positivo para os parâmetros linear e quadrático, indicando que os teores de vitamina C aumentam à medida que a concentração de maltodextrina aumenta. O mesmo aconteceu para os pós de cupuaçu *in natura*. Porém, somente a concentração de maltodextrina linear foi significativa, também com efeito positivo.

Observa-se que a temperatura do ar de entrada no secador não mostrou influência na vitamina C. Isto contradiz com os resultados obtidos por Angel *et al.* (2009), estudando a atomização de suco de maracujá em atomizador com uma mistura de lactose e maltodextrina, nos quais a vitamina C dos pós manteve-se em maior quantidade quanto menor foi a temperatura de entrada. Contudo, se esse fenômeno de retenção da vitamina C para a polpa de cupuaçu em maiores temperaturas tiver recorrência, isto resulta em algo desejável, pois tal fato possibilita aumentar a faixa de temperatura de entrada do ar, aumentando o rendimento de processo e possibilitando testar a encapsulação (coesão da maltodextrina com a polpa de cupuaçu) em níveis maiores de temperatura do ar de entrada.

Extraindo os fatores não significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 90% de confiança ($p \leq 0,10$), através do teste F, na análise de variância (Tabela 5.15).

Tabela 5.15: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta vitamina C da polpa de cupuaçu comercial.

		Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Polpa cupuaçu comercial		Regressão	17632,9	2	8816,45	22,86	3,11
		Resíduos:	3085,09	8	385,64		
		- Falta de ajuste	2668,11	6	444,69		
		- Erro puro	416,98	2	208,49	2,13	9,33
		Total	20717,99	10	2071,8	R ² = 85,11 %	
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>		Regressão	82271,4	1	82271,4	41,76	3,36
		Resíduos:	17728,8	9	1969,87		
		- Falta de ajuste	16672	7	2381,71		
		- Erro puro	1056,8	2	528,4	4,51	2,72
		Total	100000,2	10	10000,02	R ² = 82,27 %	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

Os modelos propostos para descrever a retenção de vitamina C dos pós das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* encapsuladas com maltodextrina apresentaram coeficiente de determinação (R^2) de 85,11 e 82,27%, respectivamente. A regressão e a falta de ajuste do modelo apresentaram-se significativos para a polpa de cupuaçu *in natura*. Sendo assim, o modelo ajustado foi considerado preditivo, porém com falta de ajuste.

Os modelos codificados propostos representam os teores de vitamina C das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de cupuaçu comercial e *in natura* com maltodextrina como agente encapsulante, dentro dos limites de temperatura e concentrações de agentes estudados. Os modelos são descritos pelas Equações 5.7 e 5.8.

$$VC_{PCC} = 106,15 + 45,16C_{MA} + 14,94C_{MA}^2 \quad (5.7)$$

$$VC_{PCI} = 296,66 + 94,64C_{MA} \quad (5.8)$$

Onde: T_{ent} e C_{MA} representam as variáveis codificadas temperatura do ar de entrada e concentração de maltodextrina, e (VC_{PCC} e VC_{PCI} - mg ácido ascórbico/100g sólidos polpa em pó) são as vitamina C dos pós da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

O modelo apresenta regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{calculado} > F_{tabelado}$). Portanto, o modelo ajustado para a vitamina C da polpa de cupuaçu *in natura* encapsulado com maltodextrina em atomizador foi considerado preditivo, porém com falta de ajuste.

As Figuras 5.7 e 5.8 mostram as superfícies de resposta e as curvas de contorno geradas através dos modelos propostos para vitamina C da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

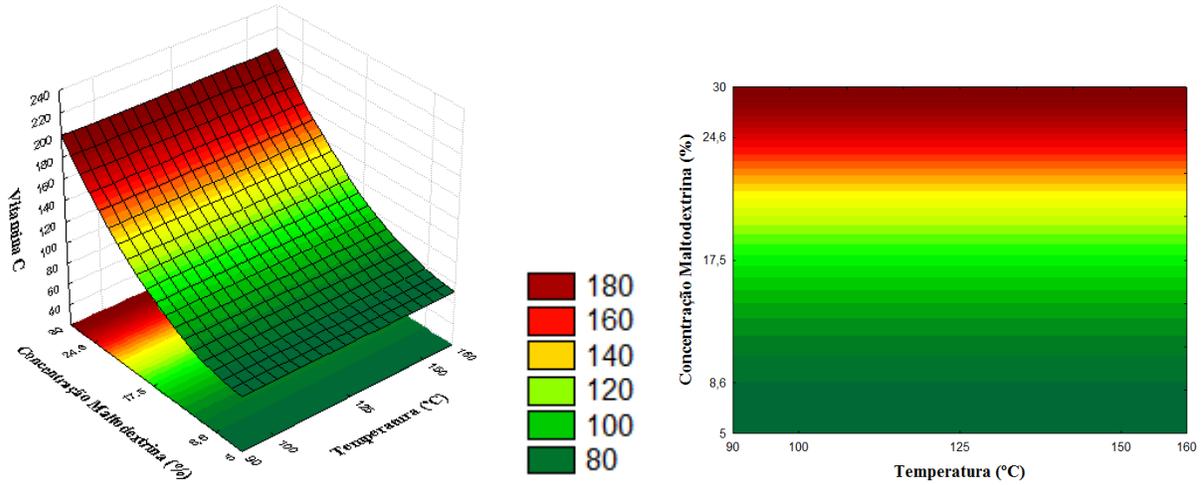


Figura 5.7: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta vitamina C (%) da polpa de cupuaçu comercial.

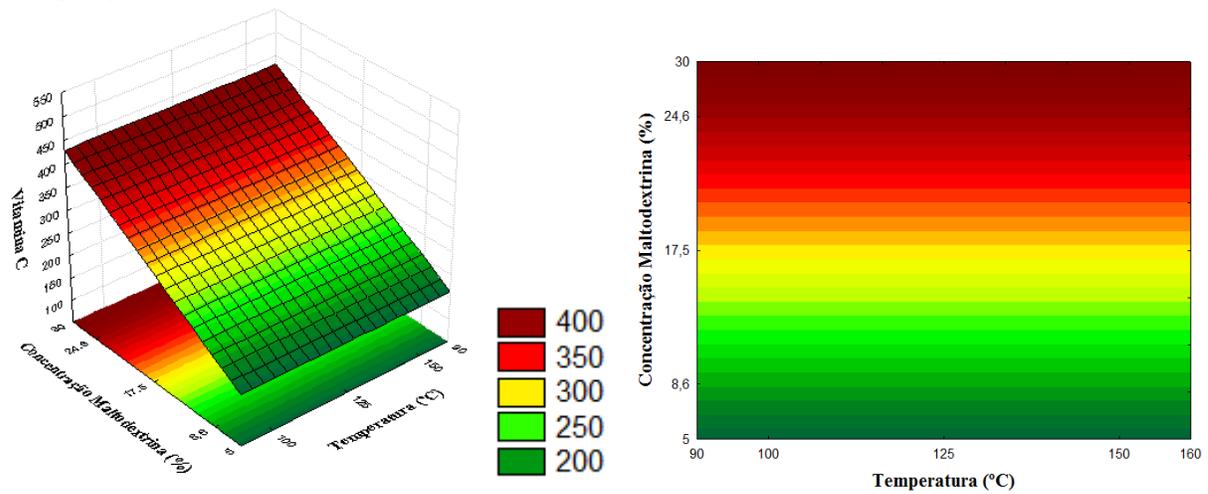


Figura 5.8: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta vitamina C (%) da polpa de cupuaçu *in natura*.

Os maiores níveis de vitamina C encontrados para as polpas de cupuaçu comercial e *in natura* encapsulado com maltodextrina estão localizados na maior faixa de concentração de carreador, por volta de 24,6 a 30%. Isto pode ter ocorrido pela coesividade do material de parede com o núcleo.

5.2.5 pH dos pós de polpa de cupuaçu

O pH obtido em cada ensaio de secagem estão apresentadas na Tabela 5.16, juntamente com a temperatura de entrada do ar e a concentração de maltodextrina referente aos planejamentos experimentais.

Os valores de pH dos pós de polpa de cupuaçu comercial encapsulados com maltodextrina variaram de 3,38 a 3,52 referentes aos ensaios 1 (100°C de T_{ent} e 8,6% de C_{MA}) e 7 (125°C de T_{ent} e 5% de C_{MA}) do planejamento experimental, respectivamente Tabela 5.16. O pH para a polpa de cupuaçu *in natura* variou de 3,43 a 3,77 referente aos ensaios 2 (150°C de T_{ent} e 8,6% de C_{MA}) e 9 (125°C de T_{ent} e 17,5% de C_{MA}), respectivamente Tabela 5.16.

Tabela 5.16: pH do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* e comercial por atomizador.

Ensaio	T_{ent} (°C)	C_{MA} (%)	pH	
			Polpa cupuaçu comercial	Polpa cupuaçu <i>in natura</i>
1	100	8,6	3,38±0,00	3,54±0,07
2	150	8,6	3,46±0,00	3,43±0,15
3	100	26,4	3,43±0,01	3,51±0,06
4	150	26,4	3,47±0,01	3,58±0,00
5	90	17,5	3,44±0,01	3,58±0,01
6	160	17,5	3,46±0,00	3,62±0,00
7	125	5,0	3,52±0,01	3,66±0,02
8	125	30,0	3,44±0,01	3,55±0,01
9	125	17,5	3,45±0,01	3,77±0,01
10	125	17,5	3,50±0,09	3,76±0,01
11	125	17,5	3,45±0,01	3,77±0,01

O cupuaçu é um alimento ácido, apesar de ter apresentado variação entre os ensaios. Verificou-se que em todos os ensaios apresentaram pH menor que 3,77 (Tabela 5.16), sendo classificados como muito ácidos. De acordo com Jay (2005), os alimentos são classificados

como de baixa acidez ($\text{pH} > 4,50$), ácidos (pH de 4,00 a 4,50) e muito ácidos ($\text{pH} < 4,00$). Essa classificação se baseia no pH mínimo para a multiplicação e produção de toxina do *Clostridium botulinum* (4,50) e para a multiplicação da grande maioria das bactérias (4,00). Segundo ensaios dessa análise, não foram observados riscos de desenvolvimento de toxinas desse grupo de bactérias ou de outros grupos patogênicos.

