



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

AUDIRENE AMORIM SANTANA

**OBTENÇÃO DA POLPA DE PEQUI E DO LEITE DE COCO
BABAÇU MICROENCAPSULADOS ATRAVÉS DA SECAGEM
POR ASPERSÃO**

CAMPINAS – SP
FEVEREIRO DE 2013



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

AUDIRENE AMORIM SANTANA

**OBTENÇÃO DA POLPA DE PEQUI E DO LEITE DE COCO
BABAÇU MICROENCAPSULADOS ATRAVÉS DA SECAGEM
POR ASPERSÃO**

Orientador: Prof. Dr. KIL JIN PARK

Co-orientadora: Prof. Dra. LOUISE EMY KUROZAWA

Tese de Doutorado 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 Doutor em Engenharia Agrícola, na área de Tecnologia Pós-Colheita

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELA ALUNA AUDIRENE AMORIM SANTANA E
ORIENTADA PELO PROF. DR. KIL JIN PARK

Assinatura do Orientador

CAMPINAS – SP
FEVEREIRO DE 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

Sa59o Santana, Audirene Amorim
Obtenção da polpa de pequi e do leite de coco babaçu
microencapsulados através da secagem por aspersão /
Audirene Amorim Santana. --Campinas, SP: [s.n.], 2013.

Orientador: Kil Jin Park
Coorientador: Louise Emy Kurozawa.
Tese de Doutorado - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Goma arábica. 2. Maltodextrina. 3. Dextrina. 4.
Antioxidantes. 5. Oxidação lipídica. I. Park, Kil Jin,
1950-. II. Kurozawa, Louise Emy. III. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Obtaining pequi pulp and babassu coconut milk
microencapsulated by spray drying

Palavras-chave em Inglês: Arabic gum, Maltodextrin, Dextrin, Antioxidants,
Lipid oxidation

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

Titulação: Doutora em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Flávio Luís Schmidt, Rafael Augustus de Oliveira,
Wanderlei Pereira Oliveira, Cristina Yoshie Takeiti

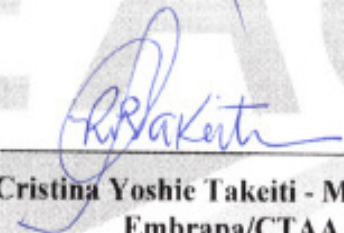
Data da defesa: 07-02-2013

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

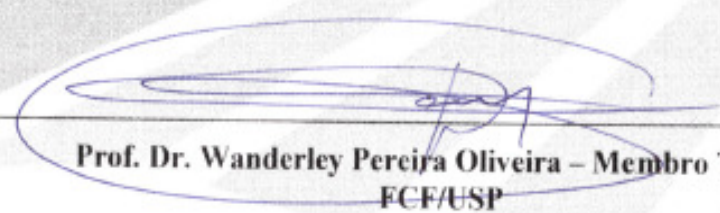
Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Audirene Amorim Santana**, aprovada pela Comissão Julgadora em 07 de fevereiro de 2013, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



Prof. Dr. Kil Jin Park - Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



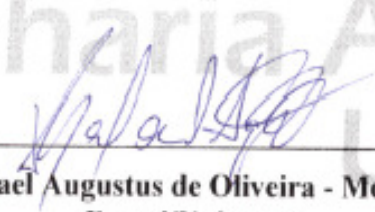
Dra. Cristina Yoshie Takeiti - Membro Titular
Embrapa/CTAA



Prof. Dr. Wanderley Pereira Oliveira - Membro Titular
FCF/USP



Prof. Dr. Flávio Luís Schmidt - Membro Titular
FEA/Unicamp



Prof. Dr. Rafael Augustus de Oliveira - Membro Titular
Feagri/Unicamp

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais Anísio Santana da Silva e
Antonia Amorim Santana, pelo amor,
dedicação e apoio em todos os momentos**

AGRADECIMENTOS

À Deus, minha fortaleza, guia e companheiro fiel de todos os momentos, pelo dom da vida.

Aos meus pais, por minha educação e formação, e ao incentivo sempre dado sem nunca medir esforços.

Aos meus irmãos e a todos os meus familiares, pelo convívio, compreensão, companheirismo e auxílio.

Ao Prof. Dr. Kil Jin Park, pela orientação, confiança, apoio, carinho e amizade. Obrigada pelos ensinamentos que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

À Profa. Dra. Louise Emy Kurozawa, pela co-orientação e amizade, pela paciência em todos os momentos, permitindo um amadurecimento profissional constante.

Ao Prof. Dr. Rafael Augustus de Oliveira, pela amizade, pela orientação que muito contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e para a formação profissional.

Aos membros da banca examinadora, Profa. Dra. Cristina Yoshie Takeiti, Prof. Dr. Wanderlei Pereira de Oliveira, Prof. Dr. Flávio Luís Schmidt e Prof. Dr. Rafael Augustus de Oliveira, pelas importantes correções, que contribuíram para o enriquecimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Theo Guenter Kieckbusch e ao Prof. Dr. Rafael Augustus de Oliveira pela contribuição na banca de qualificação.

Aos Professores doutores Armando Kazuo Fujii, Barbara Janet Teruel Mederos, Sylvio Luis Honório, Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, Benedito Carlos Benedetti e Rafael Augustus de Oliveira, pela orientação durante o Programa de Estágio Docente.

À FAPESP, pela concessão da bolsa de doutorado e reserva técnica que permitiram a realização deste projeto.

À Faculdade de Engenharia Agrícola pela oportunidade da realização do doutorado.

Aos técnicos do Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita/Secagem (Rosa, Francisco, Rosália e Franciane), pela amizade e ajuda nos experimentos.

Aos Laboratórios de Recursos Analíticos e de Calibração e Caracterização de Produtos e Processos da Faculdade de Engenharia Química (FEQ-UNICAMP) pela realização de análises. Em especial, à Kelly Roberta e Celso Luiz.

Aos Laboratórios de Engenharia de Processos, Química de Alimentos e Cereais, Raízes e Tubérculos da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA-UNICAMP) pela realização de análises. Em especial, à Zildene, Rosemar e Alessandra.

À Sílvia Germer, Silva Moura e Cristhiane Ferrari do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), pela amizade e ajuda prestada neste trabalho.

Aos Alunos de iniciação científica, Paula Chu, Gustavo Fugita, Maria Amália e Felipe Su, pela amizade e aprendizado, e também pela paciência e tranquilidade mesmo quando tudo parecia que ia dar errado.

Às empresas Corn Products e Colloides Naturels pela doação de maltodextrina, amido de milho simples, dextrina e goma arábica, necessários para o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos: Carlos Eduardo (Kadulete), Adilto (Diltinho), Juan Carlos (Juanito), João (Sulanca), Dalmo (Dalminho), Larissa (Lari), Diogo, Daniele, que estiveram junto a mim no momento que mais precisei, muito obrigada.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita: Gabriel, Arthur, Vânia, Carol, Rosa Helena, Rosália, Chico, Denize, Eveline, Glenda, Stella, Rívia, Mara, Rodolfo, Wesley, pela amizade, companhia, ajuda, atenção e risadas ao longo do doutorado.

À minha querida amiga Rosalinda, pela amizade e pela disposição em me ajudar sempre.

Ao Prof. Dr. Aroldo Arévalo Pinedo, da Universidade Federal do Tocantins, pela amizade e bons ensinamentos.

À Helena, Mariana, Talita (FEA/UNICAMP), pela disposição em me ajudar, muito obrigada.

Ao meu namorado Louryval, pessoa maravilhosa que entrou na minha vida, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, principalmente naqueles em que mais precisei.

Aos funcionários e estagiários da FEAGRI/UNICAMP, pela amizade e companheirismo.

A todos, que diretamente ou indiretamente, colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

***“O propósito do aprendizado é crescer, e nossas mentes, diferentes de
nossos corpos, podem continuar crescendo enquanto continuamos a
viver”
(Mortimer Adler)***

NOMENCLATURA

A_w	Atividade de água	-
ali	Líquido utilizado na alimentação	-
A e B	Constantes da equação de Halsey	-
C	Constante da equação de BET	-
C_{GAB}	Constante de adsorção da equação de GAB	-
C_S	Concentração de surfactante <i>Tween</i> 80	%
C_{GA}	Concentração de goma arábica	%
C_M	Concentração de maltodextrina	%
C_D	Concentração de dextrina	%
C^*	Croma	-
D	Constante da equação de Oswin	-
DCCR	Delineamento composto central rotacional	-
$D[4,3]$	Diâmetro de Brouckere	µm
DRM	Desvio relativo médio	%
h°	Ângulo da totalidade	-
$L^*, a^* \text{ e } b^*$	Parâmetros de cor	-
K_{GT}	Constante do modelo de Gordon e Taylor	-
$k_{(T)}$	Velocidade de reação a uma determinada temperatura	-
$k_{(T-10)}$	Velocidade de reação a uma temperatura 10 °C mais baixa	-
K_{GAB}	Constante de adsorção da equação de GAB	-
k' e n'	Constantes da equação de Henderson	-
m	Massa	g
N	Número de pontos experimentais	-
p	Pressão de vapor	Pa
p_o	Pressão de vapor do alimento	Pa

$pó$	Produto em pó	-
Q_{10}	Quociente entre as velocidades de reação a uma determinada temperatura e a uma temperatura 10 °C mais baixa	-
RS	Rendimento de secagem	%
T_{ent}	Temperatura do ar de entrada no secador	°C
T_g	Temperatura de transição vítrea	°C
$t_{1/2}$	Tempo de meia-vida	dias
URE	Umidade relativa de equilíbrio	%
V	Volume	mL
V_p	Valores preditos pelo modelo	-
V_0	Valores observados experimentalmente	-
X_e	Umidade de equilíbrio	g _{água} /g _{sólido seco}
X_m	Umidade na monocamada molecular	g _{água} /g _{sólido seco}
$X_{sól}$	Conteúdo de sólidos	g sólidos/g pó ou alimentação
ρ_{ap}	Densidade aparente	g/mL
ρ_{abs}	Densidade absoluta	g/mL
ε	Porosidade	-
w_1	Fração de sólidos	g sólidos/g total
w_2	Fração de água	g água/g total
ΔE^*	Diferença total de cor	-

RESUMO

O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb), fruto rico em óleo, proteínas e carotenoides, é cultivado em todo o cerrado brasileiro. Outro produto encontrado nesta região é o babaçu (*Orbignya phalerata*, Mart.), que é uma das mais importantes representantes das palmeiras brasileiras. Dele é obtida a amêndoa que tem um agradável sabor e reconhecido valor nutricional. A secagem destes produtos está configurada entre as diversas tecnologias para o seu aproveitamento. Um tipo de secagem muito utilizado para a transformação de um produto no estado fluido para o estado sólido em forma de pó é a secagem por aspersão. O objetivo deste trabalho é a obtenção de polpa de pequi e leite de coco babaçu em pó microencapsulados com maltodextrina DE10, goma arábica e dextrina através do processo de secagem por aspersão. Inicialmente, foi feita a caracterização centesimal das matérias-primas e testes preliminares para a obtenção de alguns pós, formulados com diferentes agentes encapsulantes. A partir dos dados obtidos nos testes preliminares para a polpa de pequi, foram realizados três delineamentos composto central rotacional (DCCR, com 17 ensaios variando a temperatura do ar de secagem, concentração de agente encapsulante e concentração de agente surfactante), tendo como respostas umidade, higroscopicidade, rendimento, vitamina C, atividade de água (A_w) e carotenoides totais. Para o leite de babaçu, foram realizados três DCCR (11 ensaios), visando avaliar o efeito das variáveis temperatura do ar de secagem e concentração de agente encapsulante sobre as respostas umidade, higroscopicidade, rendimento, A_w e oxidação lipídica. A vitamina C e o rendimento obtido para as partículas de polpa de pequi foram muito parecidos para os três agentes encapsulantes, porém as partículas com dextrina apresentaram maiores valores de carotenoides totais. Para as cápsulas de leite de coco babaçu, a dextrina apresentou menor conservação oxidativa que os demais encapsulantes. Através destes planejamentos, foram obtidas as condições otimizadas do processo. Os pós obtidos nestas condições foram avaliados quanto à densidade aparente e real, porosidade, distribuição do tamanho das partículas, molhabilidade, microscopia eletrônica de varredura, condições críticas de estocagem através das análises de isotermas de sorção e temperatura de transição vítrea e estudo da estabilidade através das análises de carotenoides totais, oxidação lipídica, cor e atividade antioxidante. O maior diâmetro médio das partículas foi obtido para os pós de polpa de pequi e leite de coco babaçu com dextrina e, conseqüentemente, tiveram o menor tempo de molhamento. Os pós de polpa de pequi e leite de coco babaçu com goma arábica, maltodextrina e dextrina apresentaram tamanho heterogêneo de esferas. As isotermas de sorção das amostras produzidas com polpa de pequi e leite de coco babaçu com os diferentes agentes encapsulantes apresentaram um bom ajuste ao modelo de BET para dois parâmetros. A A_w crítica para os pós de polpa de pequi foi de 0,62, pois acima desta A_w os pós apresentam transformações físicas como colapso, pegajosidade e *caking*. Para o leite de coco babaçu o valor crítico de A_w foi de 0,96, porém o valor crítico de umidade não foi possível determinar. Nas análises de estabilidade das cápsulas de polpa de pequi e leite de coco babaçu, a goma arábica se mostrou mais eficiente na encapsulação e proteção contra a presença de oxigênio, podendo ser fixada em estudos futuros para estes produtos.

Palavras-chave: goma arábica, maltodextrina, dextrina, carotenoides, oxidação lipídica, antioxidantes.

ABSTRACT

Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb), fruit rich in oil, protein and carotenoids, is grown throughout the Brazilian Cerrado. Another product found in this region is the babassu (*Orbignya phalerata*, Mart.), which is one of the most important representatives of Brazilian palms. It is obtained the almond that has a nice flavor and nutritional value recognized. Drying of these products is set up between the various technologies for its use. A widely used kind of drying for the processing of a product in a fluid state to solid in powder form is spray drying. The objective of this research was to obtain pequi pulp and babassu coconut milk powder microencapsulated with maltodextrin DE10, gum Arabic and dextrin through the process of spray drying. Initially, centesimal characterization was made of raw materials and preliminary tests for some powders formulated with different agents encapsulants. From data obtained in preliminary tests for pequi pulp was performed three central composite rotatable design (CCRD with 17 assays), and the moisture content, hygroscopicity, process yield, vitamin C, A_w and total carotenoids were evaluated. For babassu coconut milk three CCRD (11 test) were evaluated to verify the effect of inlet air temperature and encapsulating agent concentration, on the responses moisture content, hygroscopicity, process yield, A_w and lipid oxidation. Vitamin C and the yield obtained for particles of pequi pulp were very similar for the three experimental matrix studied, but the particles with dextrin had higher levels of total carotenoids. For capsules babassu coconut milk, dextrin showed less oxidative conservation than other encapsulants. Through these experimental, the optimized conditions of the process were obtained. The powders obtained under these conditions were evaluated for the real and apparent density, porosity, particle size distribution, wettability, scanning electron microscopy, critical storage conditions through the analysis of sorption isotherms and glass transition temperature and study of stability through analyzes of total carotenoids, lipid oxidation, color and antioxidants. The greatest mean diameter was obtained for powders of pequi pulp and babassu coconut milk microencapsulated with dextrin and consequently had the shortest time wetting. The powders of pequi pulp and babassu coconut milk with gum Arabic, maltodextrin and dextrin were presented heterogeneous size. The sorption isotherms of the pulp pequi and babassu coconut milk microencapsulated with different encapsulating agents showed a good fit to the BET model to two parameters. The critical A_w for the powders pequi pulp was 0.62, since, above this value powder shows physical transformations as collapse, stickiness and caking. As for the babassu coconut milk powder the critical value of A_w was 0.96, but the critical moisture could not be determined. In the analyzes of stable capsules pequi pulp and babassu coconut milk, gum Arabic is more efficient encapsulation and protection in the presence of oxygen, which may be fixed in future studies for these products.