Na Tabela 5.17, são apresentados os valores dos efeitos significativos ao nível de 10% de significância para a polpa de cupuaçu comercial e *in natura* em relação ao pH .

Para a polpa de cupuaçu comercial, nenhum efeito foi significativo na faixa de parâmetros utilizada, impossibilitando a geração de modelo, regressão e coeficiente de determinação.

Tabela 5.17: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta pH da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Polpa cupuaçu comercial	Média	3,4668	0,0235	147,8119	0,0000
	T_{ent} (L)	0,0372	0,0288	1,2917	0,2529
	T_{ent} (Q)	-0,0320	0,0343	-0,9313	0,3944
	C_{MA} (L)	-0,0132	0,0288	-0,4602	0,6647
	C_{MA} (Q)	-0,0018	0,0343	-0,0522	0,9604
	$T_{\text{ent}} \times C_{\text{MA}}$	-0,0200	0,0406	-0,4923	0,6433
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Média	3,7670	0,0413	91,1693	<0,0001
	T_{ent} (L)	0,0041	0,0507	0,0811	0,9385
	T_{ent} (Q)	-0,2115	0,0605	-3,4977	0,0173
	C_{MA} (L)	-0,0088	0,0507	-0,1737	0,8689
	C_{MA} (Q)	-0,2065	0,0605	-3,4145	0,0190
	$T_{\text{ent}} \times C_{\text{MA}}$	0,0900	0,0716	1,2576	0,2641

Valores em negrito são significativos estatisticamente a $p < 0,10$.

De acordo com a Tabela 5.17, os fatores que apresentaram influência significativa sobre o pH para os pós de polpa de cupuaçu *in natura* foram a temperatura do ar de entrada

quadrática com efeito negativo e a concentração de maltodextrina quadrática com efeito negativo com um nível de confiança de 90%.

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$), através do teste F, na Análise de Variância para a polpa de cupuaçu *in natura* (Tabela 5.18).

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado para os pós de polpa de cupuaçu *in natura* foi de 0,73, indicando que o modelo explicou 73,66% da variação dos dados obtidos.

Tabela 5.18: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta pH da polpa de cupuaçu *in natura*.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,09	2	0,05	11,18	3,11
Resíduos:	0,03	8	0,00		
- Falta de ajuste	0,033831	6	0,01	168,31	9,33
- Erro puro	0,000067	2	0,00		
Total	0,128673	10	0,01	$R^2 = 73,66 \%$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

O modelo codificado proposto para representar o pH das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* com maltodextrina como agente encapsulante, dentro dos limites de temperatura e concentrações de agente estudados, é descrito pela Equação 5.9.

$$\text{pH}_{\text{PCI}} = 3,77 - 0,11T_{\text{ent}}^2 - 0,10C_{\text{MA}}^2 \quad (5.9)$$

Onde: T_{ent} e C_{MA} representam as variáveis codificadas temperatura do ar de entrada, e concentração de maltodextrina e pH_{PCI} é o pH dos pós da polpa de cupuaçu *in natura*.

O modelo apresenta regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Portanto, o modelo ajustado para pH dos pós resultantes das secagens de polpas de

cupuaçu *in natura* encapsuladas com maltodextrina em atomizador foi considerado preditivo com R^2 de 73,66%.

A Figura 5.9 mostra a superfície de resposta e as curvas de contorno geradas através do modelo proposto para pH dos pós de polpa de cupuaçu *in natura*.

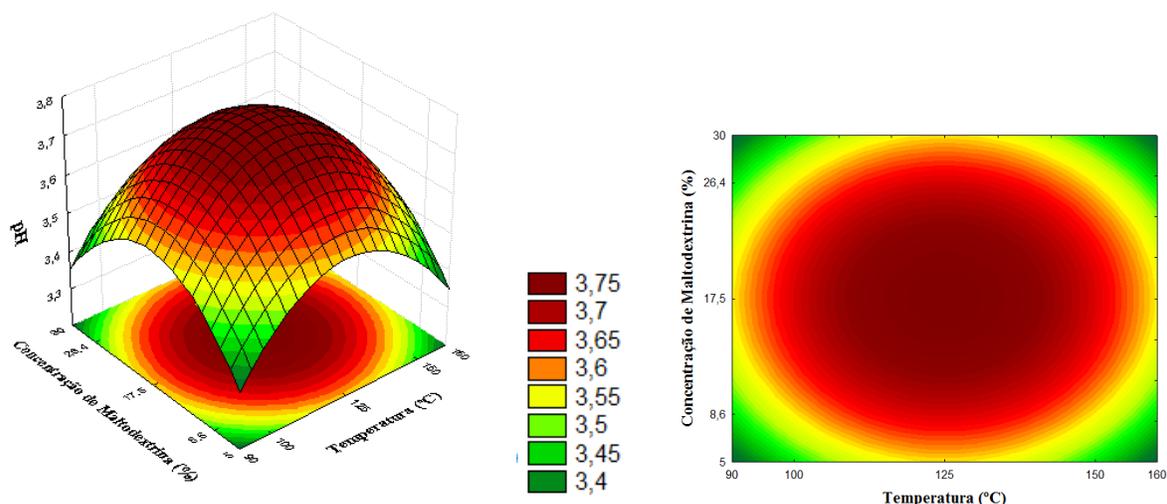


Figura 5.9: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta pH da polpa de cupuaçu *in natura*.

Os mais elevados valores de pH estão localizados nos pontos centrais do planejamento experimental. Os alimentos com pH ácidos são alimentos menos susceptíveis à degradação bioquímica sendo um fator intrínseco de conservação. Entretanto, esses ácidos orgânicos em produtos em pó podem influir negativamente, pois alteram a temperatura de transição vítrea.

5.2.6 Açúcares Redutores e Açúcares Totais dos pós de polpa de cupuaçu

Os açúcares redutores e totais obtidos em cada ensaio de secagem estão apresentados na Tabela 5.19, juntamente com a temperatura de entrada do ar e a concentração de maltodextrina referente ao planejamento experimental.

Os valores de açúcar total dos pós de polpa de cupuaçu comercial encapsulados com maltodextrina variaram de 5,78 a 9,47 % referentes aos ensaios 4 (150°C de T_{ent} e 26,4% de C_{MA}) e 2 (150°C de T_{ent} e 8,6% de C_{MA}) do planejamento experimental, respectivamente (Tabela 5.19). O açúcar total para a polpa de cupuaçu *in natura* variou de 5,82 a 10,1 %

referente aos ensaios 3 (100°C de T_{ent} e 26,4% de C_{MA}) e 7 (125°C de T_{ent} e 5% de C_{MA}), respectivamente (Tabela 5.19).

Tabela 5.19: Açúcares redutores do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* e comercial por atomizador.

Ensaio	T_{ent} (°C)	C_{MA} (%)	Açúcares Redutores (%)		Açúcares Totais (%)	
			Polpa cupuaçu	Polpa cupuaçu	Polpa cupuaçu	Polpa cupuaçu
			comercial	<i>in natura</i>	comercial	<i>in natura</i>
1	100	8,6	7,92±0,686	8,26±0,16	7,56±0,65	22,74±0,63
2	150	8,6	9,47±±0,489	6,83±0,41	9,04±0,47	10,67±0,71
3	100	26,4	6,68±0,423	5,82±0,16	6,38±0,40	8,25±0,03
4	150	26,4	5,78±0,396	7,95±0,70	5,52±0,38	10,97±2,38
5	90	17,5	7,71±0,624	6,25±0,08	7,36±0,60	8,56±0,24
6	160	17,5	7,69±0,513	7,13±0,00	7,35±0,49	8,99±0,10
7	125	5,0	8,99±0,015	10,1±0,40	8,58±0,49	13,4±2,29
8	125	30,0	6,51±0,234	6,21±0,18	6,22±0,22	12,19±0,36
9	125	17,5	6,47±0,052	7,02±0,20	6,18±0,05	10,44±0,25
10	125	17,5	7,21±0,104	7,43±0,23	6,880,10	10,8±0,26
11	125	17,5	6,69±0,138	6,58±0,27	6,39±0,13	10,18±0,25

Na Tabela 5.20 são apresentados os valores dos efeitos significativos ao nível de 10% de significância para a polpa de cupuaçu comercial e *in natura* em relação aos açúcares redutores.

De acordo com a Tabela 5.20, o único fator que não apresentou influência significativa sobre os açúcares redutores dos pós de polpa de cupuaçu comercial foi o parâmetro linear da temperatura do ar de entrada. Por outro lado, para esta resposta da polpa de cupuaçu *in natura*, as variáveis independentes que influenciaram foram a concentração de maltodextrina com efeito linear e negativo e interação das variáveis com efeito positivo.

Na Tabela 5.21, são apresentados os valores dos efeitos significativos ao nível de 10% de significância para a polpa de cupuaçu comercial e *in natura* em relação aos açúcares totais.

Tabela 5.20: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta açúcares redutores da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Polpa cupuaçu comercial	Média	6,7911	0,2217	30,6249	<0,0001
	T _{ent} (L)	0,1559	0,2720	0,5732	0,5913
	T _{ent} (Q)	0,7795	0,3246	2,4018	0,0615
	C _{MA} (L)	-2,1130	0,2720	-7,7685	0,0006
	C _{MA} (Q)	0,8298	0,3246	2,5568	0,0508
	T _{ent} x C _{MA}	-1,2250	0,3841	-3,1894	0,0243
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Média	7,0108	0,4229	16,5786	<0,0001
	T _{ent} (L)	0,4866	0,5187	0,9382	0,3912
	T _{ent} (Q)	-0,4284	0,6190	-0,6921	0,5197
	C _{MA} (L)	-1,7063	0,5187	-3,2895	0,0217
	C _{MA} (Q)	1,0454	0,6190	1,6890	0,1520
	T _{ent} x C _{MA}	1,7800	0,7325	2,4301	0,0594

Valores em negrito são significativos estatisticamente a $p < 0,10$.