Keywords: Arabic gum, maltodextrin, dextrin, carotenoids, lipid oxidation, antioxidants.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Árvore adulta do pequizeiro.	8
Figura 2.2 - Flor (A), frutos na árvore (B), fruto cortado (C) e caroço de pequi com corte longitudinal (D).	8
Figura 2.3 - Fruto de pequi (A) e caroço de pequi com corte longitudinal (B).	9
Figura 2.4 - Estrutura química de alguns carotenoides.	16
Figura 2.5 - Reação genérica entre o radical livre DPPH e um antioxidante.	19
Figura 2.6 - Mecanismo de reação do radical ABTS [•] em contato com o antioxidante para a determinação da atividade antioxidante pelo método TEAC.	20
Figura 2.7 - Mecanismo de reação do íon férrico para a determinação da atividade antioxidante pelo método FRAP.	21
Figura 2.8 - Palmeira (A), cacho com cocos (B), cocos (C) e amêndoas de coco babaçu (D)..	22
Figura 2.9 - Produtos da industrialização do coco babaçu.	23
Figura 2.10 - Esquema de um <i>spray dryer</i>	26
Figura 2.11 - Estágios para a formação das partículas durante o processo de secagem por aspersão.	28
Figura 2.12 - Simulação da variação no conteúdo de umidade (W) e temperatura de uma partícula de leite (T _p) em função do tempo de residência no <i>spray dryer</i> e seu mecanismo de secagem.	28
Figura 2.13 - Micropartículas com diferentes tipos de estrutura.	30
Figura 2.14 - Tipos de morfologia das microcápsulas.	31
Figura 2.15 - Estrutura química da dextrina.	38
Figura 2.16 - Isotermas de adsorção e dessorção (I – Monocamada molecular, II – Policamada molecular e III – Água líquida e moléculas dissolvidas).	46
Figura 2.17 - Tipos de isotermas de sorção.	49
Figura 2.18 - Diagrama do estado esquemático de um alimento típico.	51
Figura 3.1 - Mini <i>spray dryer</i> utilizado nos ensaios de secagem por aspersão.	57
Figura 3.2 - Diagrama de fluxo do processamento do extrato da polpa de pequi.	59

Figura 3.3 - Amêndoas de coco babaçu.....	60
Figura 3.4 - (a): Amêndoas descascadas; (b): Resíduos (película marrom) de amêndoa de coco babaçu.....	60
Figura 3.5 - Farinha de coco babaçu.	61
Figura 3.6 - Diagrama de fluxo do processamento do leite de coco babaçu.	62
Figura 4.1 - Pós dos 17 ensaios de polpa de pequi microencapsulado com goma arábica.....	88
Figura 4.2 - Pós dos 17 ensaios de polpa de pequi microencapsulado com maltodextrina.....	89
Figura 4.3 - Pós dos 17 ensaios de polpa de pequi microencapsulado com dextrina.	90
Figura 4.4 - Superfícies de respostas e curvas de contorno para a resposta umidade (%) dos pós de polpa de pequi encapsulados com goma arábica.....	92
Figura 4.5 - Superfícies de respostas e curvas de contorno para a resposta atividade de água dos pós de polpa de pequi encapsulados com goma arábica.	95
Figura 4.6 - Superfícies de respostas e curvas de contorno para a resposta higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos) dos pós de polpa de pequi encapsulados com goma arábica.....	98
Figura 4.7 - Superfícies de respostas e curvas de contorno para a resposta rendimento (%) dos pós de polpa de pequi encapsulados com dextrina.....	102
Figura 4.8 - Superfícies de respostas e curvas de contorno para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/g sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsuladas com goma arábica.....	105
Figura 4.9 - Superfícies de respostas e curvas de contorno para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/g sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsuladas com maltodextrina.	106
Figura 4.10 - Mudanças visuais causadas pela absorção de água ao longo do tempo nos pós obtidos a partir da polpa de pequi com goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente microencapsulante (temperatura ambiente, umidade relativa de 75,3 %).	111
Figura 4.11 - Distribuição do tamanho de partículas dos pós selecionados de polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	116
Figura 4.12 - Imagens das partículas resultantes da secagem dos pós selecionados de polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	121

Figura 4.13 - Isotermas de sorção da polpa de pequi em pó microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, ajustadas pelo modelo de BET.....	125
Figura 4.14 - Termograma obtido para a amostra de polpa de pequi produzida com dextrina, armazenada em umidade relativa de 22,6 %.	127
Figura 4.15 - Temperatura de transição vítrea em função do conteúdo de sólidos para a polpa de pequi em pó microencapsulada com dextrina.....	130
Figura 4.16 - Variação da temperatura de transição vítrea e da umidade de equilíbrio, em função da atividade de água, para a polpa de pequi em pó microencapsulada com dextrina...	132
Figura 4.17 - Cinética de degradação oxidativa nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.	134
Figura 4.18 - Cinética de degradação dos carotenoides nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.	137
Figura 4.19 - Cinética de degradação do parâmetro de ΔE^* nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.	140
Figura 4.20 - Cinética de degradação do parâmetro de cor croma nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.	142
Figura 4.21 - Cinética de degradação do parâmetro de cor h° nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.	144
Figura 4.22 - Cinética de degradação dos antioxidantes pelo método DPPH nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.....	147
Figura 4.23 - Cinética de degradação dos antioxidantes pelo método FRAP nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.....	148
Figura 4.24 - Pós dos 11 ensaios de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica.....	159

Figura 4.25 - Pós dos 11 ensaios de leite de coco babaçu microencapsulado com maltodextrina.....	160
Figura 4.26 - Pós dos 11 ensaios de leite de coco babaçu microencapsulado com dextrina... 160	160
Figura 4.27 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta umidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com goma arábica.	163
Figura 4.28 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta umidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com maltodextrina.	163
Figura 4.29 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta atividade de água dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com dextrina.	166
Figura 4.30 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta higroscopicidade (g água adsorvida/100 g sólidos) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com goma arábica.....	169
Figura 4.31 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com goma arábica.....	171
Figura 4.32 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com maltodextrina.	171
Figura 4.33 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com dextrina.	172
Figura 4.34 - Mudanças visuais causadas pela absorção de água ao longo do tempo nos pós obtidos a partir do leite de coco babaçu com goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente microencapsulante (temperatura ambiente, umidade relativa de 75,3 %).	176
Figura 4.35 - Distribuição do tamanho de partículas dos pós selecionados de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	181
Figura 4.36 - Imagens das partículas resultantes da secagem dos pós selecionados de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	185
Figura 4.37 - Isotermas de sorção leite de coco babaçu em pó microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, ajustadas pelo modelo de BET.....	190
Figura 4.38 - Termograma obtido para a amostra de leite de coco babaçu produzida com dextrina, armazenada em umidade relativa de 22,6 %.	191
Figura 4.39 - Temperatura de transição vítrea em função do conteúdo de sólidos para o leite de coco babaçu em pó microencapsulada com dextrina.....	194

Figura 4.40 - Variação da temperatura de transição vítrea e da umidade de equilíbrio, em função da atividade de água, para o leite de coco babaçu em pó microencapsulado com dextrina.	195
Figura 4.41 - Cinética de degradação oxidativa nas partículas de leite de coco babaçu, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.	197
Figura 4.42 - Cinética de degradação da ΔE^* nas partículas de leite de coco babaçu, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.....	202
Figura 4.43 - Cinética de degradação do parâmetro de cor croma nas partículas de leite de coco babaçu, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina	204
Figura 4.44 - Cinética de degradação do parâmetro de cor h^o nas partículas de leite de coco babaçu, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina	206
Figura A.1 - Ensaio 1 da secagem de polpa de pequi.....	258
Figura A.2 - Ensaio 2 da secagem de polpa de pequi.....	259
Figura A.3 - Ensaios 3 a 10 da secagem de polpa de pequi.	259
Figura A.4 - Ensaios de 1 a 7 na secagem do leite de coco babaçu	262
Figura A.5 - Leite de coco babaçu em pó obtido no ensaio 8	263
Figura A.6 - Influência das variáveis independentes sobre a resposta rendimento (%).	271
Figura A.7 - Superfícies de respostas e curvas de contorno para a resposta rendimento (%)..	277

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição química centesimal da polpa de pequi.....	11
Tabela 2.2 - Principais agentes encapsulantes em alimentos.	33
Tabela 2.3 - Características dos amidos e seus hidrolisados de acordo com sua DE.....	36
Tabela 2.4 - Propriedades físicas e químicas de algumas dextrinas comerciais.....	39
Tabela 2.5 - Valores do número de HLB para os surfactantes e as respectivas emulsões nas quais devem ser utilizados.....	40
Tabela 2.6 - Valores do número de HLB de alguns surfactantes comerciais.....	41
Tabela 3.1 - Planejamento experimental para polpa de pequi variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}), concentração de surfactante (C_S), concentração de goma arábica (C_{GA}).	66
Tabela 3.2 - Planejamento experimental para polpa de pequi variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}), concentração de surfactante (C_S), concentração de maltodextrina (C_M) ou dextrina (CD).....	67
Tabela 3.3 - Planejamento experimental para o leite de coco babaçu variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}), concentração de goma arábica (C_{GA}).....	68
Tabela 3.4 - Planejamento experimental para o leite de coco babaçu variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}), concentração de maltodextrina (C_M) ou dextrina (CD)....	69
Tabela 3.5 - Valores de A_w relacionados às soluções salinas saturadas a 25 °C.....	75
Tabela 4.1 - Composição físico-química da polpa pequi.	83
Tabela 4.2 - Respostas do planejamento experimental para polpa de pequi em pó utilizando goma arábica como agente encapsulante.....	85
Tabela 4.3 - Respostas do planejamento experimental para polpa de pequi em pó utilizando maltodextrina como agente encapsulante.	86
Tabela 4.4 - Respostas do planejamento experimental para polpa de pequi em pó utilizando dextrina como agente encapsulante.	87

Tabela 4.5 - Valores experimentais para as análises realizadas nos pós produzidos nas condições selecionadas pelos planejamentos experimentais para a polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	109
Tabela 4.6 - Densidade aparente, densidade absoluta e porosidade dos pós de polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.	113
Tabela 4.7 - Diâmetro médio $D[4,3]$ das partículas com polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.	117
Tabela 4.8 - Valores de tempo de molhabilidade dos pós de polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.	118
Tabela 4.9 - Valores experimentais de umidade de equilíbrio a 25 °C, para as amostras de polpa de pequi produzidas com diferentes tipos de agentes carreadores.	122
Tabela 4.10 - Parâmetros de ajuste da isoterma dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	124
Tabela 4.11 - Temperatura de transição vítrea do pó de polpa de pequi com dextrina armazenados em diferentes atividade de água.	128
Tabela 4.12 - Parâmetros de ajuste do modelo de Gordon-Taylor do pó de polpa de pequi com dextrina.	129
Tabela 4.13 - Parâmetros cinéticos da degradação oxidativa dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina	135
Tabela 4.14 - Valores de Q_{10} obtidos na análise de oxidação lipídica para as amostras de polpa de pequi atomizadas e estocadas em diferentes A_w 's	136
Tabela 4.15 - Parâmetros cinéticos da degradação dos carotenoides dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	138
Tabela 4.16 - Valores de Q_{10} obtidos na análise de carotenoides para as amostras atomizadas e estocadas em diferentes A_w 's	139
Tabela 4.17 - Parâmetros cinéticos da ΔE^* dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina	141
Tabela 4.18 - Parâmetros cinéticos de cor C^* dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina	143

Tabela 4.19 - Parâmetros cinéticos de cor h° dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.....	145
Tabela 4.20 - Valores de Q_{10} para os parâmetros de cor dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, estocadas em diferentes A_w 's	146
Tabela 4.21 - Parâmetros cinéticos da degradação dos antioxidantes pelo método de DPPH dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina	150
Tabela 4.22 - Parâmetros cinéticos da degradação dos antioxidantes pelo método de FRAP dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina	151
Tabela 4.23 - Valores de Q_{10} para os parâmetros de antioxidantes dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, estocadas em diferentes A_w 's	152
Tabela 4.24 - Composição físico-química do leite de coco, amêndoa, farinha e resíduo de babaçu.....	153
Tabela 4.25 - Respostas do planejamento experimental para o leite de coco babaçu em pó utilizando goma arábica como agente encapsulante.....	156
Tabela 4.26 - Respostas do planejamento experimental para o leite de coco babaçu em pó utilizando maltodextrina como agente encapsulante.	157
Tabela 4.27 - Respostas do planejamento experimental para o leite de coco babaçu em pó utilizando dextrina como agente encapsulante.	158
Tabela 4.28 - Valores experimentais para as análises realizadas nos pós produzidos nas condições selecionadas pelos planejamentos experimentais para o leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina.....	174
Tabela 4.29 - Densidade aparente, densidade absoluta e porosidade dos pós de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.	179
Tabela 4.30 - Diâmetro médio $D[4,3]$ das partículas de leite de coco babaçu microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.	182
Tabela 4.31 - Valores de tempo de molhabilidade dos pós de leite de coco babaçu microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.	183

Tabela 4.32 - Valores experimentais de umidade de equilíbrio a 25 °C, para as amostras de leite de coco babaçu produzidas com diferentes tipos de agentes carreadores.	187
Tabela 4.33 - Parâmetros de ajuste da isoterma do pó de leite de coco babaçu microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	188
Tabela 4.34 - Temperatura de transição vítrea do pó de leite de coco babaçu com dextrina armazenados em diferentes atividade de água.	192
Tabela 4.35 - Parâmetros de ajuste do modelo de Gordon-Taylor dos pós de leite de coco babaçu com dextrina.	193
Tabela 4.36 - Parâmetros cinéticos da degradação oxidativa dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	200
Tabela 4.37 - Valores de Q_{10} obtidos na análise de oxidação lipídica para as amostras de leite de coco babaçu atomizadas e estocadas em diferentes A_w 's.	201
Tabela 4.38 - Parâmetros cinéticos da ΔE^* dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	203
Tabela 4.39 - Parâmetros cinéticos de cor C^* dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	205
Tabela 4.40 - Parâmetros cinéticos de cor h° dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.	207
Tabela 4.41 - Valores de Q_{10} para os parâmetros de cor dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, estocadas em diferentes A_w 's.	208
Tabela A.1 - Ensaios preliminares de secagem do extrato da polpa de pequi.	256
Tabela A.2 - Ensaios preliminares de secagem do leite de coco babaçu.	260
Tabela A.3 - Ensaios do planejamento experimental para o leite de coco babaçu, variando os parâmetros temperatura do ar de entrada T_{ent} , vazão de alimentação $\dot{m}_{alim}$ e concentração de goma arábica C_{GA}	264
Tabela A.4 - Ensaios do planejamento experimental para o leite de coco babaçu, variando os parâmetros temperatura do ar de entrada T_{ent} , vazão de alimentação $\dot{m}_{alim}$ e concentração de maltodextrina C_M	265

Tabela A.5 - Resultados experimentais da umidade, higroscopicidade e rendimento para o leite de coco babaçu em pó utilizando goma arábica como agente encapsulante.....	266
Tabela A.6 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%).	267
Tabela A.7 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (g água adsorvida/ 100g sólidos).....	268
Tabela A.8 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%).	269
Tabela A.9 - Análise de variância do modelo ajustado para a resposta rendimento.	270
Tabela A.10 - Resultados experimentais da umidade, higroscopicidade e rendimento para o leite de coco babaçu em pó utilizando maltodextrina como agente encapsulante.....	272
Tabela A.11 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%).	273
Tabela A.12 - Análise de variância do modelo ajustado para a resposta umidade.....	274
Tabela A.13 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (g água adsorvida/ 100g sólidos).	274
Tabela A.14 - Análise de variância do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade.....	275
Tabela A.15 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%).	276
Tabela A.16 - Análise de variância do modelo ajustado para a resposta rendimento.	276
Tabela A.17 - Rendimento e umidade do pó para polpa de pequi.....	278
Tabela B.1 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) dos pós de polpa de pequi encapsulada com goma arábica	280
Tabela B.2 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta umidade dos pós de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.....	281
Tabela B.3 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) dos pós de polpa de pequi encapsulada com maltodextrina.....	281
Tabela B.4 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta umidade dos pós de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.....	282

Tabela B.5 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) dos pós de polpa de pequi encapsulada com dextrina.....	282
Tabela B.6 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água dos pós de polpa de pequi encapsulada com goma arábica.....	282
Tabela B.7 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta atividade de água dos pós de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.....	283
Tabela B.8 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água dos pós de polpa de pequi encapsulada com maltodextrina.....	284
Tabela B.9 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água dos pós de polpa de pequi encapsulada com dextrina.....	285
Tabela B.10 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) dos pós de polpa de pequi encapsulada com goma arábica.....	286
Tabela B.11 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade dos pós de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.....	286
Tabela B.12 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) dos pós de polpa de pequi encapsulada com maltodextrina.....	287
Tabela B.13 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade dos pós de polpa de pequi encapsulado com dextrina.....	287
Tabela B.14 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) dos pós de polpa de pequi encapsulada com dextrina.....	288
Tabela B.15 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) dos pós de polpa de pequi encapsulada com goma arábica.....	289
Tabela B.16 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento dos pós de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.....	289
Tabela B.17 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) dos pós de polpa de pequi encapsulada com maltodextrina.....	290
Tabela B.18 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) dos pós de polpa de pequi encapsulada com dextrina.....	291

Tabela B.19 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento dos pós de polpa de pequi encapsulado com dextrina.....	291
Tabela B.20 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/g sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsulada com goma arábica.....	292
Tabela B.21 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta vitamina C dos pós de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.....	292
Tabela B.22 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/g sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsulada com maltodextrina.	293
Tabela B.23 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta vitamina C dos pós de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.....	293
Tabela B.24 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/g sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsulada com dextrina.....	294
Tabela B.25 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta vitamina C dos pós de polpa de pequi encapsulado com dextrina.....	294
Tabela B.26 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta carotenóides totais (mg carotenóides/g de sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsulada com goma arábica.	295
Tabela B.27 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta carotenóides totais (mg carotenóides/g de sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsulada com maltodextrina.	296
Tabela B.28 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta carotenoides totais dos pós de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.....	296
Tabela B.29 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta carotenóides totais (mg carotenóides/g de sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsulada com dextrina.....	297
Tabela B.30 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta carotenoides totais dos pós de polpa de pequi encapsulado com dextrina.....	297

Tabela B.31 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.....	298
Tabela B.32 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta umidade dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.....	298
Tabela B.33 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.....	299
Tabela B.34 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta umidade dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.	299
Tabela B.35 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.	300
Tabela B.36 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica	300
Tabela B.37 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta atividade de água dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica	301
Tabela B.38 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.	301
Tabela B.39 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.....	302
Tabela B.40 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta atividade de água dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.....	302
Tabela B.41 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica	303
Tabela B.42 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.	303
Tabela B.43 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.	304

Tabela B.44 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.....	304
Tabela B.45 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.. .	305
Tabela B.46 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.....	305
Tabela B.47 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.	306
Tabela B.48 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.	306
Tabela B.49 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.	307
Tabela B.50 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.....	307
Tabela B.51 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.....	308
Tabela B.52 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta oxidação lipídica (meq peróxido/kg de óleo) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.	308
Tabela B.53 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta oxidação lipídica dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica	309
Tabela B.54 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta oxidação lipídica (meq peróxido/kg de óleo) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.	309
Tabela B.55 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta oxidação lipídica dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.....	310

Tabela B.56 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta oxidação lipídica (meq peróxido/kg de óleo) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.	310
---	-----

SUMÁRIO

RESUMO.....	xiii
ABSTRACT	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE TABELAS.....	xx
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	5
1.2.1 Geral.....	5
1.2.2 Específicos	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 Pequi	7
2.1.1 Atividade antioxidante.....	12
2.1.1.1 Vitamina C (ácido ascórbico)	14
2.1.1.2 Carotenoides	15
2.1.1.3 Métodos utilizados na avaliação de atividade antioxidante.....	17
2.2 Leite de coco babaçu	21
2.3 Secagem por aspersão (<i>Spray drying</i> , fluidização ou nebulização)	24
2.4 Microencapsulação	29
2.4.1 Agentes encapsulantes.....	32
2.4.1.1 Goma arábica.....	34
2.4.1.2 Maltodextrina	35
2.4.1.3 Dextrina	37
2.4.2 Surfactantes	39
2.5 Propriedades físico-químicas de alimentos em pó	41
2.5.1 Microestrutura das partículas	42
2.5.2 Tamanho de partículas.....	43
2.6 Isotermas de sorção em água.....	44
2.7 Temperatura de transição vítrea em alimentos	49

2.8 Estabilidade dos alimentos	52
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	55
3.1 Material.....	55
3.1.1 Matérias-primas	55
3.1.2 Agentes encapsulantes	55
3.1.3 Surfactantes	56
3.1.4 <i>Spray-dryer</i>	56
3.2 Elaboração da polpa de pequi e do leite de coco babaçu.....	57
3.3 Caracterizações físico-químicas da polpa de pequi e do leite de coco babaçu.....	63
3.3.1 Umidade	63
3.3.2 Proteínas	63
3.3.3 Lipídeos	63
3.3.4 Cinzas..	63
3.3.5 Carboidratos	64
3.3.6 Acidez total titulável (ATT)	64
3.3.7 Açúcares Redutores e Totais	64
3.3.8 Fibras...	64
3.3.9 pH.....	64
3.3.10 Sólidos solúveis totais (SST).....	65
3.3.11 Relação SST/AT	65
3.4 Secagem por <i>Spray dryer</i>	65
3.4.1 Polpa de pequi	65
3.4.2 Leite de coco babaçu	67
3.4.3 Rendimento de secagem	69
3.5 Avaliação dos produtos em pó.....	70
3.5.1 Umidade	70
3.5.2 Higroscopicidade	70
3.5.3 Carotenoides totais	70
3.5.4 Vitamina C.....	71
3.5.5 Atividade de água (A_w).....	71
3.5.6 Índice de Peróxido – Oxidação lipídica.....	71

3.5.7 Densidade aparente (“ <i>bulk density</i> ”)	72
3.5.8 Densidade absoluta	73
3.5.9 Porosidade	73
3.5.10 Tamanho de partícula	73
3.5.11 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	74
3.5.12 Tempo de molhabilidade	74
3.6 Determinação das condições críticas de estocagem	74
3.6.1 Isotermas de sorção	75
3.6.2 Temperatura de transição vítrea	76
3.7 Estudo da estabilidade	77
3.7.1 Cor.....	78
3.7.2 Atividade antioxidante	79
3.7.2.1 DPPH	79
3.7.2.2 FRAP	80
3.8 Análise Estatística dos dados.....	80
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4.1 Polpa de pequi	82
4.1.1 Caracterização físico-química	82
4.1.2 Secagem por aspersão.....	84
4.1.2.1 Umidade dos pós de polpa de pequi	90
4.1.2.2 Atividade de água dos pós de polpa de pequi.....	93
4.1.2.3 Higroscopicidade dos pós de polpa de pequi.....	97
4.1.2.4 Rendimento do processo de secagem dos pós de polpa de pequi.....	99
4.1.2.5 Vitamina C dos pós de polpa de pequi	103
4.1.2.6 Carotenoides totais dos pós de polpa de pequi	107
4.1.3 Otimização do processo e validação.....	108
4.1.4 Caracterização da polpa de pequi em pó obtida na condição ótima.....	113
4.1.4.1 Densidade aparente, Densidade absoluta e Porosidade	113
4.1.4.2 Distribuição do tamanho de partícula.....	115
4.1.4.3 Tempo de molhabilidade	118
4.1.4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	119

4.1.5 Determinação das condições críticas de estocagem	122
4.1.5.1 Isotermas de sorção	122
4.1.5.2 Temperatura de transição vítrea	127
4.1.5.3 Condições críticas de estocagem	130
4.1.6 Estabilidade durante a estocagem.....	133
4.1.6.1 Oxidação lipídica.....	133
4.1.6.2 Teor de carotenoides.....	136
4.1.6.3 Cor	139
4.1.6.4 Atividade antioxidante.....	146
4.2 Leite de coco babaçu	152
4.2.1 Caracterização físico-química	152
4.2.2 Secagem por aspersão.....	154
4.2.2.1 Umidade dos pós de leite de coco babaçu	161
4.2.2.2 Atividade de água dos pós de leite de coco babaçu.....	164
4.2.2.3 Higroscopicidade dos pós de leite de coco babaçu.....	167
4.2.2.4 Rendimento do processo de secagem dos pós de leite de coco babaçu.....	169
4.2.2.5 Oxidação lipídica dos pós de leite de coco babaçu	172
4.2.3 Otimização do processo e validação.....	173
4.2.4 Caracterização do leite de coco babaçu em pó obtido na condição ótima	178
4.2.4.1 Densidade aparente, Densidade absoluta e Porosidade	178
4.2.4.2 Distribuição do tamanho de partícula.....	181
4.2.4.3 Tempo de molhabilidade	183
4.2.4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	184
4.2.5 Determinação das condições críticas de estocagem	187
4.2.5.1 Isotermas de sorção	187
4.2.5.2 Temperatura de transição vítrea	190
4.2.5.3 Condições críticas de estocagem	194
4.2.6 Estabilidade durante a estocagem.....	196
4.2.6.1 Oxidação lipídica.....	196
4.2.6.2 Cor	201
4.3 Comparação entre polpa de pequi e o leite de coco babaçu	208

5 CONCLUSÕES.....	210
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	214
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	215
APÊNDICE A – Testes Preliminares de Secagem.....	256
A.1 Polpa de pequi	256
A.2 Leite de coco babaçu	260
A.2.1 Ensaios de secagem	260
A.2.2 Planejamento experimental.....	263
A.2.2.1 Agente encapsulante - Goma arábica	265
A.2.2.2 Agente encapsulante - Maltodextrina	272
A.3 Testes com surfactantes	277
APÊNDICE B – Tabelas de efeitos e ANOVA dos planejamentos experimentais para o polpa de pequi e leite de coco babaçu	280
B.1 Polpa de pequi.....	280
B.2 Leite de coco babaçu.....	298

1 INTRODUÇÃO

O pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.), conhecido popularmente como pequi, pequiá, amêndoa de espinho, grão de cavalo ou amêndoa do Brasil, é cultivado em todo o cerrado brasileiro, que inclui os estados do Pará, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, São Paulo, Minas Gerais e Paraná, como também nos Estados do Nordeste, Piauí, Ceará e Maranhão. Os frutos do pequizeiro são muito ricos em óleo, proteínas e carotenoides. O pequi também apresenta alto valor nutricional, é fonte de energia, proteínas, fibras e minerais, possuindo principalmente zinco, cobre e fósforo (OLIVEIRA et al., 2010). O óleo é considerado de excelente qualidade, pois sua maior parte é constituída por ácidos graxos insaturados. A literatura apresenta teores elevados de carotenoides totais para a fruta, 286,65 µg/g em polpa *in natura* (RAMOS, 1987) e 154,06 µg/g em polpa cozida (RAMOS et al., 2001). Alguns autores apontam o fruto do pequizeiro como fonte potencial de pró-vitamina A (CARVALHO e BURGUER, 1960; FRANCO, 1982; VILELA, 1998), com o teor médio de 4.939 UI/100g (RAMOS et al., 2001).

A polpa do pequi é utilizada na elaboração de diferentes pratos, como: arroz com pequi, feijão com pequi, frango com pequi, cuscuz com pequi e o tradicional baião de três, composto por arroz, feijão e pequi. A amêndoa é utilizada como ingrediente de farofas, doces e paçocas, além de ser consumida salgada como petisco. Por se tratar de um fruto de fácil produção e com características desejáveis em relação ao sabor e valor nutritivo, o pequi pode representar uma fonte potencial na alimentação e sobrevivência de uma parcela da população brasileira (RIBEIRO, 2000). Por outro lado, o consumo de frutas e vegetais tem sido associado a uma menor incidência e mortalidade por diversas doenças crônicas não-transmissíveis. A proteção que esses alimentos oferecem contra as enfermidades degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares e cerebrovasculares, está associada ao seu alto conteúdo de constituintes químicos com propriedades importantes, como antioxidantes (vitaminas C, E, carotenoides e polifenóis) (HINNEBURG et al., 2006).

Vários estudos epidemiológicos têm sugerido que a ingestão de alimentos ricos em antioxidantes naturais aumenta a capacidade antioxidante do plasma e reduz o risco de alguns

tipos de câncer e doenças cardíacas. Estas propriedades são atribuídas a uma variedade de constituintes, como vitaminas, minerais, fibras e numerosos fitoquímicos, incluindo os flavonoides e carotenoides (WANG et al., 1996). Esta atividade biológica dos carotenoides tem levado a vários estudos relacionados a fontes naturais destes compostos, tais como pequi, girassol, linho, acerola, amora, morango, açaí, espinafre, alface, brócolis (LIMA et al., 2007a; VELIOGLU et al., 1998; ARAÚJO et al., 2007; MARINOVA e RIBAROVA, 2007; DUARTE-ALMEIDA et al., 2006; SCHAUSS et al., 2006).

O babaçu (*Orbignya phalerat* Mart.) é uma das mais importantes representantes das palmeiras brasileiras. Atualmente, são nos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins que se concentram as maiores extensões de matas onde predominam os babaçus. O Nordeste brasileiro possui uma área de cerca de 12 milhões de hectares plantados com babaçu, sendo que a maior parte está concentrada no estado do Maranhão. Mensalmente, são extraídas em torno de 140.000 toneladas de amêndoas destes babaçuais (LIMA et al., 2007b).

Existem diversos usos para o babaçu, dos quais cerca de uma dezena poderia ser economicamente viável. Contudo, seu potencial continua inexplorado devido à falta de escala e estrutura produtiva. As atividades envolvidas com o coco de babaçu no Maranhão, por exemplo, geram cerca de 300 mil empregos, desde a coleta até o refino do óleo extraído (SANTOS, 2008). Até o momento, praticamente só são produzidos industrialmente o óleo e torta extraídos das amêndoas, permanecendo o restante dos produtos apenas como riqueza potencial. Desta maneira, dado ao agradável sabor e reconhecido valor nutricional, a amêndoa de babaçu pode alcançar consumo considerável e mesmo se incorporar ao cotidiano alimentar da população brasileira na forma de outros produtos industrializados como, por exemplo, o “leite de coco de babaçu”.

O leite de coco de babaçu é atualmente produzido de forma artesanal para uso na culinária regional e na preparação de bebidas, sorvetes, etc. A colocação deste produto no mercado nacional está condicionada, no entanto, ao desenvolvimento de tecnologias de processamento e de conservação do produto dentro dos padrões da legislação brasileira. A utilização dos leites de coco na preparação de derivados lácteos está sendo estudado por diversos pesquisadores devido ao seu alto valor nutricional e o sabor e aroma que aporta ao produto à qual é adicionado (IMELE e ATEMNKENG, 2001). O leite de coco de babaçu também se engloba dentro do grupo de leites de coco e na sua composição são encontrados

mais de 20 % de gordura, 2,2 % de proteínas, 3,5 % de açúcares totais (ARÉVALO-PINEDO et al., 2005) que quando adicionados na formulação de produtos lácteos, como o iogurte, elevariam o rendimento de sólidos e forneceria o aroma e sabor característico no produto final, obtendo-se novos produtos.

A secagem destes produtos para obtenção do leite de coco de babaçu e polpa de pequi em pó está configurada entre as diversas tecnologias para o seu aproveitamento. A desidratação destes produtos representa uma alternativa no sentido de melhorar a sua conservação. Os produtos em pó apresentam baixa atividade de água, o que dificulta ou até impede o crescimento de microrganismos e algumas reações físico-químicas responsáveis por sua deterioração, aumentando, assim, sua vida útil. Produtos desidratados também apresentam como vantagem uma maior facilidade no transporte, armazenamento e manuseio do produto final, seja para o consumo na forma direta ou como ingrediente na elaboração de outros produtos alimentícios.

Um tipo de secagem muito utilizado para a transformação de um produto no estado fluido para o estado sólido em forma de pó é a secagem por aspersão ou *spray drying*. A secagem por aspersão é um método utilizado há décadas nas indústrias química, farmacêutica e de alimentos, tendo como vantagens o seu baixo custo operacional e o curto tempo de residência do material na câmara de secagem, diminuindo o dano térmico causado ao produto. A secagem em *spray dryer* consiste basicamente na aspersão do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente, de modo que a rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas. Desta forma, esta técnica permite a secagem de produtos sensíveis ao calor, sem afetar demasiadamente sua qualidade (RÉ, 1998).

Apesar de todas as vantagens relacionadas ao processo de secagem por aspersão, os pós resultantes da secagem de polpas de fruta costumam apresentar alguns problemas de manipulação, tais como pegajosidade (*stickiness*) e alta higroscopicidade, decorrentes da presença de açúcares e ácidos de baixo peso molecular, que apresentam uma baixa temperatura de transição vítrea. Isso pode provocar a adesão do pó às paredes do secador, dificuldade de manipulação, empastamento e compactação do pó, tornando seu armazenamento e utilização substancialmente mais difíceis. Nesse contexto, o uso de aditivos (ou agentes carreadores), tais como amidos e seus derivados, algumas gomas, lipídeos e proteínas, a fim de aumentar a temperatura de transição vítrea (T_g) do produto, facilitando a

secagem e as operações de transporte e armazenamento, é fundamental (BHANDARI et al., 1993). Além disso, segundo Hassan (1985) e Hagenmaier (1983), a produção de leite de coco e de polpa de pequi em pó não é possível sem a adição destes agentes carreadores que sejam capazes de modificar as propriedades físicas do produto. Isso porque o leite de coco tem na composição alta concentração de ácidos graxos de baixo peso molecular com ponto de fusão em torno de 23 a 25 °C e a polpa de pequi possui açúcares de baixo peso molecular, compostos que reduzem a temperatura de transição vítrea.

A principal consequência da transição vítrea é um aumento da mobilidade molecular e do volume livre em temperaturas acima da T_g , o que caracteriza o estado borrachento, podendo resultar em deteriorações físicas e físico-químicas (ROOS; KAREL, 1991). As alterações estruturais que ocorrem em alimentos desidratados com características amorfas, em temperaturas acima da T_g , são a aglomeração, adesividade, colapso e cristalização. Assim, a transição vítrea possui importância fundamental devido ao fato de estar intimamente relacionada com a preservação de fatores de qualidade destes produtos. Esse conceito pode ser utilizado para interpretar transformações que ocorrem durante o processamento e estocagem de produtos alimentícios e de materiais biológicos de baixo teor de água (ROOS, 1993).

A microencapsulação é uma técnica que consiste basicamente no aprisionamento de um agente ativo (pequenas partículas sólidas, gotas de líquidos ou compostos gasosos) em um invólucro protetor (filmes finos ou coberturas poliméricas), para ser liberado em uma determinada condição (GHARSALLAOUI et al., 2007). De acordo com Ré (1998), as principais razões para o uso da microencapsulação em alimentos são: proteger os alimentos contra condições ambientes adversas (como luz, umidade, oxigênio, radiação UV); preservar componentes sensíveis dos alimentos contra outros ingredientes durante a estocagem; minimizar as perdas nutricionais durante o processo ou até mesmo adicionar materiais nutritivos a eles; incorporar mecanismos de liberação controlada às formulações; mascarar ou preservar *flavors* e aromas 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. Além disso, a utilização de agentes encapsulantes pode promover um melhor manuseio do produto final obtido, conferindo uma maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente e tornando-o menos higroscópico. Desta forma, torna-se interessante estudar a influência de diferentes tipos de agentes

encapsulantes sobre as propriedades físicas, as condições críticas de estocagem e a estabilidade da polpa de pequi e do leite de coco babaçu em pó e microencapsulados por *spray drying*.

A hipótese deste trabalho consiste na preservação das propriedades antioxidantes e na baixa oxidação lipídica dos pós de polpa de pequi e leite de coco babaçu microencapsulados por *spray dryer* durante sua estocagem.

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Obtenção de polpa de pequi e leite de coco babaçu em pó através do processo de secagem por aspersão (*spray drying*).