Tabela 5.21: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta açúcares totais da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Polpa cupuaçu comercial	Média	6,4844	0,2111	30,7199	<0,0001
	T _{ent} (L)	0,1519	0,2589	0,5868	0,5828
	T _{ent} (Q)	0,7462	0,3089	2,4152	0,0605
	C _{MA} (L)	-2,0129	0,2589	-7,7745	0,0006
	C _{MA} (Q)	0,7914	0,3089	2,5617	0,0505
	T _{ent} x C _{MA}	-1,1700	0,3656	-3,2002	0,0240
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Média	10,46393	1,695473	6,17169	0,001627
	T _{ent} (L)	-2,19245	2,079642	-1,05424	0,340028
	T _{ent} (Q)	-0,50668	2,481554	-0,20418	0,846266
	C _{MA} (L)	-3,98588	2,079642	-1,91662	0,113419
	C _{MA} (Q)	3,53739	2,481554	1,42547	0,213343
	T _{ent} x C _{MA}	7,39500	2,936680	2,51815	0,053295

Valores em negrito são significativos estatisticamente a $p < 0,10$.

De acordo com a Tabela 5.21, o único fator que não apresentou influência significativa sobre os açúcares totais foi o efeito da temperatura de entrada linear, com um nível de confiança de 90%.

Por outro lado, todos os parâmetros estudados não foram significativos para esta resposta da polpa de cupuaçu *in natura*, menos a interação entre as variáveis e a média.

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste com 90 % de confiança ($p \leq 0,10$), através do teste F, na Análise de Variância para o planejamento experimental (Tabela 5.22).

Tabela 5.22: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta açúcares redutores da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

		Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Polpa cupuaçu comercial	Regressão		11,81	4	2,95	22,54	3,18
	Resíduos:		0,79	6	0,13		
	- Falta de ajuste		0,49728	4	0,12		
	- Erro puro		0,28880	2	0,14	0,86	9,24
	Total		12,59647	10	1,26	$R^2 = 93,76 \%$	
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Regressão		11,07	3	3,69	7,57	3,07
	Resíduos:		3,41	7	0,49		
	- Falta de ajuste		3,05036	5	0,61		
	- Erro puro		0,36140	2	0,18	3,38	9,29
	Total		14,48147	10	1,45	$R^2 = 76,44 \%$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado para os pós de polpa de cupuaçu comercial foi de 0,93, indicando que o modelo explicou 93,76% da variação dos dados obtidos. Já para os pós de polpa de cupuaçu *in natura*, o modelo apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 76,44%, menor do que o coeficiente de determinação da polpa de cupuaçu comercial.

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$), através do teste F, na Análise de Variância para os planejamentos experimentais com maltodextrina (Tabela 5.23).

Tabela 5.23: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta açúcar total da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Polpa cupuaçu comercial	Regressão	10,73	4	2,68	22,53	3,18
	Resíduos:	0,71	6	0,12		
	- Falta de ajuste	0,4563	4	0,11	0,88	9,24
	- Erro puro	0,2581	2	0,13		
	Total	11,4466	10	1,14	$R^2 = 93,76 \%$	
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Regressão	54,69	1	54,69	4,66	3,36
	Resíduos:	105,53	9	11,73		
	- Falta de ajuste	105,3325	7	15,05	155,21	2,72
	- Erro puro	0,1939	2	0,10		
	Total	160,2124	10	16,02	$R^2 = 34,13 \%$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado para os pós de polpa de cupuaçu comercial foi de 0,9376, indicando que o modelo explicou 93,76 % da variação dos dados observados. Já para os pós de polpa de cupuaçu *in natura*, o modelo apresentou coeficiente de determinação (R^2) próximo de 0,34, não sendo possível obter modelo matemático.

Os modelos codificados propostos para representarem as quantidades de açúcar redutor das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de cupuaçu comercial e *in natura* com maltodextrina como agente encapsulantes, dentro dos limites de temperatura e concentrações de agentes estudados, são descritos pelas Equações 5.10 e 5.11, respectivamente.

$$AR_{PCC} = 6,79 + 0,39T_{ent} - 1,06C_{MA} + 0,41C_{MA}^2 - 0,61 T_{ent} \times C_{MA} \quad (5.10)$$

$$AR_{PCI} = 6,81 - 0,85C_{MA} + 0,59C_{MA}^2 + 0,89 T_{ent} \times C_{MA} \quad (5.11)$$

Onde: T_{ent} e C_{MA} representam as variáveis temperatura do ar de entrada, e concentração de maltodextrina e (AR_{PCC} e AR_{PCI} - %) são os açúcares redutores dos pós das polpas de cupuaçu comercial e *in natura*.

Os modelos apresentaram regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{calculado} > F_{tabelado}$). Portanto, os modelos ajustados para açúcar redutor dos pós resultantes das secagens de polpas de cupuaçu comercial e *in natura* encapsulado com maltodextrina em atomizador foi considerado preditivo, porém o para a polpa *in natura* tem falta de ajuste.

O modelo codificado proposto para representar o teor de açúcar total das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de cupuaçu comercial com maltodextrina como agente encapsulante, dentro dos limites de temperatura e concentrações de agentes estudados, é descrito pela Equação 5.12.

$$AT_{PCC} = 6,48 + 0,37T_{ent}^2 - 1,01C_{MA} + 0,40C_{MA}^2 - 0,58 T_{ent} \times C_{MA} \quad (5.12)$$

Onde: T_{ent} e C_{MA} representam as variáveis codificadas temperatura do ar de entrada, e concentração de maltodextrina e (AT_{PCC} - %) é o teor de açúcar total dos pós da polpa de cupuaçu comercial.

O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{calculado} > F_{tabelado}$). Portanto, o modelo ajustado para açúcar total dos pós resultantes das secagens de polpas de cupuaçu comercial encapsuladas com maltodextrina em atomizador foi considerado preditivo.

As Figuras 5.10 e 5.11 mostram as superfícies de resposta e curvas de contorno geradas através dos modelos propostos.

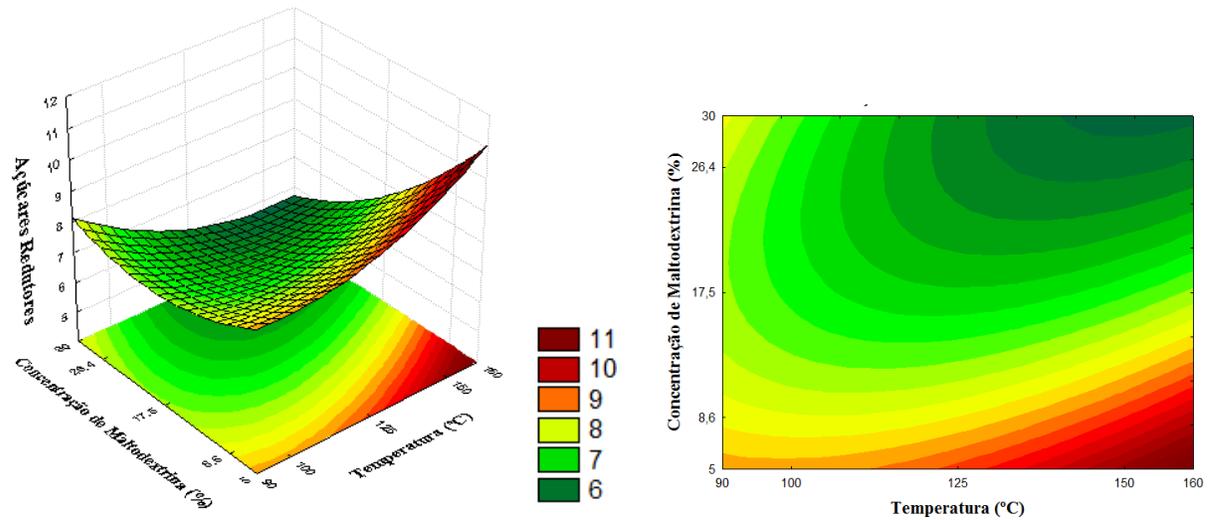


Figura 5.10: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta açúcares redutor da polpa de cupuaçu comercial.

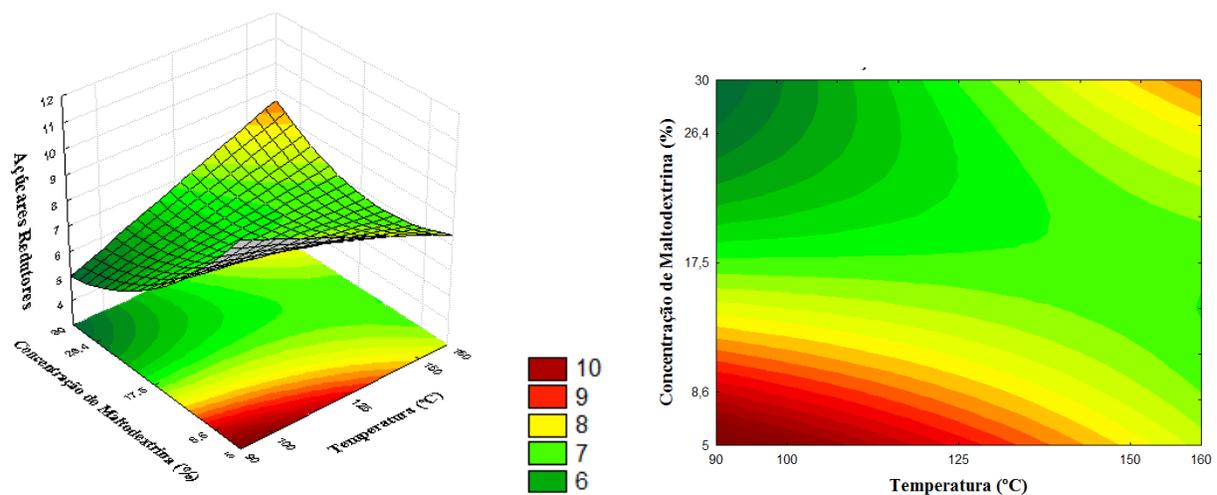


Figura 5.11: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta açúcar redutor da polpa de cupuaçu *in natura*.