1.1.2 Específicos

a) Verificar a influência do uso de diferentes agentes microencapsulante (maltodextrina 10DE, goma arábica e dextrina) sobre as propriedades físico-químicas (umidade, higroscopicidade, vitamina C, carotenoides totais, atividade de água, oxidação lipídica, tamanho médio das partículas, distribuição do tamanho das partículas, densidade aparente e real, porosidade, morfologia e molhabilidade) dos produtos em pó;

b) Estudar o efeito do tipo de agente microencapsulante (maltodextrina 10DE, goma arábica e dextrina) na estabilidade dos produtos em pó, com base na temperatura de transição vítrea e isotermas de sorção. Determinar as condições críticas de estocagem;

c) Determinar as alterações do teor de carotenoides, atividade antioxidante, cor e oxidação lipídica da polpa de pequi em pó formulada com diferentes agentes carreadores (maltodextrina 10DE, goma arábica e dextrina), ao longo da estocagem a diferentes temperaturas e umidades relativas;

d) Avaliar a oxidação lipídica e a estabilidade da cor do leite de coco de babaçu em pó formulado com diferentes agentes carreadores (maltodextrina 10DE, goma arábica e dextrina), ao longo da estocagem a diferentes temperaturas e umidades relativas;

e) Verificar qual melhor agente encapsulante dentre os três estudados (maltodextrina 10DE, goma arábica e dextrina) em relação principalmente à conservação das propriedades antioxidantes e oxidação lipídica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pequi

Poucos estudos têm sido realizados com o intuito de caracterizar o valor nutricional da infinidade de frutos do cerrado brasileiro. O estudo desses frutos certamente aumentaria a identificação de alimentos com considerável valor nutricional e econômico, propiciando alternativas para os povos da região.

Dentre as espécies típicas do cerrado, o pequizeiro é uma das que tem ampla utilização pela população, sendo considerado por muitos como o “rei do cerrado”. Isso se deve ao seu valor alimentício, medicinal, melífero, ornamental, oleaginoso e tanífero (KERR et al., 2007).

O pequizeiro é uma árvore que pertence à Família *Caryocaraceae*, que possui dois gêneros: *Caryocar* Camb. e *Anthodiscus* g. *mey*. O gênero *Caryocar* possui dezenove espécies, das quais oito são encontradas no Brasil, a saber: *C. nuciferum*, *C. glabrum* Pers, *C. glabrum* var. *edule*, *C. brasiliense* Cambess, *C. villosum* var. *planifolium*, *C. barbinerve*, *C. cuneatum* e *C. crenatum*. Além do Brasil, o pequi é encontrado no Peru, Guianas, Venezuela, Colômbia e Paraguai (SANO e ALMEIDA, 1998; MELO JÚNIOR et al., 2004). Na Figura 2.1 pode ser vista a árvore típica de um pequizeiro adulto.

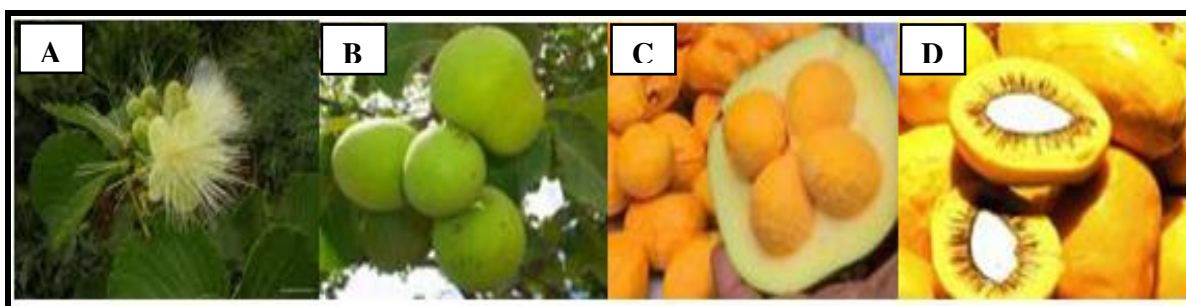
O fruto do pequizeiro é cultivado em todo o cerrado brasileiro (Pará, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, São Paulo, Minas Gerais e Paraná) e adapta-se as mais diversas condições ecológicas, sendo encontrado em estados nordestinos (Piauí, Ceará e Maranhão). A espécie que ocorre em maior abundância deste fruto é a *Caryocar brasiliense* Camb.



Fonte: Wikipédia.

Figura 2.1 - Árvore adulta do pequizeiro.

A fruta do pequizeiro, o pequi (Figura 2.2), apresenta elevada ocorrência, grande volume comercializado e características organolépticas peculiares (VERA et al., 2007).



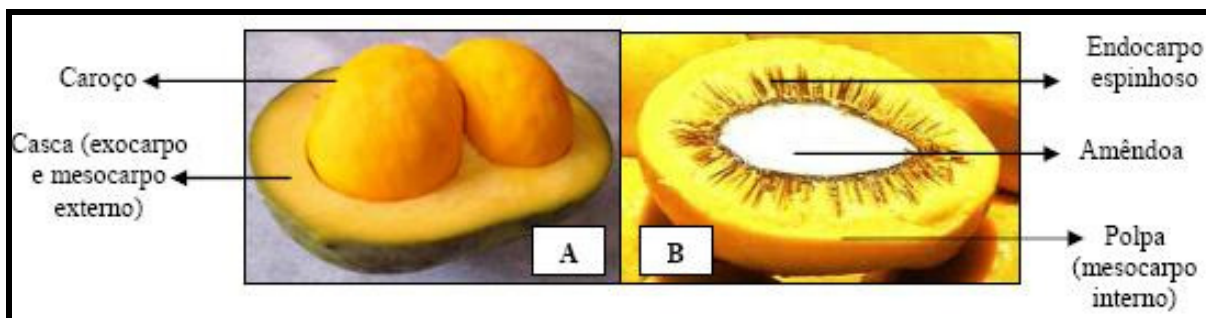
Fonte: Wikipédia.

Figura 2.2 - Flor (A), frutos na árvore (B), fruto cortado (C) e caroço de pequi com corte longitudinal (D).

O pequi é um fruto que possui até quatro caroços reniformes em seu interior. Os frutos são constituídos pelo exocarpo ou pericarpo, de coloração esverdeada ou marrom-esverdeada, mesocarpo externo, polpa branca com coloração pardo-acinzentada e mesocarpo interno, que constitui a porção comestível do fruto e separa-se facilmente do mesocarpo externo quando maduro. O endocarpo, que é espinhoso, protege a semente ou amêndoa, que é

revestida por um tegumento fino e marrom, sendo também uma porção comestível (MELO JUNIOR et al., 2004; LIMA et al., 2007a, RAMOS e SOUZA, 2012).

Quanto à distribuição dos componentes em relação à massa total do fruto, 8,5 % corresponde a polpa, 2,1 % a amêndoa e quase 90 % dos outros componentes, tais como: endocarpo, espinhos, frutinhos e casca. A casca corresponde a 76,7 %, os caroços a 21,6 % e os frutinhos a 1,7% (VERA et al., 2005) (Figura 2.3).



Fonte: Vera et al. (2005).

Figura 2.3 - Fruto de pequi (A) e caroço de pequi com corte longitudinal (B).

O pequi é considerado uma espécie de interesse econômico, principalmente devido ao uso de seus frutos na culinária, como fonte de vitaminas e na extração de óleos para a fabricação de cosméticos (ALMEIDA e SILVA, 1994; PIANOVOKI et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2012).

Os frutos inteiros apresentam de 6 a 14 cm de comprimento por 6 a 20 cm de diâmetro e grande variedade de massa (SILVA et al., 2001). Em estudo realizado por Veras et al. (2007) sobre as características físicas dos frutos de pequi, observou-se uma variação de massa de 46,38 g a 379,37 g.

Sua frutificação ocorre principalmente entre os meses de janeiro a março, podendo ser encontrados frutos fora dessas épocas (RIBEIRO, 2000). A produção é maior em anos secos; nos chuvosos, há irregularidade de frutificação. Os pequizeiros podem produzir mais de 6.000 frutos por safra. Quando maduro, os frutos caem da árvore e a colheita é feita no chão (RIBEIRO, 2000; KERR et al., 2007).

O fruto de pequi é consumido pelas populações que habitam as regiões onde são produzidos. Na época da safra, o pequi se torna a principal fonte de renda das populações da

região produtora. Entretanto, há grande perda do produto, devido a sua perecibilidade e, principalmente, à falta de métodos adequados de conservação (VILAS-BOAS et al., 2012).

O pequi é um fruto perecível cuja vida pós-colheita (pós-abscisão) é inferior, normalmente, a uma semana, quando armazenado à temperatura ambiente. Seu período de conservação depende, principalmente, de seu estado físico e do estágio de maturação no início do armazenamento, embora seja influenciado pelas condições edafoclimáticas às quais foi submetido antes da abscisão ou colheita.

A polpa do pequi é utilizada na elaboração de diferentes pratos, como: arroz com pequi, feijão com pequi, frango com pequi, cuscuz com pequi e o tradicional baião de três, que consiste em arroz, feijão e pequi. Já a amêndoa é utilizada como ingrediente de farofas, doces e paçocas, além de ser consumida salgada como petisco. Isso não obstante, o pequi ainda é explorado de forma artesanal ou pouco industrializado, dificultando sua comercialização e seu consumo por populações urbanas e em períodos de entressafra. Por se tratar de um fruto de fácil produção e com características desejáveis em relação ao sabor e valor nutritivo, o pequi pode representar uma fonte potencial na alimentação e sobrevivência de uma parcela da população brasileira (ARAÚJO, 1995; RIBEIRO, 2000; MELO JUNIOR et al., 2004).

Os frutos do pequizeiro são muito ricos em óleo, proteínas, carotenoides e compostos fenólicos (AGUILAR et al., 2012). A polpa possui alto valor energético, fornecendo 358 kcal/100 g, em média. A maioria dessas calorias provém dos lipídeos, que é considerado de excelente qualidade, pois sua maior parte está constituída por ácidos graxos insaturados (45 % de ácido oléico, 38 % de ácido palmítico, 11 % de ácido esteárico e 4 % de ácido linoléico) (SEGALL et al., 2002).

Tanto a polpa quanto a amêndoa do pequi são fontes consideráveis de manganês, zinco, cobre, magnésio e fósforo (esse último apresenta uma concentração de 1,21 % e atinge a ingestão diária necessária de um adulto); contêm ainda sódio, ferro e cálcio (ALMEIDA e SILVA, 1994).

A polpa e a amêndoa de pequi são capazes de suprir cerca de 15 % e 22 % das necessidades calóricas de uma dieta de 2000 kcal de um indivíduo adulto, respectivamente (OLIVEIRA et al., 2010). Na Tabela 2.1 encontra-se a composição química média da polpa de pequi apresentada por diferentes autores.

Tabela 2.1 - Composição química centesimal da polpa de pequi.

Constituintes	TACO (2006)	Lima et al. (2007)a	Arévalo-Pinedo et al. (2010)	Oliveira et al. (2010)	Machado (2011)
Umidade (%)	65,9	41,50	56,80	55,00	51,17
Acidez (%)	-	-	-	1,50	0,14
Cinzas (%)	0,8	0,63	2,23	0,63	0,29
Proteínas (%)	2,3	3,00	3,10	2,00	2,83
Lipídeos (%)	18	33,40	21,70	23,00	26,30
Carboidratos(%)	13	11,45	-	18,00	-
Fibras (%)	19	10,02	16,17	-	17,86

- Constituintes não analisados.

A literatura apresenta teores elevados de carotenoides totais para o pequi, 286,65 µg/g em polpa *in natura* (RAMOS, 1987) e 231,09 e 154,06 µg/g em polpa crua e cozida, respectivamente (RAMOS et al., 2001). Alguns autores apontam o fruto do pequi como fonte potencial de vitamina A (78,3 mg/100g) (ALMEIDA e SILVA, 1994; VILELA, 1998), porém Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya (2004) e Ramos et al. (2001), utilizando separação cromatográfica, identificaram que os principais carotenoides (antheraxantina, zeaxantina, violaxantina e luteína) do pequi não possuem atividade pró-vitamina A, com o teor médio desta de 4.939 UI/100g (RAMOS et al., 2001), muito inferior ao citado por Carvalho e Burguer (1960), de 200.000 UI/100g. Apesar disso, os frutos de pequi são uma importante fonte de vitamina A, pois a quantidade diária exigida na dieta é de 4.500 U.I. (CARVALHO e BURGER, 1960).

Por outro lado, o consumo de frutas e vegetais tem sido associado a uma menor incidência e mortalidade por diversas doenças crônicas não-transmissíveis. A proteção que esses alimentos oferecem contra as enfermidades degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares e cerebrovasculares, está associada ao seu alto conteúdo de constituintes químicos com propriedades importantes, como as de antioxidantes (vitaminas C, E, carotenoides e polifenóis) (HINNEBURG et al., 2006).

2.1.1 Atividade antioxidante

Atualmente os pesquisadores, em todo o mundo, têm repensado a importância da alimentação na manutenção da saúde e na prevenção de doenças. Muitas pesquisas mostram que, além dos nutrientes, existem outros componentes nos alimentos que podem exercer efeitos benéficos ao organismo, como os compostos polifenólicos, que exercem múltiplos efeitos, destacando-se a atividade antioxidante (LIMA, 2008).

Em alimentos, as reações de oxidação são a causa de diversas alterações nos parâmetros de qualidade como textura, sabor, cor e valor nutricional, provocando a diminuição da vida útil e rejeição por parte do consumidor. Em alguns casos ocorre a formação de produtos potencialmente tóxicos para a saúde humana (LIN e LIANG, 2002). Entre os compostos responsáveis por essas alterações estão alguns ânions superóxido e radicais hidroxila (SHAHIDI e ZHONG, 2008).

A deterioração do alimento com o tempo é inevitável. Esta pode ocorrer através da perda de elétrons, com formação intermediária de um radical livre. O efeito do antioxidante consiste na inativação dos radicais livres (ARAÚJO, 1995; RODRIGUES et al., 2006; LIMA et al., 2012).

Antioxidantes são substâncias presentes em baixas concentrações quando comparadas a um substrato oxidável que atrasa ou inibe a oxidação desse substrato de maneira eficaz (FERREIRA e MATSUBARA, 1997; PIETTA, 2000; RUFINO et al., 2006), através de um ou mais mecanismos, tais como inibição de radicais livres e complexação de metais (PIETTA, 2000), prevenindo a ocorrência de doenças (câncer, úlceras gástricas, mal de Alzheimer, mal de Parkinson, arteriosclerose, diabetes, entre outras) contribuindo, dessa maneira, para uma maior longevidade (RODRIGUES et al., 2006; LIMA et al., 2012). Desta forma, torna-se essencial o equilíbrio entre os radicais livres e o sistema de defesa antioxidante (FERREIRA e MATSUBARA, 1997).

A oxidação é um processo metabólico que leva à produção de energia necessária para as atividades essenciais das células. Entretanto, o metabolismo do oxigênio pelas células vivas também leva à produção de radicais livres, cujo excesso apresenta efeitos prejudiciais, tais como a peroxidação dos lipídeos da membrana e agressão às proteínas dos tecidos e das membranas, às enzimas, carboidratos e ácido desoxirribonucléico - DNA (MCCORD, 1994;

BARREIROS et al., 2006). O excesso de radicais livres no organismo é combinado por antioxidantes produzidos pelo corpo ou absorvidos da dieta, que protegem o sistema biológico contra os efeitos nativos de processos de reações que possam causar oxidação excessiva (KRINSKY, 1994), ou seja, o balanço antioxidante do organismo pode, portanto, ser alterado pelos componentes da dieta, aumentando o consumo de alimentos ricos em substâncias antioxidantes ou diminuindo o consumo de alguns constituintes suscetíveis de serem oxidados. Essa hipótese mostra-se muito simples diante da complexidade de funcionamento do organismo humano. Além do mais, existem algumas lacunas com relação aos antioxidantes, tais como: a inexistência de uma recomendação para cada antioxidante; a falta de padronização quanto ao real valor antioxidante dos alimentos; e os possíveis efeitos tóxicos da administração de elevadas doses de antioxidantes.

O estresse oxidativo tem sido associado ao desenvolvimento de muitas doenças crônicas e degenerativas, tais como as anteriormente citadas, e está envolvido no processo de envelhecimento (PIHLANTO, 2006), causando danos em lipídeos, proteínas, carboidratos e ácidos nucléicos (HASSIMOTTO et al., 2005).

Já é reconhecida a associação da ingestão de frutas e a diminuição do risco de desenvolvimento de doenças crônica, as quais estão associadas a elevados níveis de estresse oxidativo. Compostos antioxidantes podem minimizar estas doenças. Frutas apresentam vários compostos antioxidantes como vitamina C, β -caroteno e polifenóis (SPADA et al., 2008). Os polifenóis estão correlacionados com aumento do potencial antioxidante no plasma e são reconhecidos pela proteção vascular (MERTENS-TALCOTT et al., 2008).

Os diferentes compostos antioxidantes da dieta podem produzir efeitos sinérgicos difíceis de serem avaliados. A dieta deve ser considerada de forma complexa, onde as interações entre os constituintes podem produzir efeitos que não representam necessariamente as propriedades dos constituintes individuais. A atividade antioxidante de qualquer alimento dará uma idéia da contribuição relativa da soma dos seus constituintes antioxidantes, proporcionando uma informação valiosa, que vai além de sua composição química (RICE-EVANS, 1999).

Dentre os principais tipos de antioxidantes estão os inibidores de reações em cadeia, sequestradores de metais, inibidores de enzimas oxidativas e cofatores de enzimas antioxidativas (HUANG et al., 2005; SHAHIDI e ZHONG, 2008).

Os antioxidantes naturais podem ser divididos em substâncias nutrientes, onde se enquadram as vitaminas A, C, E, os carotenoides, a lecitina, entre outros. Estes participam, de alguma forma, na inibição do processo oxidativo deteriorativo, quer nos alimentos, quer no organismo animal ou humano; e em substâncias não nutrientes, onde são enquadrados principalmente os compostos fenólicos, que podem atuar de forma efetiva como antioxidantes, e estão presentes nos vegetais sob um número elevado de compostos (MANCINI e MANCINI-FILHO, 2005).