Observa-se que os maiores valores de açúcar redutor para os pós de polpa de cupuaçu comercial, estão localizados nos maiores valores do parâmetro temperatura de entrada e nos menores valores de concentração de maltodextrina (Figura 5.10). Tal fato pode ter ocorrido também pela má encapsulação da polpa de cupuaçu nas condições propostas. Entretanto, os açúcares redutores são, no caso da polpa de cupuaçu a porção de glicose, carboidrato de relevância no sabor e qualidade da polpa de cupuaçu, mostrando a presença do suco da fruta no

produto seco. Todavia para a polpa de cupuaçu *in natura*, o comportamento foi outro, com as menores concentrações de carreador e menores valores de temperatura de entrada gerando maiores quantidades de açúcares redutores. Isto no leva a atribuir uma diferença das duas amostras em relação ao açúcar redutor. Essa diferença pode indicar matérias-primas diferentes por si ou pode ter ocorrido devido à industrialização da amostra comercial. Como não foi disponibilizado o processamento pelo qual a polpa comercial foi submetida, não há possibilidade de se inferir sobre o acréscimo de componentes de maneira geral e/ou sobre as etapas de transformação que poderiam alterar sua composição.

A Figura 5.12 mostra a superfície de resposta e curva de contorno gerada através do modelo proposto.

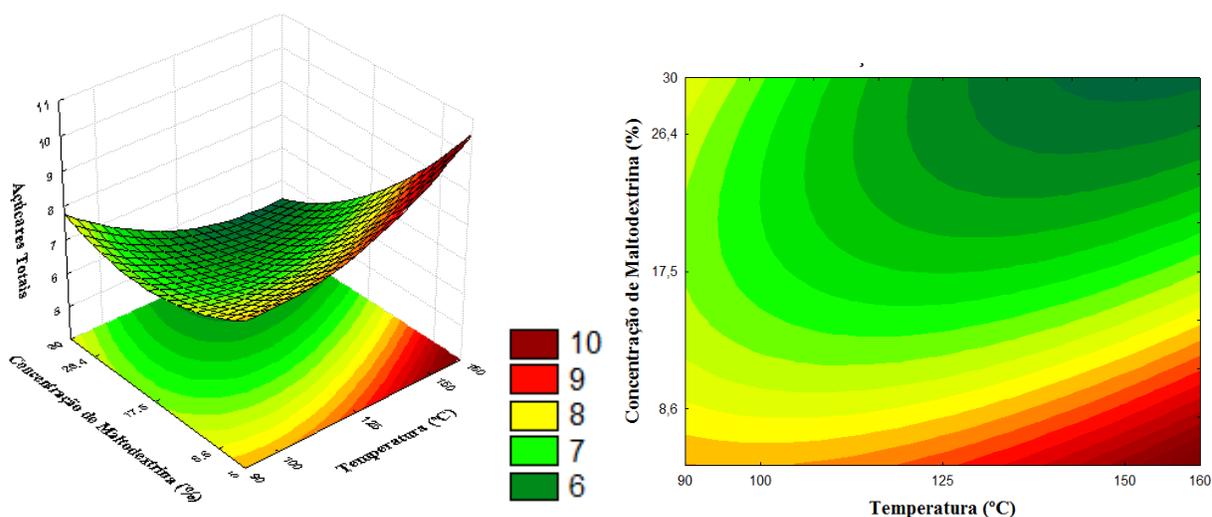


Figura 5.12: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta açúcar total da polpa de cupuaçu comercial.

Os maiores valores de açúcar total dos pós da polpa de cupuaçu comercial se localizaram nos maiores valores para o parâmetro temperatura de entrada e menores valores do agente encapsulante (Figura 5.12). A superfície de resposta para o açúcar total é idêntica a de açúcar redutor para a polpa comercial. Isto é um indício que tanto a glicose quanto a sacarose estão sendo mais preservadas na faixa descrita nas superfícies.

5.2.1 Cor dos pós de polpa de cupuaçu

Para ΔE (**diferença de cor total**) referente a resposta cor obtidos em cada ensaio de secagem estão apresentados na Tabela 5.24, juntamente com a temperatura de entrada do ar e a concentração de maltodextrina referente aos planejamentos experimentais.

Os valores de ΔE (cor) dos pós de polpa de cupuaçu comercial encapsulada com maltodextrina variaram de 0,02 a 8,06 referentes aos ensaios 1 (100°C de T_{ent} e 8,6% de C_{MA}) e 2 (150°C de T_{ent} e 8,6% de C_{MA}) do planejamento experimental, respectivamente (Tabela 5.24). O ΔE (cor) para a polpa de cupuaçu *in natura* variou de 5,39 a 7,11 referente aos ensaios 11 (125°C de T_{ent} e 17,5% de C_{MA}) e 3 (100°C de T_{ent} 26,4% de C_{MA}), respectivamente (Tabela 5.24).

Tabela 5.24: Cor do processo de secagem da polpa de cupuaçu *in natura* e comercial por atomizador.

Ensaio	T_{ent} (°C)	C_{MA} (%)	Cor (ΔE)	
			Polpa cupuaçu comercial	Polpa cupuaçu <i>in natura</i>
1	100	8,6	0,02	5,85
2	150	8,6	8,06	5,67
3	100	26,4	3,36	7,11
4	150	26,4	3,13	7
5	90	17,5	2,02	5,99
6	160	17,5	2,39	5,43
7	125	5	6,46	6,78
8	125	30	2,24	6,75
9	125	17,5	2,6	3,65
10	125	17,5	2,44	5,64
11	125	17,5	2,14	5,39

Na Tabela 5.25, são apresentados os valores dos efeitos significativos ao nível de 10% de significância para a polpa de cupuaçu comercial e *in natura* em relação a cor.

Tabela 5.25: Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta cor da polpa de cupuaçu comercial e *in natura*.

	Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Polpa cupuaçu comercial	Média	2,39191	0,791147	3,02334	0,029304
	T _{ent} (L)	2,08914	0,970409	2,15285	0,083943
	T _{ent} (Q)	-0,00710	1,157950	-0,00613	0,995343
	C _{MA} (L)	-1,89067	0,970409	-1,94833	0,108903
	C _{MA} (Q)	2,15074	1,157950	1,85737	0,122385
	T _{ent} x C _{MA}	-4,13500	1,370322	-3,01754	0,029499
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>	Média	4,892691	0,468867	10,43515	0,000139
	T _{ent} (L)	-0,270705	0,575105	-0,47071	0,657670
	T _{ent} (Q)	0,903660	0,686250	1,31681	0,245025
	C _{MA} (L)	0,638826	0,575105	1,11080	0,317196
	C _{MA} (Q)	1,964974	0,686250	2,86335	0,035268
	T _{ent} x C _{MA}	0,035000	0,812110	0,04310	0,967292

Valores em **negrito** são significativos estatisticamente a $p < 0,10$.

Inicialmente os efeitos significantes ao nível de 90% de confiança eram a temperatura de entrada com efeito positivo e a interação entre as variáveis. Entretanto, após a exclusão da variável temperatura quadrática por apresentar o maior p-valor, todas as outras variáveis se tornaram significantes a este mesmo nível de confiança para a polpa de cupuaçu comercial em pó. De acordo com a Tabela 5.25, o único fator que apresentou influência significativa sobre a cor foi o efeito da concentração de maltodextrina quadrática com efeito positivo para os pós de polpa de cupuaçu *in natura*, com um nível de confiança de 90%.

Com a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão em relação a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$), através do teste F, na Análise de Variância para os planejamentos experimentais (Tabela 5.26).

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado para os pós de polpa de cupuaçu comercial para a variável dependente cor foi de 0,81, indicando que o modelo explicou 81,00 % da variação dos dados observados. Já para os pós de polpa de cupuaçu *in*

natura, apresentou coeficiente de determinação (R^2) próximo de 0,45, não sendo possível obter modelo matemático.

Tabela 5.26: Análise de variância do modelo ajustado para a resposta cor da polpa de cupuaçu comercial.

		Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Polpa cupuaçu comercial		Regressão	40,02	4	10,01	6,39	3,18
		Resíduos:	9,39	6	1,56		
		- Falta de ajuste	9,2799	4	2,32		
		- Erro puro	0,1091	2	0,05	42,54	9,24
		Total	49,4109	10	4,94	$R^2 = 81,00 \%$	
Polpa cupuaçu <i>in natura</i>		Regressão	4,43	1	4,43	7,38	3,36
		Resíduos:	5,40	9	0,60		
		- Falta de ajuste	3,0523	7	0,44		
		- Erro puro	2,3501	2	1,18	0,37	2,72
		Total	9,8338	10	0,98	$R^2 = 45,06 \%$	

SQ: Soma quadrática; GL: Grau de liberdade; QM: Quadrado médio.

O modelo codificado proposto para representar a cor das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de cupuaçu comercial com maltodextrina como agente encapsulante, dentro dos limites de temperatura e concentrações de agentes estudados, é descrito pela equação 5.13.

$$\text{Cor}_{\text{PCC}} = 2,39 + 1,04T_{\text{ent}} - 0,95C_{\text{MA}} + 1,08C_{\text{MA}}^2 - 2,07T_{\text{ent}} \times C_{\text{MA}} \quad (5.13)$$

Onde: T_{ent} e C_{MA} representam as variáveis codificadas temperatura do ar de entrada, concentração de maltodextrina e Co_{PCC} é a variação de cor dos pós da polpa de cupuaçu comercial.

O modelo apresentou regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Portanto, o modelo ajustado para cor dos pós resultantes das secagens de polpas de

cupuaçu comercial encapsuladas com maltodextrina em atomizador foi considerado preditivo, porém com falta de ajuste.

A Figura 5.13 mostra a superfície de resposta e curva de contorno gerada através do modelo proposto.