2.1.1.1 Vitamina C (ácido ascórbico)

O ácido ascórbico é considerado um dos mais potentes e o menos tóxico dos antioxidantes naturais. Reage com EROs (espécies reativas de oxigênio), oxidando-se a desidroascórbico, e volta a se converter em ácido ascórbico pela ação da enzima dehidroascorbato redutase. É um sequestrador muito eficaz de radicais, tais como: o ânion superóxido, o radical hidroxila, o peróxido de hidrogênio e o oxigênio singlete. Em soluções aquosas, também combate eficientemente espécies reativas de nitrogênio, impedindo a nitrosação de moléculas (WEBER et al., 1996).

Segundo Chitarra (1998), o ácido ascórbico pode ser oxidado por uma série de mecanismos bioquímicos que são responsáveis não só pela perda de sua atividade vitamínica, como também pela formação de pigmentos escuros. Diferentes enzimas podem catalisar a sua degradação direta (ácido ascórbico oxidase) ou indireta (peroxidase, polifenoloxidase e citocromo oxidase).

O ácido ascórbico também pode atuar *in vivo* como pro-oxidante. Na presença de metais com mais de um estado de valência, como o Fe^{2+} e o Cu^+ , os radicais ascorbato e hidroxila podem ser gerados, iniciando o processo de peroxidação lipídica. A quantidade de metais de transição livre *in vivo* é, entretanto, muito baixa, pois normalmente se encontram eficazmente ligados a proteínas de transporte (PODSEDEK, 2007).

Entre as principais fontes de vitamina C, citam-se: frutos cítricos, acerola, goiaba, kiwi, etc. É encontrada também em algumas hortaliças: brócolis, couve de Bruxelas, tomate,

pimentão, etc. (TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS / NEPA-UNICAMP, 2006).

2.1.1.2 Carotenoides

Os carotenoides são pigmentos naturais, derivados do isopreno, sendo caracterizados estruturalmente por uma longa cadeia de duplas ligações conjugadas, sempre com uma ou duas estruturas cíclicas (anel β -ionona) que terminam em ligações conjugadas (CARDOZO et al., 2007; SOUZA et al., 2012).

Carotenoides são compostos extremamente susceptíveis às reações oxidativas, em razão ao alto grau de insaturação das ligações. Nas frutas e vegetais *in natura*, a estrutura celular e a complexação com proteína lhe conferem uma certa estabilidade. Durante as várias etapas do processamento de extração, essa ultraestrutura e os complexos podem ser quebrados, expondo os carotenoides a fatores adversos, levando à sua destruição. A estabilidade varia largamente no processamento e na estocagem, dependendo da temperatura, disponibilidade de oxigênio, exposição à luz, atividade de água, acidez, presença de metais e da própria estrutura. A presença de agentes antioxidantes naturais, como ácido ascórbico e tocoferol, retardam a oxidação (BAUERNFEIND, 1981).

Os carotenoides (Figura 2.4) são geralmente tetraterpenóides de 40 átomos de carbono, de coloração amarela, laranja ou vermelha. São encontrados em vegetais e classificam-se em carotenos e xantofilas. Os carotenos são hidrocarbonetos poliênicos com variados graus de insaturação, e as xantofilas são sintetizadas a partir dos carotenos, por meio de reações de hidroxilação e epoxidação. O β -caroteno e o licopeno são exemplos de carotenos, enquanto a luteína e a zeaxantina são xantofilas (AMBRÓSIO et al., 2006).

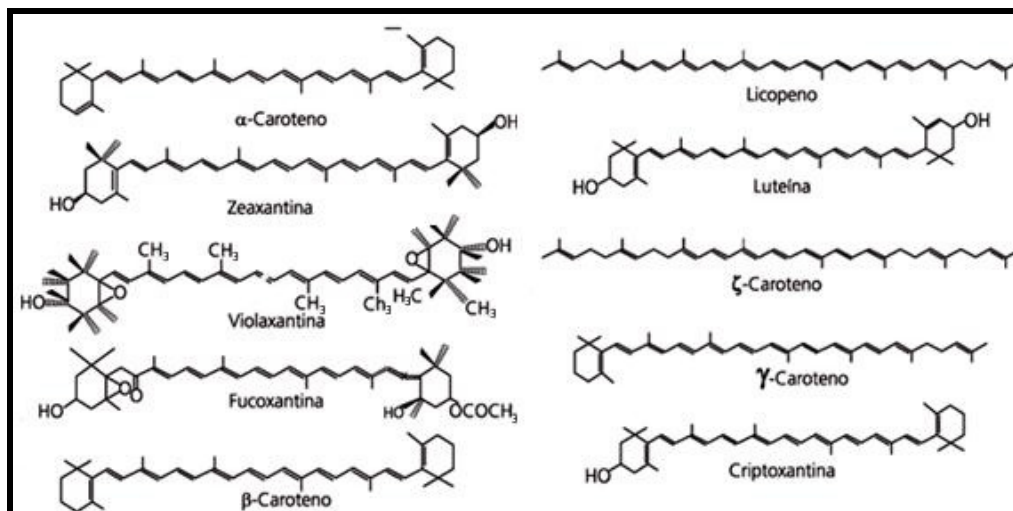


Figura 2.4 - Estrutura química de alguns carotenoides.

Há cerca de duas décadas, tem-se investigado a relação entre o consumo de vitaminas e de carotenoides e a gênese do câncer (SOUZA et al., 2012). Um dos maiores interesses em relação aos carotenoides, está relacionado a sua ação antioxidante que reduz o estresse oxidativo do organismo, atuando na prevenção de determinados tipos de câncer, de doenças cardiovasculares, bem como sobre o sistema imunológico (GOMES, 2007; LEUNG, 2008; AGOSTINI COSTA et al., 2010). Além de possuírem atividade antioxidante através da interação com radicais livres e sequestro do oxigênio singlete, alguns possuem atividade pró-vitamina A (RODRIGUES-AMAYA e KIMURA, 2004; UENOJO et al., 2007). O β -caroteno é o mais abundante dentre os carotenoides e, além da ação antioxidante, ele apresenta atividade pró-vitamina A, ou seja, é um precursor da vitamina A em mamíferos. Além do β -caroteno, outros carotenoides como α -caroteno e β -criptoxantina também apresentam atividade pró-vitamina A, mas em menor quantidade. A função vitamínica adquire maior importância em regiões onde a vitamina A pré-formada é raramente ingerida pela maior parte da população, como no Nordeste do Brasil (CAMPOS et al., 2006).

São os mais eficientes inativadores naturais do oxigênio singlete, atuando de duas formas diferentes: uma via física, que ocorre pela transferência de energia das moléculas de oxigênio singlete aos carotenoides; e uma via química, que constitui não mais que 0,5% do total da inativação do oxigênio singlete. Sequestram radicais peroxila por interação química. Semelhante à vitamina E, os carotenoides possuem caráter lipofílico, atuando como

antioxidante sobre as lipoproteínas LDL e HDL. São consumidos quando as LDLs se expõem a processos de oxidação lipídica (PODSEDEK, 2007).

Já foram identificados mais de 600 carotenoides estruturalmente diferentes, 50 dos quais são encontrados na dieta humana. Estão presentes em frutas e verduras, tais como cenoura, tomate, frutos cítricos, espinafre e milho (SIES e STAHL, 1995). Abundantes fontes de β -caroteno são as frutas amarelas (laranja, manga e mamão) e as verduras (cenoura, batata doce e folhas de espinafre).

Vários fatores influem na biodisponibilidade dos carotenoides dos alimentos, como, por exemplo, a sua ingestão associada à gordura e fibra alimentar. Além disso, a cocção e o processamento dos alimentos afetam a estabilidade (RODRIGUES-AMAYA, 1997).

Ramos et al. (2001) identificaram na polpa de pequi, após seu cozimento convencional, a presença de diversos carotenoides: β -caroteno (12,17 $\mu\text{g/g}$), ζ -caroteno (8,17 $\mu\text{g/g}$), criptoflavina (12,65 $\mu\text{g/g}$), criptoxantina (7,99 $\mu\text{g/g}$), anteraxantina (31,28 $\mu\text{g/g}$), zeaxantina (79,73 $\mu\text{g/g}$) e mutaxantina (2,07 $\mu\text{g/g}$).

2.1.1.3 Métodos utilizados na avaliação da atividade antioxidante

As evidências epidemiológicas crescentes do papel de alimentos com alto teor de compostos antioxidantes na prevenção de certas doenças têm levado ao desenvolvimento de um grande número de métodos para a determinação de sua capacidade antioxidante. Diferentes métodos podem ser utilizados para medir a atividade antioxidante de alimentos.

Estes métodos têm se tornado ferramentas usuais e extremamente necessárias na seleção inicial de substâncias que possam ser utilizadas como fármacos, auxiliando os pesquisadores na avaliação da atividade de substâncias isoladas de produtos naturais, bem como obtidas de fontes sintéticas. Além disso, estes métodos podem auxiliar na escolha das espécies de planta para estudos químicos e farmacológicos, bem como grau de maturação, condições ambientais, etc. e comprovar a presença de substâncias antioxidantes em alimentos como frutas, legumes e bebidas, ressaltando a importância de uma dieta rica em vegetais (ALVES et al., 2010a). Podem ser divididos em dois grandes grupos: os métodos *in vivo* e os métodos *in vitro*. Os ensaios *in vitro* são os métodos mais usados para a determinação da

atividade antioxidante de alimentos, contudo, ensaios *in vivo* devem ser realizados para assegurar que os peptídeos identificados nos ensaios *in vitro* estejam disponíveis após a ingestão e cumpram com sua função em sistemas vivos (VERMEIRSEN et al., 2004; PÉREZ-JIMÉNEZ e SAURA-CALIXTO, 2006).

Os métodos ABTS, FRAP, DPPH e ORAC são alguns dos mais usados atualmente.

Segundo Huang et al. (2005), as reações químicas envolvidas nos ensaios de capacidade antioxidante, os ensaios *in vitro* podem ser divididos em duas categorias: ensaios baseados em reações de transferência de átomos de hidrogênio (*HAT – Hydrogen Atom Transfer*) e os ensaios baseados em reações de transferência de elétrons (*ET – Electron Transfer*). Os ensaios de *HAT* envolvem um gerador sintético de radicais livres, uma substância oxidável conhecida e um antioxidante e a quantificação é feita a partir de curvas cinéticas das reações competitivas. O método ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*) e o ensaio TRAP (*Total Trapping Antioxidant Parameter*) são os mais usados dentro desta categoria. Já os ensaios *ET* medem a capacidade de um antioxidante para a captura de radicais, em vez de medir a capacidade antioxidante preventiva de alguma amostra. Esses métodos consistem na reação de dois compostos, um antioxidante e um oxidante (com características conhecidas). Nesse caso, o oxidante subtrai um elétron do antioxidante produzindo mudanças na cor do oxidante, sendo essa mudança, proporcional à concentração de antioxidante presente na amostra. Para a determinação da atividade antioxidante, a variação da absorbância produzida pelas amostras é comparada à variação de absorbância produzida por soluções de concentração conhecida de uma substância antioxidante através de uma curva padrão. Entre os métodos *ET* mais usados na literatura para a determinação da atividade antioxidante nos alimentos encontram-se os ensaios: TEAC (*Trolox Equivalence Antioxidant Capacity*), FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) e DPPH (2,2-dyphenyl-1-picrylhydrazyl).

O método DPPH (atividade sequestrante de radicais DPPH) tem sido bastante utilizado na avaliação da atividade antioxidante em frutas e se baseia na reação de um composto antioxidante com um radical estável, DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), em solução de metanol (BRAND-WILLIAMS et al., 1995). O radical DPPH em solução de metanol apresenta uma cor violeta escuro, que tende a clarear durante a reação com o composto antioxidante (Figura 2.5). A redução do radical é monitorada pelo decréscimo na absorbância da solução de DPPH a 515 nm (comprimento de onda em que o radical DPPH em

metanol apresenta absorvância máxima). A vantagem do método DPPH é que o radical livre é estável e está disponível comercialmente, o que evita sua geração por distintas formas (o que ocorre em alguns métodos), além de facilitar seu uso (LIMA, 2008).

Pode ser facilmente detectado por espectroscopia devido a sua intensa absorção na região visível. O ensaio é iniciado pela adição do DPPH na amostra em solução. A capacidade da amostra de reduzir o DPPH, ou seja, evitar sua oxidação, é evidenciada pela porcentagem de DPPH restante no sistema. Então a porcentagem de DPPH restante é proporcional à concentração de antioxidante (BRAND-WILLIAMS et al., 1995; BONDET et al., 1997).

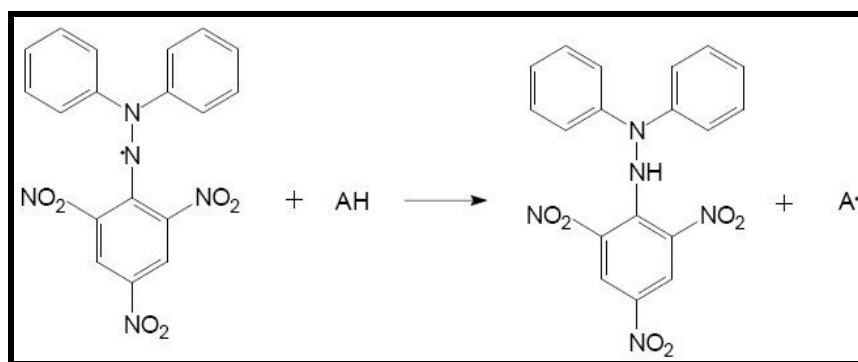
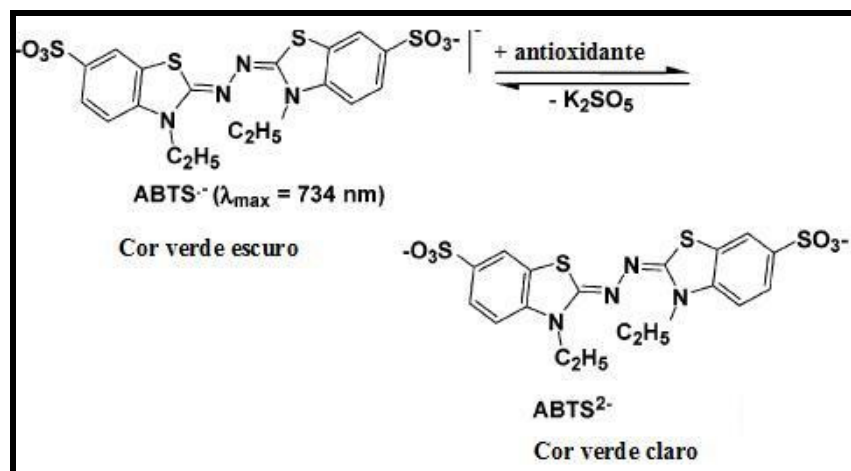


Figura 2.5 - Reação genérica entre o radical livre DPPH e um antioxidante.

O método TEAC foi estudado inicialmente por Miller et al. (1993) e modificado posteriormente por Ré et al. (1999). O oxidante é formado pela oxidação de 2,2-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazoline-6-sulfônico) (ABTS²⁻) com persulfato, originando o radical ABTS^{•+} de coloração verde azulada intensa. Após diluição e adição da substância antioxidante, ocorre uma descoloração do radical produzido pela redução provocada pelo antioxidante no mesmo (Figura 2.6). A diferença entre a cor inicial do radical antes da adição do antioxidante e a cor final após o tempo de reação é usada para o cálculo dos resultados os quais são geralmente expressos em equivalentes de trolox (*TE*) ou ácido gálico (*GAE*).



Fonte: Huang et al. (2005).

Figura 2.6 - Mecanismo de reação do radical $ABTS^{\bullet+}$ em contato com o antioxidante para a determinação da atividade antioxidante pelo método TEAC.

O método FRAP, que mede a capacidade de redução de um íon férrico, foi reportado inicialmente por Benzie e Strain (1996). Neste método, a substância oxidante é um sal férrico $[Fe(III)(TPTZ)_2Cl_3]$ de coloração laranja, produzida pela mistura de TPTZ (2,4,6-tripiridyl-s-triazine) com cloreto férrico e tampão acetato. A diferença entre o método TEAC e o FRAP está no pH de reação, sendo utilizado um pH de 7,4 para o TEAC e condições mais ácidas para o FRAP (pH = 3,6). A redução do ferro produz a mudança na cor do oxidante de laranja claro para azul intenso segundo o mecanismo de reação apresentado na Figura 2.7. A intensidade de cor é comparada com aquela produzida por soluções de concentração conhecida de sulfato ferroso.

A atividade antioxidante total de extratos obtidos de frutos de goiaba foi pesquisado por Thaipong et al. (2006) pelos métodos ABTS, DPPH, FRAP e ORAC e foi verificado que FRAP foi a técnica mais reprodutível e aquela que apresentou uma elevada correlação com os teores de ácido ascórbico e grupos fenólicos.

concentram as maiores extensões de matas onde predominam os babaçus (MIOTTO et al., 2012; SILVA et al., 2012; PINHEIRO et al., 2012).

As palmeiras de babaçu apresentam um tronco simples e robusto que pode crescer até 20 m de altura. O fruto cresce em cachos, e cada árvore pode produzir até 2.000 frutos por ano (MACHADO et al., 2006; SILVA et al., 2012). Esta espécie é distribuída solitariamente em florestas ou em áreas abertas e é mais comumente encontrada em áreas degradadas, onde a espécie é dominante.



Fonte: Wikipédia.