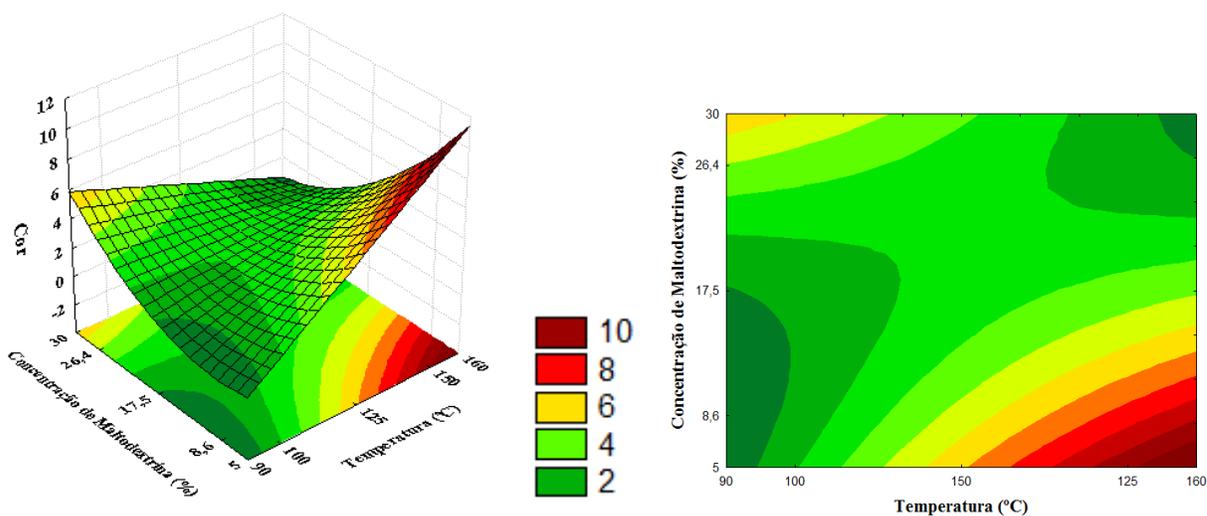


Figura 5.13: Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta cor da polpa de cupuaçu comercial.

Os maiores valores de cor dos pós da polpa de cupuaçu comercial se localizaram nos maiores valores para o parâmetro temperatura de entrada e menores valores do agente encapsulante na superfície de resposta (Figura 5.13). As regiões avermelhadas da superfície de resposta para a cor da polpa de cupuaçu comercial descrevem o local com mais presença de pigmentos amarelados, correlacionando-os com as condições nas quais resultaram maior preservação da polpa de cupuaçu. Isto pode ter ocorrido pelo fato de que nessa região avermelhada tenha mais concentração de polpa e menor porcentagem de maltodextrina. Ressaltando que também é a faixa que mais reteve vitamina C. Porém, outra explicação para a cor mais amarelada é que tenha acontecido a reação de caramelização, pois é a faixa com maior porcentagem de polpa presente e com maior temperatura de entrada.

5.3 Otimização do processo e validação dos modelos

A otimização do processo de secagem por atomização foi realizada a partir da escolha da região de valores para variáveis independentes que resultaram em ótimos valores das variáveis dependentes: vitamina C, teor de água, higroscopicidade e rendimento do processo. Para as polpas de cupuaçu comercial e *in natura* foi utilizado como critério o maior teor de vitamina C, sendo que esta resposta é um fator indicativo de processo por ser um composto sensível ao calor, e também apresenta propriedades funcionais, agindo como antioxidante. Outro critério foi o maior rendimento de processo, levando em consideração que esta resposta é de grande importância, pois é parâmetro de eficiência de processo, na possibilidade de passar de escala laboratorial para escala industrial. Também foi critério utilizado, a menor higroscopicidade, por se tratar da resposta que influencia diretamente na pegajosidade durante o armazenamento, sendo necessário menores valores possíveis. O menor teor de água dos pós também foi critério utilizado para a determinação do ponto ótimo, pois em menores valores de teor de água há evidência de maior eficiência de secagem e subsídio para o armazenamento.

Além das análises físico-químicas referentes às respostas do planejamento experimental, para os ensaios ótimos foram realizadas ainda as seguintes análises: densidade aparente, densidade absoluta, porosidade, distribuição do tamanho de partícula e microscopia eletrônica de varredura.

Para os pós otimizados obtidos com as polpas de cupuaçu comercial e *in natura* microencapsuladas com maltodextrina foram escolhidos os seguintes parâmetros: $T_{ent} = 155 \text{ }^\circ\text{C}$ e $C_{MA} = 28,2 \%$, sendo a média do ponto axial positivo (1,41) e ponto positivo (1) do planejamento experimental, correspondendo às maiores faixas de temperatura do ar de entrada e concentração de carreador avaliadas. Este ponto foi escolhido após a superposição das superfícies de respostas, atendendo simultaneamente as melhores características tecnológicas para os pós das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* para as respostas: rendimento, vitamina C, higroscopicidade e teor de água.

Na Tabela 5.27, encontram-se os valores obtidos dos ensaios de otimização para as respostas: teor de água, higroscopicidade, rendimento do processo, atividade de água, vitamina C, pH, açúcares redutores, totais e cor.

As análises físico-químicas do produto em pó são de grande valia por possibilitar a comparação com os conteúdos iniciais, tal quanto interligá-las a outros atributos intrínsecos de qualidade que possam ter sofrido alterações no processo de secagem.

De acordo com as respostas obtidas utilizando os pontos otimizados para os pós de polpa de cupuaçu comercial e *in natura* microencapsuladas com maltodextrina, observam-se que os modelos matemáticos das respostas que foram estatisticamente significativos ao nível de 90% de confiança, de forma geral, descreveram eficientemente o processo.

Tabela 5.27: Valores experimentais e preditos para as análises realizadas nos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).

	Valor experimental	Valor predito	% Desvio relativo	
Pó cupuaçu comercial	Teor de água (%)	2,01±0,001	2,06	2,61
	Higroscopicidade *	15,34±0,0004	12,29	19,89
	Rendimento (%)	36,13±10,8	-	-
	A _w	0,12±0,01	-	-
	Vitamina C**	203,89±0,1	182,26	10,60
	pH	3,51±0,01	-	-
	Açúc. Red. (%)	5,99±0,8	5,69	5
	Açúc. Totais (%)	9,72±0,04	5,54	43
	Cor (ΔE)	2,85	1,06	62,77
Pó cupuaçu <i>in natura</i>	Teor de água (%)	2,62±0,001	2,85	9,1
	Higroscopicidade *	16,18±0,001	15,1	6,78
	Rendimento (%)	32,72± 1	33,64	2,82
	A _w	0,07± 0	0,07	1,12
	Vitamina C**	397,60±3,7	410,70	3,3
	pH	3,40±0,06	3,46	1,91
	Açúc. Red. (%)	5,70±0,4	5,7	7,93
	Açúc. Totais (%)	9,70±0,02	-	-
	Cor (ΔE)	1,99	-	-

* - Higroscopicidade é expresso em (g água adsorvida/100g sólidos); ** - Vitamina C é expresso em (mg de ácido ascórbico/100g sólidos da polpa de cupuaçu no pó);

A fim de validar os modelos obtidos no planejamento experimental, seis testes foram realizados nas condições otimizadas nos pós resultantes para a polpa comercial e sete testes para os pós da polpa *in natura*. Os valores experimental e predito das respostas que geraram modelo e superfície estão apresentados na Tabela 5.27, com também o erro relativo entre eles. Os valores experimentais de teor de água, higroscopicidade, rendimento, atividade de água, vitamina C, pH e açúcares redutores foram coerentes com os valores preditos, mostrando valores de erro relativo inferior a 10,0%, para os pós ótimos da polpa de cupuaçu *in natura*. Assim, os modelos obtidos pelo delineamento composto central rotacional foram capazes de descrever e estas respostas são consideradas preditivas, nas faixas de concentração de maltodextrina e temperatura do ar de entrada estudado neste trabalho. A higroscopicidade, açúcares totais e cor dos pós da polpa de cupuaçu comercial, no entanto, apresentaram erro médio relativo superior a essa faixa, no caso da higroscopicidade pode ter acontecido pelo fato da diferença de umidade e temperatura ambiente no dia da secagem do pó do ponto ótimo. No caso do erro relativo da resposta açúcar total, a possível resposta para o ocorrido é que a metodologia de titulação a quente dos açúcares redutores e não redutores que geram o dado de açúcar total tem ponto de viragem dificultoso, isto pode ter refletido em um erro relativo maior. Já para a resposta cor (diferença total de cor) a explicação de erro relativo alto possivelmente está no maior tempo de armazenagem e alteração de cor que a polpa de cupuaçu comercial possa ter sofrido antes da secagem do ponto ótimo.

A determinação da presença e preservação da vitamina C na secagem de polpa de cupuaçu por atomização é um fator extremamente relevante, sendo indicativo de eficácia no tratamento de conservação, de possíveis alterações, de parâmetros operacionais com níveis excessivos e ineficazes, ou até mesmo auxiliando na identificação da encapsulação. Tal fenômeno foi amplamente estudado para várias espécies: melão, maracujá, caju, acerola, pitaita (SOLVAL *et al.*, 2011; BORRMANN *et al.*, 2012; ARINDAM *et al.*, 2011; MOREIRA *et al.*, 2009; TZE *et al.*, 2012). No entanto, estudos para a polpa de cupuaçu seca em atomizador visando conservar a vitamina C são escassos. A vitamina C é um componente alimentar na dieta humana para a promoção da saúde e prevenção de doenças. Abbas *et al.* (2012) descreveram que a vitamina C tem um papel de minimização do risco de doenças graves tal como o câncer, doenças do coração, cataratas, e níveis de chumbo elevados e usados também para fortalecimento do sistema imunológico contra resfriados. A faixa ingestão recomendada é

de 30-40 mg para consumo adulto diário. Entretanto, essa substância apresenta aspectos que requerem atenção. A natureza altamente instável do ácido ascórbico tem levantado um importante desafio tecnológico na busca de sua incorporação em sistemas alimentares diferentes.