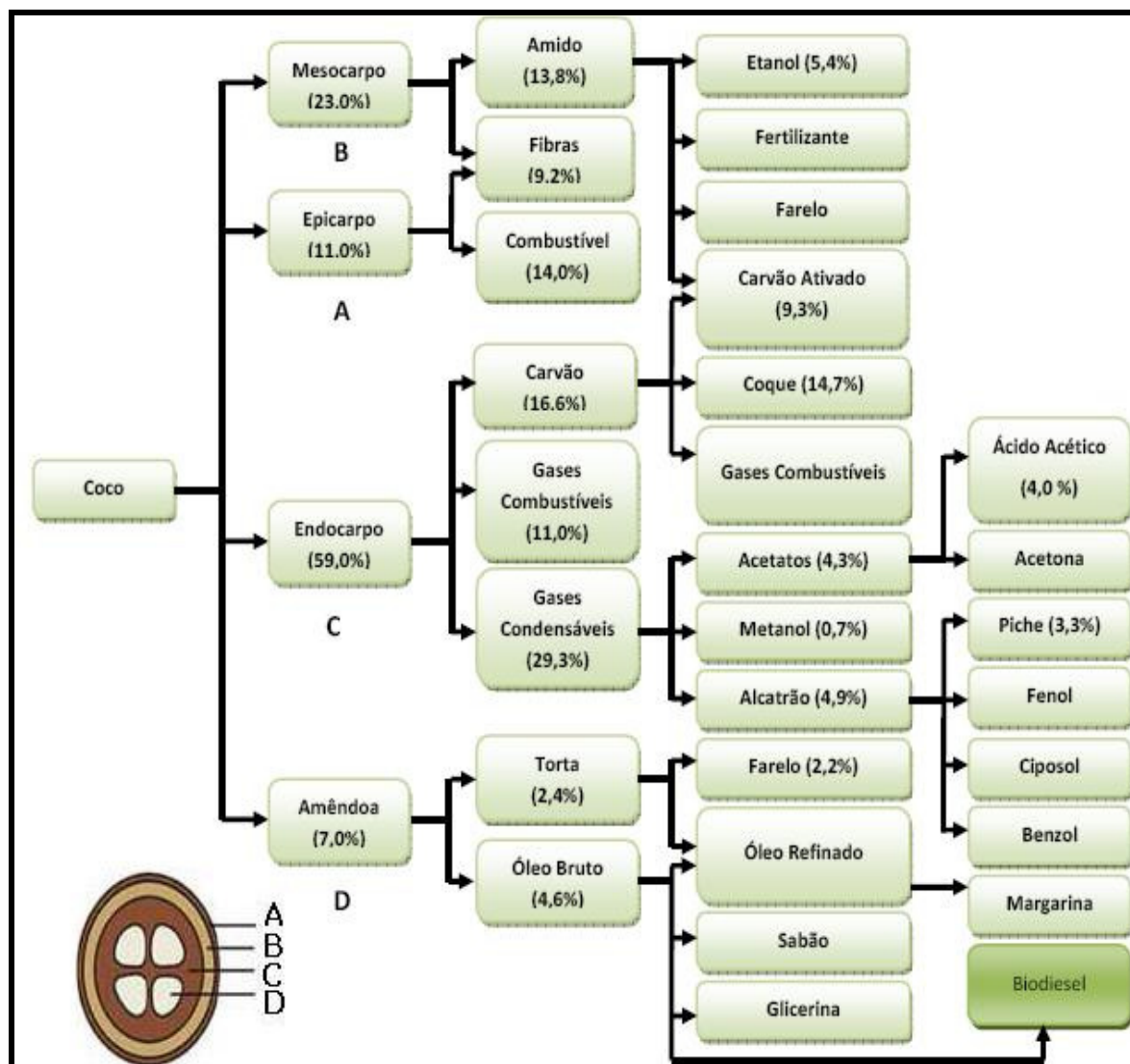
Figura 2.8 - Palmeira (A), cacho com cocos (B), cocos (C) e amêndoas de coco babaçu (D).

O Nordeste brasileiro possui uma área de cerca de 18 milhões de hectares plantados com babaçu, sendo que a maior parte está concentrada no estado do Maranhão. Mensalmente, são extraídas em torno de 140.000 toneladas de amêndoas destes babaçuais (LIMA et al., 2007b).

O babaçu tem 64 usos catalogados, dos quais cerca de uma dezena poderia ser economicamente viável; contudo, seu potencial continua inexplorado, devido à falta de escala e estrutura produtiva. As atividades envolvidas com o coco de babaçu no Maranhão, por exemplo, geram cerca de 300 mil empregos, desde a coleta (quebradeiras de coco) até o refino do óleo dele extraído que é também usado para cozinhar (FERREIRA et al., 2012). Alguns dos produtos estão ilustrados na Figura 2.9 (SANTOS, 2008).

Apesar da enorme gama de produtos e subprodutos que o babaçu pode oferecer, praticamente só são produzidos industrialmente, até o momento, óleo e torta extraídas das amêndoas, permanecendo o restante dos produtos apenas como riqueza potencial. Desta maneira, dado ao agradável sabor e reconhecido valor nutricional, a amêndoa de babaçu pode alcançar consumo considerável e mesmo se incorporar ao cotidiano alimentar da população

brasileira na forma de outros produtos industrializados como o leite, a farinha tipo coco ralado e o doce cremoso de babaçu.



Fonte: Santos (2008).

Figura 2.9 - Produtos da industrialização do coco babaçu.

O leite de coco babaçu é atualmente produzido de forma artesanal para uso na culinária regional e na preparação de bebidas, sorvetes, etc. A colocação deste produto no mercado nacional está condicionada, no entanto, ao desenvolvimento de tecnologias de processamento e de conservação do produto dentro dos padrões da legislação brasileira. A secagem deste leite para obtenção do leite de babaçu em pó está configurada entre as diversas tecnologias para o seu aproveitamento. Na secagem por aspersão os nutrientes são

conservados quase que completamente. Ademais, a produção de um produto em pó possibilita o transporte mais econômico, menor uso de embalagem, distribuição longe dos lugares de produção, etc. Por outro lado, segundo Hassan (1985) e Hagenmaier (1983) a produção de leite de coco em pó não é possível sem a adição de aditivos encapsulantes que sejam capazes de modificar as propriedades físicas do produto. Isso se deve ao fato deste leite ter na composição alta concentração de ácidos graxos de baixo peso molecular com ponto de fusão em torno de 23 a 25 °C.

A utilização dos leites de coco na preparação de derivados lácteos está sendo estudado por diversos pesquisadores devido ao seu alto valor nutricional e o sabor e aroma que aporta ao produto à qual é adicionado (IMELE e ATEMNKENG, 2001). O “leite de babaçu” também se coloca dentro do grupo de leites de coco e na sua composição são encontrados mais de 20 % de gordura, 2,2 % de proteínas, 3,5 % de açúcares totais (ARÉVALO-PINEDO et al., 2005) que quando adicionados na formulação de produtos lácteos, como o iogurte, elevariam o rendimento de sólidos e forneceria o aroma e sabor característico no produto final, obtendo-se novos produtos.

2.3 Secagem por aspersão (*spray drying*, fluidização ou nebulização)

De maneira geral, o processo de secagem é uma operação na qual calor é fornecido a um dado material que contém água, a fim de se vaporizar certo conteúdo de água deste material, obtendo-se um produto sólido seco.

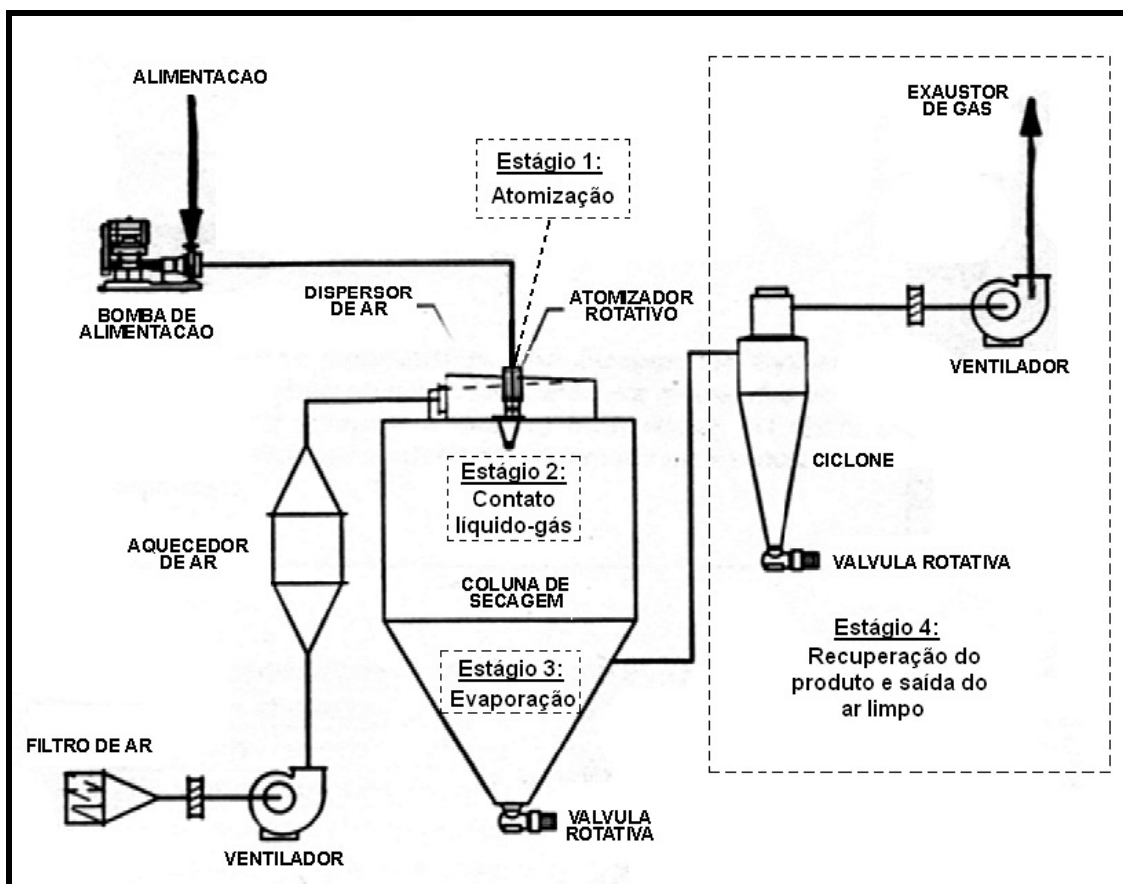
A secagem por aspersão, também conhecida como fluidização, nebulização ou *spray drying*, teve seus primeiros passos na metade do século XVIII, quando foi patenteada a primeira operação de secagem de ovos (1865). Porém, o início de sua utilização em escala industrial data da década de 20 do século XX. Os primeiros produtos de que se tem notícia como obtidos em larga escala por *spray drying* foram o leite e o sabão em pó (MASTERS, 1979).

A partir de então, seu uso disseminou-se pela indústria de processos em geral, possuindo uma ampla aplicação nas indústrias de alimentos (para obtenção de leite em pó,

ovos, sucos, sopas e café instantâneo), farmacêuticas e químicas. As vantagens deste tipo de secagem são: o seu baixo custo operacional; as propriedades e a qualidade do produto são mais eficientemente preservadas; os alimentos sensíveis à temperatura, como produtos biológicos e farmacêuticos, podem ser secos a pressão atmosférica e baixas temperaturas; grandes produções em operação contínua, com equipamento relativamente simples; produção de partículas relativamente uniformes e esféricas com aproximadamente a mesma proporção de compostos voláteis do produto inicial e a eficiência é comparável a outros tipos de secadores diretos (XIN e MUJUMDAR, 2010; BURGAIN et al., 2011; FRITZEN-FREIRE et al., 2013).

A secagem por aspersão é um processo contínuo, no qual um produto (uma solução, uma suspensão ou uma pasta) é transformado em um produto seco, na forma de pó, caracterizando-se por um tempo de secagem relativamente curto. O processo consiste basicamente na atomização do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente, de modo que a rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas. Desta forma, o *spray dryer* tornou-se um dos principais equipamentos para a secagem de materiais fluidos que apresentam sensibilidade ao calor (produtos termo sensíveis), como alimentos e materiais biológicos, tais como: extratos e produtos oriundos de plantas, corantes, microrganismos, produtos com leveduras, enzimas e proteínas. Outro campo onde a secagem por aspersão tem adquirido destaque recentemente é na microencapsulação de substâncias (FILKOVÁ et al., 2007; RÉ, 1998; BARBOSA-CÁNOVAS et al., 2005; GHARSALLAOUI et al., 2007).

A aspersão resulta da aplicação de uma energia que age sobre o líquido até o ponto em que ocorre o seu rompimento e desintegração, criando um *spray* de gotículas. Esta nuvem ou *spray* entra em contato com o ar quente sob temperaturas elevadas no interior de uma câmara cilíndrica, onde ocorre a secagem imediata, resultando na coleta do produto em pó. O termo aspersão relacionado à secagem em *spray dryer* deve-se à divisão do líquido em milhões de partículas individuais, formando essa nuvem de gotículas (MASTERS, 1979). Segundo Masters (1979), a secagem de 1 m³ de líquido origina aproximadamente 2x10¹² partículas uniformes de diâmetro 100 µm, o que equivale a uma área superficial de 60.000 m². Na Figura 2.10 está demonstrado um esquema de um *spray dryer*, bem como os estágios do seu processo.



Fonte: Adaptado de Dziezak (1988).

Figura 2.10 - Esquema de um *spray dryer*.

O material a ser desidratado no *spray dryer* pode estar na forma de solução, suspensão ou pasta, resultando, após o processo, em partículas isoladas, grânulos ou aglomerado. Estas formas do produto obtido dependem das propriedades físicas e químicas do material, do projeto e operação do secador. A operação de secagem em *spray dryer* consiste de quatro fases: aspersão do líquido, contato do líquido aspergido 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.

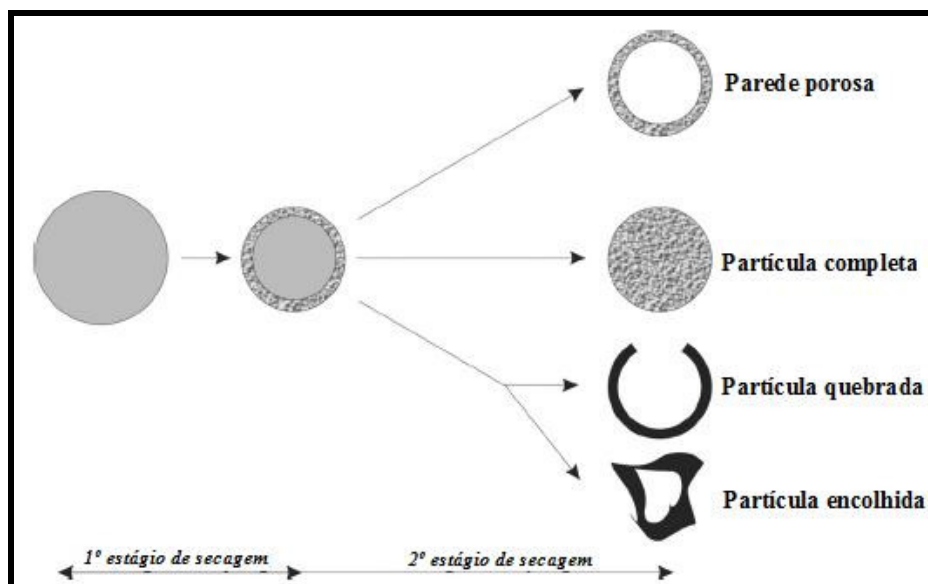
As propriedades dos produtos obtidos por *spray drying*, tais como densidade do pó, distribuição do tamanho, diâmetro médio e formato das partículas, também são dependentes das características do material líquido e das condições de processo. Esses parâmetros contribuem nas propriedades funcionais dos pós, incluindo a sua fluidez, manipulação, compressibilidade e mistura/segregação dos seus componentes (BHANDARI e HARTEL, 2005; CAL e SOLLOHUD, 2010).

Dessa forma, as principais variáveis que afetam as características dos produtos obtidos em *spray dryer* são:

- 1) Propriedades do líquido aspergido (concentração, temperatura, vazão mássica, propriedades físico-químicas);
- 2) Atomizador (tipo e mecanismo de funcionamento);
- 3) Ar de secagem (vazão, temperatura de entrada e de saída, pressão).

A viscosidade do material a ser processado também é uma propriedade que afeta as condições de secagem e a qualidade do produto final. De acordo com Ré (1998), o aumento da viscosidade até certo valor diminui a circulação interna e as oscilações das gotas, facilitando a secagem. No entanto, emulsões com viscosidades muito elevadas requerem uma maior exposição à aspersão e dificultam a formação das gotas, resultando em partículas de forma irregular.