Este trabalho encontrou valores de vitamina C entre 60,40 a 489 mg ácido ascórbico/100g de sólidos da polpa no pó, para os pós das polpas de cupuaçu comercial e *in natura* estudadas, sendo que os maiores valores para esta resposta no planejamento experimental desenvolvido se localizaram nos maiores níveis da variável concentração de maltodextrina e se espalharam ao longo de toda a faixa de temperatura de entrada do ar de secagem. Observa-se que quanto mais carreador há na mistura, maior é a retenção de vitamina C. Os resultados de teor de vitamina C para os ensaios na condição de ponto ótimo para a polpa de cupuaçu comercial e *in natura* foram de 203,89 e 397,60 mg ácido ascórbico/100g de sólidos da polpa no pó, respectivamente.

Angel *et al.* (2009) estudaram a lactose como auxiliar da maltodextrina no aprimoramento na formação do material de parede na secagem de maracujá por atomização. A utilização de *blends* de materiais de parede é usual para melhor ação na encapsulação. No atual trabalho, uma possível utilização de auxiliar de material de parede poderia favorecer a emulsão do extrato com a maltodextrina, possibilitando a utilização de menor quantidade de agente carreador.

A faixa de temperatura com maior retenção de vitamina C no estudo da secagem por atomização de extrato de acerola seco com maltodextrina e goma de cajueiro é de 170°C (MOREIRA *et al.*, 2009), alcançando retenção de 95%. Essa temperatura é maior que a faixa usada nesse trabalho.

A higroscopicidade dos pós da polpa de cupuaçu comercial e *in natura* estudados variou de 11,06 a 20,56 %. Estes resultados foram superiores aos obtidos por Karaaslan e Dalgiç (2012) em extrato de alcaçuz em pó, utilizando maltodextrina como agente carreador. No estudo, a higroscopicidade dos pós variou de 20 a 82 g/100g (base seca), o que pode ser atribuído à concentração de maltodextrina utilizada (10 a 20 %), visto que a maltodextrina é um material que apresenta baixa higroscopicidade. Apesar disso, dentre os valores de higroscopicidade dos ensaios desse trabalho, o valor do ponto com maior vitamina C, escolhido como ótimo, é o ponto menos higroscópico e, por consequência, aquele que no armazenamento

possivelmente torna-se menos pegajoso pela absorção de água. O teor de água é a variável com maior importância, pois uma pequena quantidade de água permite baixar a T_g do pó, tornando-o pegajoso.

Um menor valor de teor de água pode ser explicado pelo aumento de temperatura utilizada no processo de secagem e pela concentração de agente encapsulante. Segundo Syamaladevi *et al.* (2012), na secagem por atomização em geral, o aumento da temperatura de secagem tem resultado em maior perda de água do pó devido a uma maior taxa de transferência de calor sobre as partículas. Este comportamento também foi observado por Karaaslan e Dalgıç (2012) em extrato de alcaçuz em pó, utilizando maltodextrina como agente carreador, em que o conteúdo de água do pó reduziu significativamente com o aumento da temperatura do ar de entrada no secador de 110 °C para 130 °C.

Em um sistema de atomização, o teor de água (agente plasticizante) presente na mistura de alimentação tem efeito sobre o conteúdo do pó obtido. A adição de maltodextrina na mistura antes da secagem aumenta o conteúdo de sólidos totais e reduz a quantidade de água para ser evaporada, resultando em uma diminuição no teor de umidade do pó. Neste estudo todos os teores de água estão abaixo de 6,76% em base úmida. Entretanto, esse valor para produtos em pó já são elevados. Embora esse fator esteja diretamente ligado à atividade de água que, por sua vez influencia no comportamento microbiológico. Neste trabalho, foram encontrados valores para atividade de água entre 0,09 e 0,29, abaixo de 0,30 em que os pós se comportam de forma estável.

O rendimento do processo de secagem está relacionado à quantidade de produto seco que se acumula no coletor principal, e demarca a quantidade de pó coletado em detrimento da massa da solução de alimentação que foi submetida ao sistema de atomização, levando em consideração os teores de água da solução de entrada e do pó resultante. O rendimento do processo sofre diversas influências. Muitos dos parâmetros operacionais e do equipamento também o influenciam. Dentre eles, destacam-se: a forma de pulverização, tamanho de câmara, fluxo do ar de exaustão (secagem), temperatura do ar de entrada, concentração da solução de alimentação, tipo de atomizador, etc.

Os pós da polpa de cupuaçu comercial encapsulados com maltodextrina obtiveram valores de rendimento do processo entre 25,62 a 40,22%, enquanto que os dos pós da polpa *in natura* estão entre 27,82 a 36,92%.

5.3.1 Densidade aparente, Densidade absoluta e Porosidade.

A densidade aparente, densidade absoluta e porosidade das partículas de polpa de cupuaçu microencapsuladas com maltodextrina estão na Tabela 5.28.

Tabela 5.28: Densidade aparente, densidade absoluta e porosidade dos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).

Agente carreador	Densidade aparente (g/mL)	Densidade absoluta (g/mL)	Porosidade
Pó cupuaçu comercial	0,47±0,005	1,32±0,0006	0,64±0,01
Pó cupuaçu <i>in natura</i>	0,46±0,005	1,34±0,0008	0,66±0,01

A amostra comercial foi a que apresentou menor densidade aparente, enquanto a amostra *in natura* mostrou-se maior. Apesar das amostras serem a mesma fruta, observa-se que a diferença dos compostos da caracterização físico-química (Tabela 5.1), refletem em diferença na densidade aparente

A densidade absoluta para as duas amostras são muito próxima. Todavia, os resultados de porosidade são contrários aos da densidade aparente, pois quanto menos denso, mais disperso e mais espaço intersticial têm o pó. Grandes porosidades podem ser um fator prejudicial, pois submetem o produto a contato maior com o oxigênio, um agente degradante do produto.

5.3.2 Distribuição do tamanho de partícula

A Figura 5.14 apresenta a distribuição do tamanho de partículas dos pós obtidos na secagem de polpa de cupuaçu em atomizador.

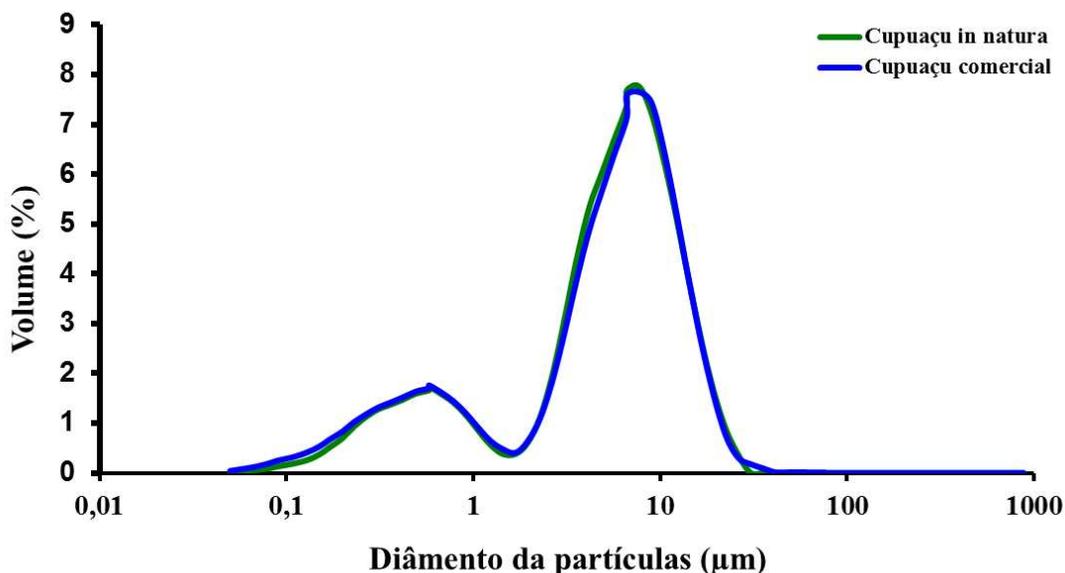


Figura 5.14: Distribuição do tamanho de partículas dos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).

Pode ser observado que as partículas apresentaram dois picos no gráfico (Figura 5.14), indicando dois tamanhos de partículas predominantes. O primeiro pico apresentou um volume pequeno de aproximadamente 0,1 - 2% e menores diâmetros de partículas, por volta de 0,8 µm. O segundo pico apresentou volume de até 8,5 % e diâmetros entre 2 e 50 µm. As partículas sendo apresentadas em dois tamanhos produzem maior compactação, por se arranjam fisicamente, ocupando os espaços entre partículas.

Em relação ao diâmetro médio das partículas, $D[4,3]$, foram obtidos valores entre 8,96 e 9,1 µm (Tabela 5.29). Segundo Tze *et al.* (2012), estudando secagem de pitáia no atomizador, encontrou diâmetros entre 6,9 a 9,5µm variando a concentração de maltodextrina de 20 a 30 %.

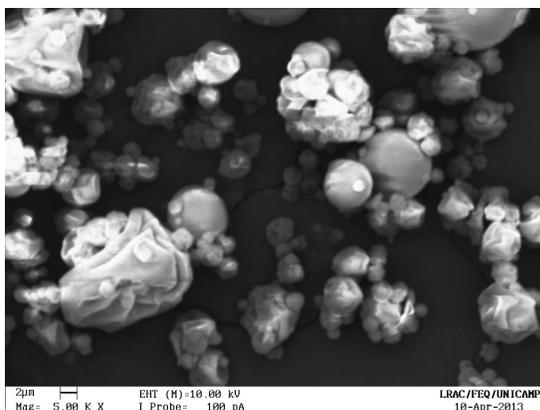
Tabela 5.29: Diâmetro médio $D[4,3]$ das partículas produzidas nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).

Agente carreador	Diâmetro médio (µm)
Polpa de cupuaçu comercial	8,96±0,2
Polpa de cupuaçu <i>in natura</i>	9,10±0,6

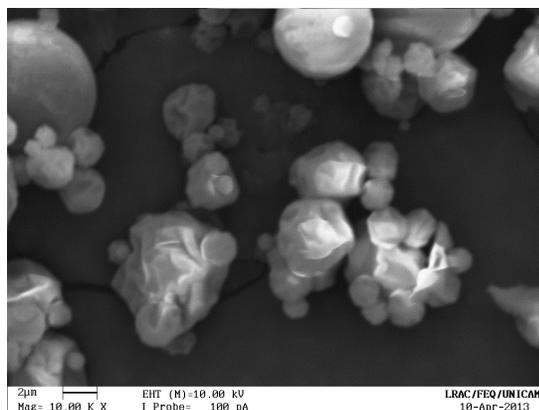
A presença de partículas com menor granulometria pode ser um indício prejudicial à estabilidade do produto, quanto a não eficiente encapsulação, pois podem se tratar de cápsulas de carreador e extrato de forma isolada. Além disso, podem ainda causar no armazenamento reações desagradáveis pela vulnerabilidade das partículas de extrato sozinho, como também as partículas de carreador sozinho podem influir negativamente na molhabilidade desse produto. As duas polpas tiveram diâmetros médios próximos, e se comportaram de forma semelhante no gráfico de distribuição do tamanho de partícula.

5.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens de MEV de uma população mista de microesferas de polpa de cupuaçu comercial e *in natura* microencapsuladas com maltodextrina estão dispostas nas Figuras 5.15 e 5.18. Analisando as micrografias da polpa de cupuaçu comercial, é notória a formação de cápsulas, heterogêneas, com vários tamanhos, aglomerados, ocorrência de fissuras, ranhuras e aspecto poroso (Figura 5.15). Isto indica que não houve boa encapsulação na polpa de cupuaçu comercial nas condições estudadas. Em contraponto, nas mesmas condições operacionais do ponto ótimo escolhido, para a polpa de cupuaçu *in natura*, as micrografias atestaram menos fissuras, rachaduras ou colapsos, refletindo em superfícies mais lisas e homogêneas (Figura 5.16). Isto indica melhor encapsulação para a polpa de cupuaçu *in natura* em relação às micrografias da polpa de cupuaçu comercial. A má encapsulação pode ter acontecido devido à diferença nas características entre as matérias primas (Tabela 5.1), pois o procedimento experimental foi o mesmo, com as mesmas condições operacionais para as duas amostras. Presume-se que após o processamento industrial, a polpa de cupuaçu comercial tenha sofrido alterações em sua estrutura molecular, perdendo a coesividade e boa interação com a maltodextrina, resultando em um diferente composto com diferentes propriedades físicas.

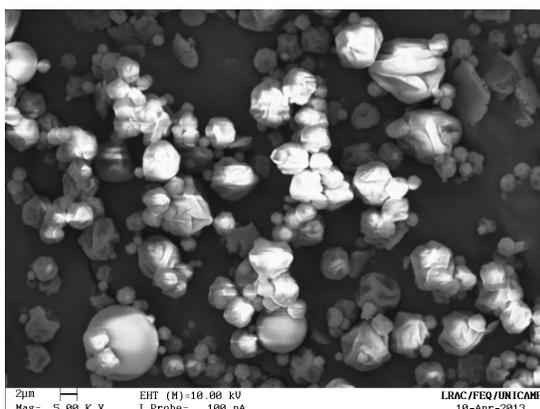


1 – Aumento de 5000x

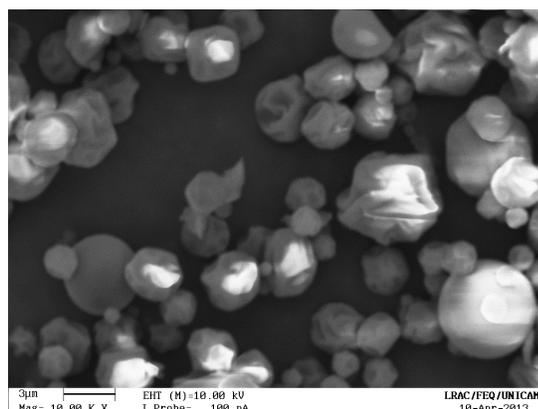


2 – Aumento de 10000X

Figura 5.15: Micrografias das partículas resultantes da secagem de polpa de cupuaçu comercial nos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).



1 – Aumento de 5000x



2- Aumento de 10000x

Figura 5.16: Micrografias das partículas resultantes da secagem de polpa de cupuaçu *in natura* nos pós produzidos nas condições ótimas (155°C e 28,2% de maltodextrina).

6. CONCLUSÕES

↳ **Planejamentos experimentais:**

- ✓ O estudo das condições de secagem da polpa de cupuaçu comercial e *in natura* em atomizador mostrou que todas as variáveis avaliadas (temperatura do ar de secagem e concentração de maltodextrina) mostraram influência significativa sobre as características do produto em pó obtido;
- ✓ A concentração de maltodextrina foi a variável com efeito sobre a maioria das respostas do pó de polpa de cupuaçu comercial. A concentração do agente exerceu um efeito positivo sobre o teor de água e vitamina C e um efeito negativo sobre a higroscopicidade, açúcares redutores, açúcares totais e cor. Em alguns casos, os efeitos foram de segunda ordem (efeitos quadráticos), com efeito positivo sobre a vitamina C, açúcares redutores, açúcares totais, cor;
- ✓ A temperatura de entrada do ar de secagem as respostas do pó de polpa de cupuaçu comercial, apresentando efeito positivo sobre a higroscopicidade e cor e efeito negativo sobre o teor de água. Apresentou, ainda efeito de segunda ordem, positivo sobre os açúcares totais, e negativo sobre a higroscopicidade;
- ✓ Para os pós da polpa de cupuaçu *in natura*, a concentração de maltodextrina foi a variável com efeito sobre a maioria das respostas. A concentração do agente exerceu um efeito positivo sobre a vitamina C e efeito negativo sobre o teor de água, a higroscopicidade, rendimento, atividade de água, e açúcares redutores. Em alguns casos, os efeitos foram de segunda ordem (efeitos quadráticos), com efeito positivo sobre o teor de água e açúcares redutores;

- ✓ A temperatura de entrada do ar de secagem influenciou as respostas dos pós de polpa de cupuaçu *in natura*, apresentando efeito positivo sobre a higroscopicidade e o rendimento e efeito negativo sobre o teor de água e atividade de água. Apresentou efeito de segunda ordem positivo sobre o teor de água, o rendimento e atividade de água e efeito negativo sobre o pH;

↳ **Otimização dos planejamentos experimentais:**

- ✓ Para a obtenção de um produto com maior retenção de vitamina C e rendimento e menor higroscopicidade e teor de água, para a polpa comercial e *in natura*, as condições escolhidas para a produção de partículas foi de 28,2% de concentração de maltodextrina e 155°C de temperatura do ar de entrada;
- ✓ Em relação à morfologia das partículas do ponto ótimo, as partículas da polpa *in natura* tiveram menor formação de aglomerados e com superfície mais lisa em comparação com as da amostra comercial e com maior diâmetro médio, contudo com mesmo comportamento de distribuição de partícula;
- ✓ A secagem por atomização nas condições avaliadas é capaz de preservar o teor de vitamina C. As partículas da polpa *in natura* tiveram melhor estrutura morfológica e maior retenção de vitamina C.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Estudar o processo de secagem da polpa de cupuaçu utilizando outros tipos de agente carreador (goma arábica, goma de cajueiro, maltodextrina com diferentes DE) e também combinações entre eles, que possam resultar em produtos de boa qualidade e bom rendimento de processo;
- ✓ Avaliar o efeito de outras variáveis de processo, como a temperatura da polpa na entrada do atomizador, a vazão de ar comprimido, vazão de alimentação da solução a ser seca, e utilizar um equipamento que permita definir outros níveis das variáveis de processo já estudadas, para a otimização de todas as respostas desejadas;
- ✓ Estudar a estabilidade dos pós quando expostos a diferentes umidades relativas e determinar as condições críticas de estocagem (atividade de água e teor de água), através da construção de isotermas de sorção e da determinação da temperatura de transição vítrea das partículas expostas a diferentes umidades relativas;
- ✓ Aglomerar o pó obtido visando a obtenção de um produto com partículas maiores, que resultem em boas propriedades de instantaneização;
- ✓ Aplicar o pó de cupuaçu em alguns produtos como barras de cereal, cremes ou pães e avaliar as características físico-químicas e a aceitação sensorial dos mesmos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAS, S., WEI, C. D., HAYAT, K., XIAOMING, Z.: Ascorbic Acid: Microencapsulation Techniques and Trends - A Review. **Food Reviews International**, v. 28:4, p. 343-374, 2012.

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. **Braz. Arch. Biol. Technol**, v. 52, n. 4, p. 1011-1018, 2009.

ALVES, R. M.; FIGUEIRA, A.: Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) genetic resources and breeding in the Brazilian Amazon. **Ingenic Newsletter**. v. 7, p. 25-32, 2002.

ALZAMORA, S.M.; ARGAIZ, A., WELTI, J. Fruit preservation by combined factors. **Food Research International**, Oxford, v.25, n. 2, p.159-165, 1992.

A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, 2006.

A.O.A.C. **Official Methods of Analysis**. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, 2005.

A.O.A.C. **Official methods of analysis of AOAC international**. (16th ed.). Arlington: AOAC, v.1, 1998.

ARCHERI, D. P. R. **Seleção de material de parede para a microencapsulação de óleo essencial de laranja (*Citrus sinensis*) através da secagem por atomização**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1997.

ARSHADY, R.: Microcapsules for food. **Journal of Microencapsulation**, v. 10, n. 4, p. 413-435, 1993.

BASTOS, M. S. R.; GURGEL, T. E. P.; SOUSA, M. S. M. F.; LIMA, I. F. B.; SOUZA, A. C. R.; SILVA, J. B. Efeito da aplicação de enzimas pectinolíticas no rendimento da extração de

polpa de cupuaçu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 240-242, 2002.

BUENO, S. M.; GRACIANO, R. A. S.; FERNANDES, E. C. B.; GARCIA-CRUZ, C. H. Avaliação da qualidade de Polpas de Frutas Congeladas. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 62, n. 2, p. 121-126, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. p. 1018, 2005.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, Chicago, 2000.

CALZAVARA, B. B. G.; MULLER, C. H.; KAHWAGE, O. N. C. Fruticultura tropical: o cupuaçuzeiro, cultivo, beneficiamento e utilização do fruto. **EMBRAPA-CPATU**, p.101, Belém, 1984.