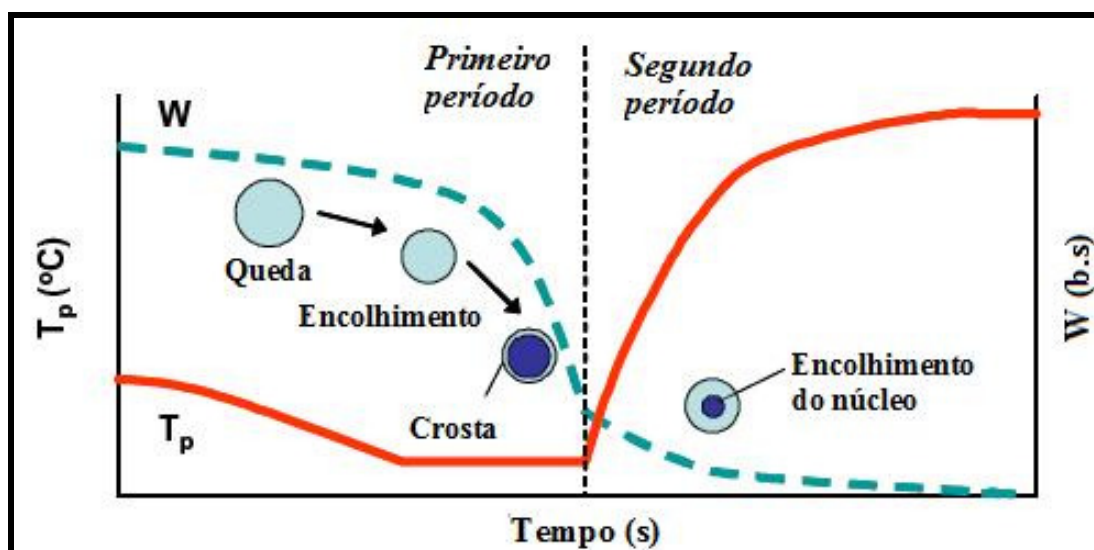
Seydel et al. (2006) modelaram matematicamente a formação de partículas dentro de um *spray dryer* baseado em um modelo físico que descreve a formação durante a secagem (Figura 2.11). No 1º estágio de secagem, a gotícula de solução produzida no bico aspersor sofre um processo de encolhimento devido à evaporação do solvente (nesse caso a água), e a concentração de soluto na superfície da gotícula aumenta-se continuamente. Quando a concentração de soluto ultrapassa a concentração de saturação, então um processo de cristalização é iniciado. Se a concentração de soluto na superfície da gotícula for suficientemente alta, uma casca sólida é formada ao redor da gotícula líquida. Pelo perfil de concentração de soluto e os movimentos internos da gotícula, os solutos são concentrados na parede da partícula, com exceção de processos onde o encolhimento da gotícula é lento. O segundo estágio de secagem começa quando a superfície da gotícula é completamente coberta de sólido. Nesse caso, a temperatura no interior da gotícula pode exceder temperatura de bulbo úmido e a transferência de massa de vapor até a superfície da gotícula é restrita pela casca formada, gerando-se uma bolha de vapor dentro da gotícula. No caso do solvente ser transportado à superfície por forças capilares, a pressão interna da gotícula cai e partículas ocas são geradas. Pelo contrário, se a casca formada for impermeável, as pressões internas podem ultrapassar a resistência mecânica da casca e então, são originadas partículas com diferentes morfologias, tais como estruturas quebradas ou encolhidas.



Fonte: Seydel et al. (2006).

Figura 2.11 - Estágios para a formação das partículas durante o processo de secagem por aspersão.

Kim et al. (2009), estudando a obtenção de leite em pó usando um *spray dryer*, sugerem que a secagem das gotículas pelo ar quente acontece em duas etapas, como demonstrado na Figura 2.12.



Fonte: Kim et al. (2009).

Figura 2.12 - Simulação da variação de umidade (W) e temperatura de uma partícula de leite (T_p) em função do tempo de residência no *spray dryer* e seu mecanismo de secagem.

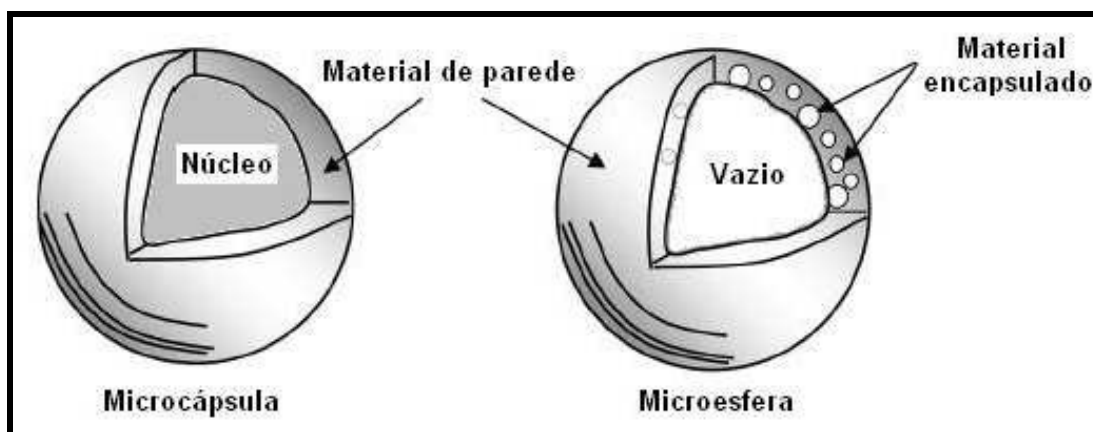
O primeiro período de secagem é chamado de período de taxa constante e é caracterizado pela evaporação da água livre presente na superfície da gota. Nesta fase, a gota é um fluido e a umidade pode migrar facilmente do interior para a superfície da gota. Como existe transporte suficiente de água para a superfície da gota para manter 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. Na fase inicial deste período, a temperatura da gota diminui até a temperatura de bulbo úmido do ar de secagem. Como a água é evaporada, um efeito de resfriamento é conseguido e impede que a temperatura do material aumente acima da temperatura de bulbo úmido do ar de secagem. Depois de algum tempo, a umidade torna-se muito baixa 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. Após este ponto, a crosta sólida aumenta sua resistência à difusão de vapor. Como consequência, a taxa de secagem diminui e as partículas começam a esquentar. Este segundo período de secagem é chamado de período de taxa decrescente (KIM et al., 2009).

2.4 Microencapsulação

A microencapsulação é a inclusão da substância ativa em uma matriz sólida de polímero formando uma microesfera (ROSA et al., 2011), ou seja, é uma técnica que consiste basicamente no isolamento de substâncias ativas (no estado líquido, sólido ou gasoso) em um invólucro protetor (filmes finos ou coberturas poliméricas), para ser liberado em uma determinada condição (GHARSALLAOUI et al., 2007; NESTERENKO et al., 2013). O material a ser encapsulado é designado por núcleo, material ativo ou fase interna, enquanto o material que forma o revestimento é chamado de material de parede, carreador, membrana ou casca. O núcleo pode ser composto por um ou mais ingredientes e a “casca” pode ser formada por uma ou duas camadas (GHARSALLAOUI et al., 2007).

As micropartículas, em relação à estrutura física, podem ser classificadas como microcápsulas ou microesferas (Figura 2.13). As microcápsulas consistem em micropartículas

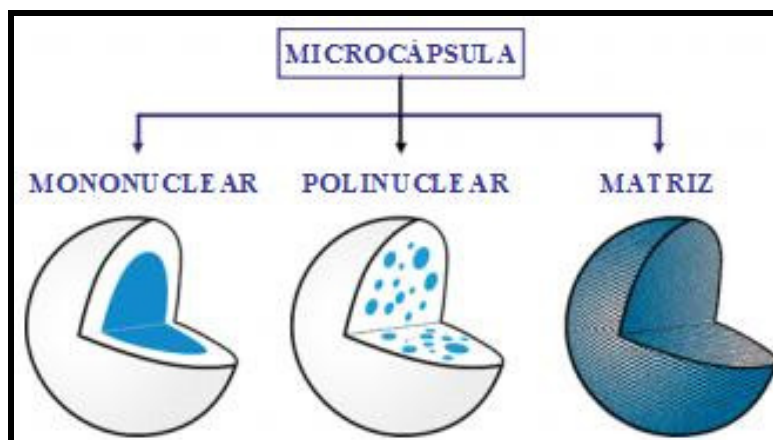
onde o núcleo está envolvido por uma camada ou filme polimérico formando um sistema do tipo reservatório, e são tipicamente produzidas por coacervação complexa, secagem em leito fluidizado, co-extrusão e inclusão molecular. Já as microesferas, produzidas principalmente por *spray drying*, constituem um sistema matricial, no qual o polímero forma uma rede tridimensional onde o material a ser microencapsulado pode estar adsorvido, incorporado ou ligado covalentemente à matriz polimérica, formando sistemas de dissolução, dispersão ou sistemas porosos. Nestes sistemas, a área central consiste em um vazio resultante da expansão das partículas durante os estágios finais da secagem (JAFARI et al., 2008).



Fonte: adaptado de Jafari et al. (2008).

Figura 2.13 - Micropartículas com diferentes tipos de estrutura.

A morfologia das microcápsulas depende principalmente do material do núcleo e o processo pelo qual são formados (VENKATA et al., 2010; ARÁN-AIS et al., 2012). As microcápsulas têm formas regulares ou irregulares, e, com base na sua morfologia, podem ser classificadas como células mononucleares, polinucleares e tipo matriz. As microcápsulas mononucleares (*core-shell*) contém um escudo em torno do núcleo, enquanto que as cápsulas polinucleares têm muitos núcleos fechados dentro da casca. Em encapsulação de matriz, o material do núcleo é distribuído de forma homogênea. Além destas três morfologias básicas, as microcápsulas também podem ser mononuclear com cascas múltiplas ou podem formar aglomerados de microcápsulas (ARÁN-AIS et al., 2012).



Fonte: Arán-ais et al. (2012).

Figura 2.14 - Tipos de morfologia das microcápsulas.

Segundo Ré (1998), Gharsallaoui et al. (2007) e Nesterenko et al. (2013), 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.

A indústria de alimentos utiliza a técnica de microencapsulação principalmente para reduzir a reatividade do produto com o meio externo, diminuindo a evaporação ou a velocidade de transferência do material para o ambiente. Além disso, um melhor manuseio do produto é promovido, uma vez que o mesmo adquire uma forma sólida, com maior uniformidade, facilitando misturas (THIES, 2001).

Vários processos podem ser utilizados para a produção de ingredientes microencapsulados (GOUIN, 2004; AUGUSTIN et al., 2006; BENITA, 2006; DUBEY et al., 2009; JYOTHI et al., 2010; MUNIN e EDWARDS-LÉVY, 2011), que se dividem em: físicos (*spray drying*, *freeze drying*, *spray cooling*, *spray chilling*, *spray coating*, extrusão, extrusão centrífuga, leiteo fluidizado, co-cristalização), químicos (polimerização interfacial, polimerização *in situ*) e físico-químicos (coacervação simples e complexa, evaporação de

solvente, inclusão molecular). A seleção de um método depende de fatores econômicos, da sensibilidade do núcleo, da biodisponibilidade e biodegradabilidade das microcápsulas, do tamanho da microcápsula desejada, das propriedades físico-químicas do núcleo e do material de parede, bem como do mecanismo de liberação (JACKSON e LEE, 1991, NESTERENKO et al., 2013).

A técnica de microencapsulação mais utilizada na indústria de alimentos é a de secagem por aspersão (*spray drying*), por ser considerada um processo econômico e flexível, realizado em um equipamento de fácil acesso e resultando em partículas de boa qualidade (DZIEZAK, 1988). Este processo pode ser útil para ingredientes sensíveis ao calor, uma vez que a secagem é muito rápida e o material de recheio é aquecido a temperaturas muito menores que 100 °C. No entanto, ainda assim, podem ocorrer perdas de alguns compostos deste material.

Algumas vantagens e desvantagens da microencapsulação por *spray drying*, enumeradas por Madene et al. (2006):

Vantagens:

- ❖ Baixo custo de operação;
- ❖ Alto rendimento e cápsulas de boa qualidade;
- ❖ Cápsulas com alta estabilidade e rápida solubilidade;
- ❖ Tamanho pequeno.

Desvantagens:

- ❖ Produção de microcápsulas não uniformes;
- ❖ Limitações na escolha do material de parede (baixa viscosidade a altas concentrações);
- ❖ Produção de um pó muito fino, podendo necessitar de um processamento adicional (como aglomeração);
- ❖ Possibilidade de prejudicar materiais altamente sensíveis ao calor (que apresentem compostos de aroma com baixo ponto de ebulição).

2.4.1 Agentes encapsulantes

Selecionar o agente encapsulante depende das propriedades físico-químicas do material a ser seco, do processo utilizado para formar a partícula e das propriedades finais

desejadas. Um material de cobertura ideal deve ser insolúvel e não-reativo com o material de recheio, ser de fácil manipulação (apresentar uma baixa viscosidade a altas concentrações), ter habilidade para dispersar ou emulsificar o material ativo e estabilizar a emulsão produzida, aprisionar e manter o material ativo dentro da sua estrutura durante o processamento e estocagem. Além disso, deve liberar completamente o solvente ou outro material que será usado durante o processo de encapsulação, proporcionar a máxima proteção ao material ativo contra condições ambientes, ser solúvel em solventes utilizados na indústria de alimentos, apresentar boa disponibilidade no mercado e baixo custo (DESAI e PARK, 2005; GHARSALLAOUI et al., 2007).

Os principais agentes encapsulantes geralmente empregados na indústria de alimentos são apresentados na Tabela 2.2 (SHAHIDI e HAN, 1993).

Atualmente, são encontrados na literatura vários trabalhos que apresentam a maltodextrina e a goma arábica como agentes encapsulantes utilizados na secagem de sucos de frutas em *spray dryer*, como por exemplo, suco de acerola (RIGHETTO, 2003), manga (CANO-CHAUCA et al., 2005), figo da Índia (RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2005), camu-camu (DIB TAXI, 2001), açaí (TONON, 2009) e amora-preta (FERRARI et al., 2012a).

A escolha do material de parede é um passo importante para o sucesso do processo de microencapsulação. Tradicionalmente, essa seleção envolve processos de tentativa e erro, em que as microcápsulas são formadas e, em seguida, avaliadas quanto à eficiência de encapsulação e estabilidade (PÉREZ-ALONSO et al., 2003).

Tabela 2.2 - Principais agentes encapsulantes em alimentos.

Classe	Classe de Agentes encapsulantes
Carboidratos	Amido, maltodextrinas, xarope de milho, dextrana, sacarose e ciclodextrina
Celulose	Carboximetilcelulose, metil e etil celulose, acetil celulose e nitrocelulose
Gomas	Goma arábica, agar, alginato de sódio e carragena
Lipídeos	Cera, parafina, triestearina, ácido esteárico, mono e diglicerídeos, óleos e gorduras
Proteínas	Glúten, caseína, gelatina, albumina, hemoglobina e peptídeos

2.4.1.1 Goma arábica

A goma arábica é um complexo viscoso obtido como exsudados dos caules e ramos de árvores de acácia, que consiste em seis partes de carboidratos e uma pequena proporção da cadeia de proteína ou polipeptídeo (CAO et al., 2013). São polímeros de cadeias longas, de alto peso molecular e que podem se dispersar ou dissolver em água fria ou quente, produzindo um efeito espessante ou gelificante (ZANALONI, 1992).

Sua principal propriedade na indústria de alimentos é de conferir textura aos produtos alimentícios, sendo utilizadas na estabilidade de emulsões, controle de viscosidade, cristalização, suspensão de partículas, inibição da liberação de água dos produtos alimentícios processados, podendo também funcionar como importante agente encapsulante (GLICKSMAN, 1982; ABDELGADER e ISMAIL, 2011; ZHANG e LIU, 2011).

As possibilidades de incorporação da goma arábica em produtos alimentícios são ilimitadas. Ela contribui na prevenção da cristalização do açúcar em caramelos, bem como na dissolução de essências cítricas nos refrigerantes. Ainda constitui um agente encapsulante muito bom para óleos aromatizantes empregados em misturas em pó para bebidas, além de aprimorar a textura de sorvetes.

Constantemente, é usada em conjunto com outros tipos de polissacarídeos, devido ao fato de apresentar baixas viscosidades mesmo em concentrações elevadas na faixa de 40 a 50% (SHAHIDI e HAN, 1993). A goma arábica, por sua fácil e rápida solubilidade em água, facilita a reconstituição de produtos desidratados e de concentrados de aromas.

Texturização, formação de filme, emulsificação e propriedades ligantes são algumas das características que a goma arábica possui. As propriedades emulsificantes desta substância devem-se a presença proteínas em sua composição, que varia de 0,09 a 7,5 %, segundo Singh et al. (1998).

Em produtos com alto teor de açúcar e baixa umidade evita a cristalização do açúcar e ajuda a distribuir homogeneamente a gordura, impedindo que esta migre à superfície e forme uma camada gordurosa que possa oxidar-se facilmente (SANDERSON, 1981).

Entre todas as gomas usadas na microencapsulação, a goma arábica destaca-se devido às suas excelentes propriedades de emulsificação e, portanto, tem sido amplamente utilizada (DICKINSON, 2003). No entanto, o elevado custo, o suprimento limitado e variações na

qualidade têm restringido o uso dessa goma como material de parede na microencapsulação e incentivado a busca por materiais encapsulantes alternativos (GHARSALLAOUI et al., 2007). Hoje, mistura-se geralmente maltodextrina com a goma para reduzir os custos.

2.4.1.2 Maltodextrina

As maltodextrinas são polissacarídeos nutritivos não doces formados pela hidrólise parcial, ácida ou enzimática do amido de milho que consistem em unidades de α -D-glicose unidas principalmente por ligações glicosídicas (1 $\rightarrow$ 4) e apresentam uma fórmula geral igual à $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$ (SHAHIDI e HAN, 1993; KENNEDY et al., 1995; MADENE et al., 2006).

Sendo produtos hidrolisados de amido, consistem em uma mistura de sacarídeos, principalmente D-glicose, maltose e uma série de oligossacarídeos e polissacarídeos (CHRONAKIS, 1998). Dessa forma, as maltodextrinas apresentam uma ampla distribuição de massa molecular entre polissacarídeos e oligossacarídeos e estão disponíveis comercialmente, na forma de um pó branco ou de soluções concentradas. Ao contrário de amidos naturais, são solúveis em água fria.