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(4), p. 420–428, 2005.

CARDOSO, N. F., LIMA, E. C., PINTO, I. S., AMAVISCA, C. V., ROYER, B., PINTO, R. B., ALENCAR, W. S., PEREIRA, S. F. P.. Application of cupuassu shell as biosorbent for the removal of textile dyes from aqueous solution. **Journal of Environmental Management** **92**, p. 1237 -1247, 2011.

CARVALHO, J. E. U. de; MULLER, C. H.; ALVES, R. M.; NAZARÉ, R. F. R. de. Cupuaçuzeiro. **EMBRAPA**, Belém-Pa, 2004.

CAVALCANTE E, P. B. Frutas comestíveis da Amazônia. Edições CEJUP/Museu Paraense Emílio Goeldi, p.279, Belém, 1991.

CLEMENT, C. R., CRISTO_ARAÚJO, M., GEO COPPENS D'EECKENBRUGGE, Pereira, A. A., and PICANÇO-RODRIGUES, D. **Origin and Domestication of Native Amazonian Crops**. Diversity, ed. 2, p. 72-106; 2010.

CRUZ, E. D.; Drying and germination of cupuassu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum.) seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 29, n° 3, p. 197-201, 2007.

CUATRECASAS, J. Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus *Theobroma*. **Contributions from the United States National Herbarium**, v. 35; n. 6, p. 379-614, Washington, 1964.

DIONELLO, R. G.; BERBERT, P. A.; MOLINA, M. A. B.; VIANA, A. P.; CARLESSO, V. O.; QUEIROZ, V. A. V. Desidratação por imersão-impregnação de abacaxi em soluções de sacarose e em xarope de açúcar invertido. **Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas**, SP, v. 27, n. 4, p. 701-709, 2007

DZIEZAK, J. D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Technology**, v. 42, n. 4, p. 136-148, 1988.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Programa de melhoramento genético e de adaptação de espécies vegetais para a Amazônia Oriental**. p.137, Belém, 1999.

FALCÃO, M. A.; LERAS, E. Aspectos fenológicos, ecológicos e de produtividade do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum.). **Acta Amazônica**, v. 13, n. 5-6, p. 725-735, Manaus, 1983.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; ALVIM, I. D.; VISSOTTO, F. Z.; AGUIRRE, J. M. Influence of Carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray dryong. **Food Science Technology**, v. 47, p. 1237-1245, 2012.

FILKOVÁ, I; MUJUMDAR, A.S. **Industrial Spray Drying Systems**. Chapter 9 In: Handbook of Industrial Drying, second edition, Vol. 1, Ed. A. S. Mujumdar, 1995. p. 263-308.

GONDIM, T. M. de S.; THOMAZINI, M. S.; CAVALCANTE, M. de J. B.; SOUZA, J. M. L. de. **Aspectos da produção de cupuaçu**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 43 p. (Embrapa Acre. Documentos Técnicos, 67).

HARBORNE, J.B.; WILLIAMS, C.A. Advances in flavonoid research since 1992. **Phytochemistry**, v.52, p.481-504, 2000.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos. 4ª ed. São Paulo: IAL, 2008, 1020p.

JAY, J.M. **Microbiologia de alimentos**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, p. 711, 2005.

KARAASLAN, I.; DALGIÇ, A. C. Spray drying of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract. **Journal Food Science and Technology**. DOI 10.1007/s13197-012-0847-0, 2012.

KIM, E. H. -J.; CHEN, X. D.; PEARCE, D. Surface composition of industrial spray-dried milk powders. 2. Effects of spray drying conditions on the surface composition. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 2, p. 169-181, 2009.

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

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**, Santa Maria, v.36, n.4, p.1283-1287, jul-ago, 2006.

LEITE, J. T. C. **Obtenção de extrato de inulina de chicória (*Cichorium intybus*) por abaixamento de temperatura e secagem por *spray drying***. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, p. 112, Campinas, 2011.

MASTERS, K. *Spray Drying Handbook*, 5th ed.; Longman Scientific and Technical: London, 1991.

MEDINA-VIVANCO, M.L.M.; SOBRAL, P.J.A.; SERENO, A.M.; HUBINGER, M.D. Denaturation and the glass transition temperatures of myofibrillar proteins from osmotically dehydrated tilapia: effect of sodium chloride and sucrose. **International Journal of Food Properties**, Filadélfia, v. 10, n. 4, p. 791-805, 2007.

MELONI, P. L. S. Desidratação de frutas e hortaliças. Fortaleza: **Instituto Frutal**, p. 87, 2003.

MOREIRA, G. É. G., AZEREDO, H. M. C., MEDEIROS, M. F. D., BRITO, E. S., SOUZA, A. C. R.: Ascorbic acid anthocyanin retention during spray drying of acerola pomace extract. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 34 p. 915–925, 2010.

NAZARÉ, R. F. R. de; BARBOSA, W. C.; VIEGAS, R. M. F. Processamento das sementes de cupuaçu para obtenção de cupulate. **EMBRAPA-CPATU**: Belém, 38 p. EMBRAPA CPATU. Boletim de Pesquisa, 108. 1990.

NORI, M. A. Ingredientes e aditivos microencapsulados na indústria de alimentos. **Engenharia de Alimentos**, n. 9, p. 33-35, 1996.

OSMAN, A. F. A; ENDUT, N. **Spray Drying of Roselle-Pineapple Juice: Effects of inlet temperature and maltodextrin on the physical properties**. University Malaysia Pahang, Malaysia. Second International Conference on Environmental and Computer Science, 2009.

PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**. Oxford, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.

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 ex-Spreng Schum) e murici (*Byrsonima crassifolia* L.) processado (aquecido e alcalinizado). **Acta Amazônia**. v. 40(3), p. 573 – 578, 2010.

PRANCE, G. T.; SILVA, M. F. Árvores de Manaus. **INPA**, p. 249-25, Manaus, 1975.

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

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

REINECCIUS, G. A. Flavor encapsulation. **Food Review International**, St. Paul, v. 5, n. 2, p. 146-176, 1989.

REISDORFF, C. *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum., the cupuaçu-tree: additional use option of a cocoa relative. Disponível em: <<http://www.biologie.uni-hamburg.de/bzf/oknu/reisdorff>> Acessado em: 10 de fevereiro de 2012.

RIBEIRO, G. D. **A cultura do cupuaçuzeiro em Rondônia**. EMBRAPA-CPAF-Rondônia, p. 32, Porto Velho, 1995.

ROGEZ, H.; LE BUXANT, R.; MIGNOLET, E.; SOUZA, N. S. J.; SILVA, M. E., LARONDELLE, Y. Chemical composition of the pulp of three typical Amazonian fruits: araçá-boi (*Eugenia stipitata*), bacuri (*Platonia insignis*) and cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **Euro Food Res. Technol**, v. 128, p. 381, 2004.

SEBRAE/AM, **Chocolate de cupuaçu**. 2 ed. 44 p. Manaus, 1999.

SALGADO, J. M.; RODRIGUES, B. S.; DONADO-PESTANA, C. M.; DIAS, C. T. dos S.; MORZELLE, M. C.: **Cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) Peel as Potential Source of Dietary Fiber and Phytochemicals in Whole-Bread Preparations**. Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Plant Foods Hum Nutr. 66, p. 384–390, 2011.

SANTOS, G. M., MAIA G. A., SOUSA, P. M., FIGUEIREDO, R. W., COSTA, J. M. C., FONSECA, A. V. V.: Antioxidant activity and correlations with bioactive components from commercial products of cupuaçu. **Ciência Rural**, v.40, n.7, p.1636-1642, jul, Fortaleza, CE, 2010

SILVA, R. R.; FREITAS, G. A.; SIEBENEICHLER, S. C.; MATA, J. F.; CHAGAS, J. R.. Desenvolvimento inicial de plântulas de *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum. sob influência de sombreamento. **Acta Amazônia** vol. 37(3), p. 365 – 370, 2007.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F. de.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; JUNIOR SILVA, A.; SOUZA FILHO, M. de SÁ de. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* d.c.) pelo processo "foam-mat". **Ciência e tecnologia de Alimentos**. Campinas, SP, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001

SOARES. D.G. et al. Avaliação de compostos com atividade antioxidante em células da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.41, n.1, p.95-100, 2005.

SOUZA, M. S. B.; VIEIRA, L. M. V.; SILVA, M. J. M.; LIMA, A. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 35, n. 3, p. 554-559, maio/jun., 2011.

SYAMALADEVI, R. M., ANDREWS, P. K.: "Storage effects on anthocyanins, phenolics and antioxidant activity of thermally processed conventional and organic blueberries." **Journal of the Science of Food and Agriculture** 92 v.4, p. 916-924, 2012.

TZE, N. L.; HAN, C. P.; YUSOF, Y. A.; LING, C. N.; TALIB, R. A.; TAIP, F. S.; AZIZ, M. G. Physicochemical and Nutritional Properties of Spray-dried Pitaya Fruit Powder as Natural Colorant. **Food Science and Biotechnology**, v. 21, n. 3, p. 675-682, 2012.

TONON, R. V. **Influência das variáveis de processo sobre a cinética de desidratação osmótica de tomate em soluções ternárias de cloreto de sódio e sacarose**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdades de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, p. 212, Campinas, 2009.

VENTURIERI G. A. Cupuaçu: a espécie, sua cultura, usos e processamento. **Clube do cupuaçu**. p. 108, Belém, 1993.

VRIESMANN, L. C., Polysaccharides from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*): structural characterization of a pectic fraction. **Carbohydrate Polymers**, p. 2-4, 2008.

VRIESMANN, L. C., SILVEIRA, J. L. M.; PETKOWICZ, C. L. de O.; Polysaccharides from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*): Structural characterization of a pectic fraction. **Carbohydrate Polymers** v. 77 p. 72–79, 2009.

VRIESMANN, L. C., SILVEIRA, J. L. M.; PETKOWICZ, C. L. de O.; Rheological behavior of a pectic fraction from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*) Universidade Federal do Paraná, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, **Carbohydrate Polymers**, v.79, p. 312–317, 2010.