As maltodextrinas são geralmente descritas por sua dextrose equivalente (DE), que é uma medida do inverso do número de unidades de α -D-glicose anidro e está ligada ao seu grau de polimerização (DP), de forma que $DE = 100/DP$. Assim, a especificidade das propriedades das maltodextrinas está ligada ao DE e ao DP, que variam de acordo com o grau de hidrólise e o tratamento enzimático (KENNEDY et al., 1995). De acordo com Murray e Luft (1973), o aumento do grau DE aproxima o hidrolisado das propriedades da dextrose, enquanto a diminuição aproxima às propriedades do amido.

São definidos como maltodextrinas os produtos com valores de DE menores que 20 (DOKIC-BAUCAL et al., 2004). Estes produtos são pouco higroscópicos, não apresentam doçura e são bastante usados para contribuir com o corpo de sistemas alimentícios. Já a hidrólise do amido a valores de DE entre 20 e 60 resulta em uma mistura de moléculas denominada “xarope de milho sólido”, que apresenta uma leve doçura e maior capacidade de absorver umidade (BE MILLER e WHISTLER, 1996). Variações nos valores de DE resultam em maltodextrinas com propriedades físico-químicas diferentes. Murray e Luft (1973)

descrevem as características do amido e seus derivados, de acordo com sua DE. Algumas destas características estão apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Características dos amidos e seus hidrolisados de acordo com sua DE.

PROPRIEDADE	DEXTROSE EQUIVALENTE (DE)						
	5	10	15	20	25	36	42
Solubilidade	(-)						(+)
Higroscopicidade	(-)						(+)
Escurecimento não enzimático	(-)						(+)
Doçura	(-)						(+)
Viscosidade	(-)						(+)

Fonte: adaptado de Tonon (2009).

As maltodextrinas são carboidratos considerados bons agentes encapsulantes por apresentar baixa viscosidade em alto teor de sólidos e de boa solubilidade (MADENE et al., 2006; GHARSALLAOUI et al., 2007). As maltodextrinas são bastante utilizadas na microencapsulação de alimentos, principalmente devido ao seu baixo custo em comparação com outros hidrocolóides comestíveis. Segundo Reineccius (2001), apesar de as maltodextrinas apresentarem certa deficiência em relação às propriedades emulsificantes, isso não representa um problema se o material a ser encapsulado for solúvel em água ou se um emulsificante secundário (como por exemplo concentrado proteico de soro de leite) for utilizado no processo. Desse modo, são utilizadas principalmente como auxiliar para materiais de difícil secagem, como suco concentrado de frutas, flavorizantes solúveis em água, enzimas ou adoçantes de alta potência.

Anekella e Orsat (2013) afirmam que a adição de materiais de parede adequados tais como a maltodextrina podem reduzir a aglomeração e aderência às paredes e aumentar o caráter de fluxo livre do pó seco por atomização.

Ademais, as maltodextrinas possuem muitas propriedades funcionais importantes para a indústria de alimentos, dentre as quais se destacam: *bulking*, inibidor da cristalização, promotor de dispersões, controlador de congelamento e ligante. São amplamente usadas na indústria de alimentos como substituto de gorduras, modificador de textura, agente *bulking* e

na encapsulação de *flavors* e corantes para uso em padaria, confeitaria e indústrias de bebidas, laticínios, sobremesas, carnes e molhos (GRENBY e MISTRY, 2000; XIE et al., 2005; BOLHUIS e ARMSTRONG, 2006). Elas também são fontes de calorias e são muitas vezes utilizadas para este propósito (ALVANI et al., 2011).

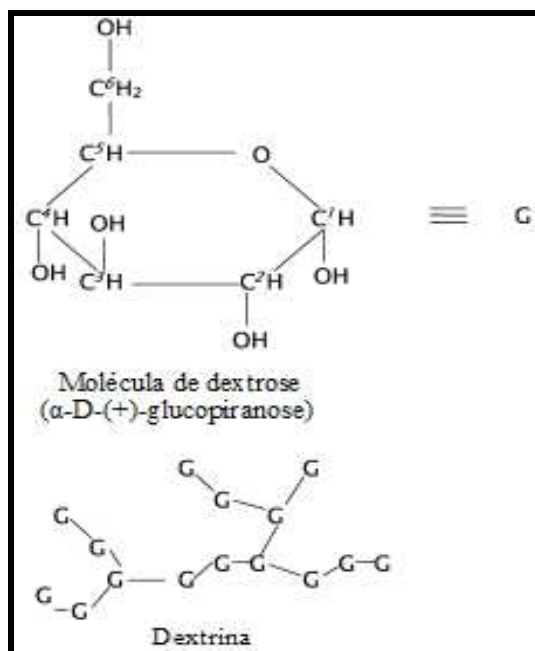
2.4.1.3 Dextrina

O amido é a substância de reserva predominante nas plantas e proporciona de 70 a 80% das calorias consumidas por humanos no mundo todo. Tanto o amido como os produtos de sua hidrólise constituem a maior parte dos carboidratos digeríveis de uma dieta normal. O amido se diferencia de todos os demais carboidratos existentes na natureza por se apresentar como complexas partículas denominadas grânulos (FENNEMA, 1996).

Por ser o carboidrato mais frequente na natureza, apresenta baixo custo (CRUZ, 1989). Apresenta muitas propriedades funcionais, podendo ser empregados na forma naturais ou modificados (WHISTLER e PASCALL, 1965).

A dextrina é derivada do amido por degradação térmica parcial sob condições ácidas e é solúvel em água. É um polímero monomérico da dextrose unidos por ligações glicosídicas 1→4 para cadeias lineares e 1→6 para cadeias ramificadas (ALVANI et al., 2011).

A única diferença estrutural entre dextrina e amido é que a dextrina tem menor molécula e é altamente ramificada (a sua massa molecular pode variar de 800 a 70000). Considerando que as moléculas de amido são maiores, com uma massa molecular de até vários milhões, compreendendo componentes lineares (amilose) e ramificados (amilopectina). Uma estrutura esquemática da molécula de dextrina é mostrada na Figura 2.15. É evidente que a dextrina é constituída por numerosos grupos OH hidrofílicos que são projetados a partir de anéis de hidrocarbonetos hidrofóbicos contendo um átomo de oxigênio, como parte da estrutura do anel. Moléculas deste tipo têm uma tendência para ligação de hidrogênio com outras moléculas hidrofílicas. Por isso, é mais interessante que a dextrina seja adsorvida preferencialmente em superfícies hidrofóbicas (BROSSARD et al., 2008).



Fonte: Brossard et al. (2008).

Figura 2.15 - Estrutura química da dextrina.

As dextrinas têm a vantagem de ser solúvel em água à temperatura ambiente, podendo ser amplamente utilizadas para fornecer diluição de ingredientes alimentícios e fármacos, adesivo, estrutura, revestimento, viscosidade, formador de filmes, suplemento nutritivo, entre outras aplicações. Elas são geralmente consideradas como seguras e são acessível para a maioria das aplicações (WHITE JUNIOR et al., 2003; ALVANI et al., 2011). Geralmente, dextrina compreendem uma mistura polidispersa ao invés de uma única espécie molecular distinta (TESTER, 2005).

Na Tabela 2.4 está a apresentação das propriedades físicas e químicas de algumas dextrinas comuns comerciais (ALVANI et al., 2011).

Tabela 2.4 - Propriedades físicas e químicas de algumas dextrinas comerciais.

Dextrina	Característica do produto	Propriedades químicas	Propriedades Físicas
Pirodextrinas – dextrina branca	Pó branco produzido por amido seco a temperaturas relativamente baixas (79 a 120 °C), na presença de um catalisador ácido durante um curto período de tempo (3 a 8 horas)	Amidos hidrolisados (incorporação de resíduos de amilose e amilopectina) que irão incluir alguma transglucosidação e repolimerização	Luz colorida, relativamente solúvel quando aquecido em água (solubilidade em água fria variando de 1 a 95 %). Possuem baixa propriedade de adesão
Dextrina amarela	Pó amarelo produzido por amido quase seco em temperaturas relativamente elevadas (150 a 220 °C), na presença de um catalisador ácido e em período de tempo mais elevado do que as dextrinas brancas (6 a 18 horas)	Amido altamente convertido e hidrolisado incorporaram resíduos de amilose e amilopectina que incorporaram algumas transglucosidação e repolimerização	De cor amarela, é relativamente solúvel em água (menos de uma parte de água para uma parte de dextrina é necessária para um trabalho de suspensão). Apresentam boa viscosidade e possuem excelentes propriedades de adesão

2.4.2 Surfactantes

Por definição, “surfactantes, emulsificantes ou detergentes” são compostos químicos que reduzem a tensão superficial de um líquido e existem na forma natural como álcoois, fosfolipídios e proteínas, porém os sintéticos possuem atividade superficial maior e são utilizados em quantidades muito pequenas para criar emulsões. Possuem moléculas polares (ou hidrofílicas) em uma extremidade e não-polares (ou lipofílica) na outra, portanto em uma emulsão, as moléculas se posicionam na superfície das partículas dispersas, com a terminação polar na fase aquosa e a não-polar na fase oleosa (FELLOWS, 2006).

Os surfactantes auxiliam na estabilidade da emulsão na produção da microcápsula e influenciam nas interações entre o recheio e a microcápsula, como também em relação ao meio dispersante (alimento). Estas interações podem influenciar positiva ou negativamente na

retenção do recheio à microcápsula e na taxa de liberação em meios dispersantes emulsionados (MASCARENHAS, 2010).

Os surfactantes utilizados na indústria de alimentos são predominantemente não iônicos (monoacilgliceróis, ésteres de sacarose e ácidos graxos), aniônicos (ácidos graxos) ou zwiteriônicos (lecitina). Em sua maioria, estes compostos são formados por uma ou mais cadeias de hidrocarbonetos, contendo de 10 a 18 átomos de carbono em cada cadeia. Os surfactantes são classificados segundo sua solubilidade em óleo e/ou água, baseado no balanço hidrofílico-lipofílico de seus grupos (número de HLB) e sua geometria molecular. O número de HLB de um surfactante indica o tipo de emulsão no qual este pode ser utilizado (McCLEMENTS, 1999).

A Tabela 2.5 apresenta os valores do número de HLB para cada tipo de emulsão no qual o surfactante deve ser empregado.

Tabela 2.5 - Número de HLB para os surfactantes e as respectivas emulsões nas quais devem ser utilizados.

Número de HBL	Tipo de Emulsão	Características	
		Surfactantes	Emulsão
<3,0	-	As moléculas apresentam fraca atividade de superfície	Parcial
3,0-6,0	Água em óleo	Predominante lipofílicos formam micelas em óleo	Estável
6,0-8,0	Sem preferência quanto ao caráter iônico	Intermediários quanto ao caráter hidrofóbico-hidrofílico	Instável
8,0-18,0	Óleo em água	Predominância hidrofílicos formam micelas em água	Estável
>18,0	-	As moléculas apresentam fraca atividade de superfície	Parcial

Os valores do número de HLB para se obter a estabilidade máxima das emulsões com o uso de surfactantes é de 3 a 5 para emulsões do tipo água em óleo e de 10 a 12 para óleo em água (McCLEMENTS, 1999).

A Tabela 2.6 apresenta os valores do número de HLB de alguns surfactantes comercializados atualmente.

Tabela 2.6 - Valores do número de HLB de alguns surfactantes comerciais.

Surfactante		Número HLB
Designação química	Nome comercial	
Trioleato de sorbitano	Span 85	1,8
Triestereato de sorbitano	Span 65	2,1
Monooleato de sorbitano	Span 80	4,3
Monopalmitato de sorbitano	Span 40	6,7
Lecitina de soja	-	8,0
Monolaureato de sorbitano	Span 20	8,6
Monooleato de polioxietileno sorbitano	<i>Tween</i> 80	15,0
Monopalmitato de polioxietileno sorbitano	<i>Tween</i> 40	15,6
Monolaurato de polioxietileno sorbitano	<i>Tween</i> 20	16,7

Fonte: Tsujii (1998).

2.5 Propriedades físico-químicas de alimentos em pó

O conhecimento e o entendimento das propriedades dos alimentos são essenciais para otimizar processos, determinar funcionalidades e reduzir custos.

As propriedades químicas e físicas têm recebido bastante atenção no caso dos pós produzidos ou utilizados nas indústrias farmacêutica, alimentícia, cerâmica, metalúrgica, entre outras. As propriedades físicas incluem forma da partícula, densidade, porosidade, características superficiais, dureza, pegajosidade (*stickiness*), fluidez, tamanho e diâmetro médio das partículas, enquanto as propriedades químicas estão relacionadas à composição do alimento e suas interações com outras substâncias, como solventes ou outros componentes dentro de sua própria estrutura (BARBOSA-CÁNOVAS e JULIANO, 2005).

Propriedades como umidade e atividade de água são essenciais no que diz respeito à estabilidade e estocagem dos pós. A densidade é uma propriedade extremamente importante em processos industriais, no ajuste das condições de estocagem, processamento, embalagem e distribuição. Os produtos obtidos por moagem ou secagem geralmente são caracterizados por sua densidade aparente, que considera o volume do material sólido e todos os poros fechados e abertos para a atmosfera (BARBOSA-CÁNOVAS e JULIANO, 2005).

A microestrutura, por sua vez, está ligada à funcionalidade e às propriedades de escoamento dos pós. A distribuição do tamanho das partículas também pode ser considerada

importante em vários aspectos, podendo influenciar o sabor, cor e textura do produto (O'HAGAN et al., 2005).

2.5.1 Microestrutura das partículas

A microestrutura de micropartículas está relacionada a propriedades como funcionalidade, estabilidade e escoabilidade, afetando, por exemplo, a capacidade de liberação ou de retenção do material de recheio (DZIEZAK, 1988; JACKSON e LEE, 1991; SHAHIDI e HAN, 1993).

Avaliar a microestrutura de produtos encapsulados é importante por se relacionar com a capacidade de proteção apresentada por diferentes polímeros (ROSENBERG et al., 1990). Os autores sugerem que indicações desta capacidade são fornecidas pelo grau de integridade e porosidade das microcápsulas, sendo que materiais com propriedades encapsulantes pobres originam microcápsulas com superfícies muito porosas, altamente rugosas e com quebras. Além disso, segundo os autores, as propriedades de escoamento dos pós estão ligadas à estrutura e à topografia externa das partículas.

Segundo Walton (2000), é difícil avaliar de um modo geral o efeito que as variáveis de processo de secagem por atomização exercem sobre a morfologia das partículas. Isso é devido, principalmente, à falta de informações na literatura e à natureza específica de cada material, que torna difícil a classificação das propriedades morfológicas em relação ao processo de secagem, uma vez que a natureza físico-química da “casca” formada durante a secagem determina o comportamento da partícula. Para uma dada condição de secagem, por exemplo, as partículas podem inchar, encolher ou quebrar, dependendo das propriedades reológicas e da porosidade (ou não-porosidade) da casca formada. Ainda segundo o autor, o estudo da morfologia das partículas secas oferece um conhecimento valioso sobre os fundamentos da secagem dos alimentos, assim como dos aspectos físicos e químicos que governam a estrutura das partículas. Estes estudos permitem a comparação de taxas de secagem entre diferentes alimentos, diferentes concentrações, produtos ou formulações, permitindo a seleção e a melhora das condições de processo e auxiliando no projeto e simulação dos equipamentos.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é o método mais utilizado para análise da microestrutura de produtos em pó. Segundo Aguilera e Stanley (1990), esta técnica permite avaliar tanto as características da superfície como as internas, dependendo das técnicas de preparação utilizadas. Além disso, permite utilizar uma ampla faixa de ampliação (20 a 100.000 vezes) e pode alcançar uma profundidade de campo aproximadamente 500 vezes maior que a microscopia ótica.

2.5.2 Tamanho de partículas

Um dos mais importantes parâmetros físicos a ser considerado em produtos em pó é o tamanho das partículas. Essa propriedade pode influenciar na aparência, escoabilidade e dispersibilidade do pó. Também é possível avaliar a estabilidade de uma mistura de diferentes componentes, através da homogeneidade na distribuição das diferentes partículas na mistura e da compactação ou segregação de seus componentes, em que um produto com menor diâmetro fica distribuído na parte inferior (O'HAGAN et al., 2005). Quando o tamanho da partícula diminui, o aumento da sua área superficial acarreta uma maior afinidade com a água e habilidade para aglomerar (TÓTH e PALLAI-VARSÁNYI, 2006). O conhecimento da densidade de um determinado material é importante para o armazenamento, processamento, empacotamento e distribuição. A densidade volumétrica (ou *bulk density*) considera os poros internos e externos da partícula e é geralmente usada para caracterizar um produto obtido por moagem ou secagem (BARBOSA-CÁNOVAS e JULIANO, 2005).

De acordo com Sato (2005), a distribuição do tamanho de partículas consiste em expressar a frequência da quantidade de partículas sólidas em cada faixa de tamanho, que normalmente é dada em fração mássica ou volumétrica, em função dos diferentes diâmetros de partícula encontrados em uma amostra. A descrição da distribuição do tamanho das partículas é utilizada para caracterizar as propriedades de materiais particulados como pós, suspensões, emulsões e gotas, quanto à sua abrasividade, aglomeração, grau de dispersão, deposição, fluidez, granulação, permeabilidade, sedimentação e turbidez, entre outras características.

Existem várias maneiras de se determinar o tamanho médio de um conjunto de partículas. As maneiras mais interessantes consistem na determinação do diâmetro médio de Brouckere ($D[4,3]$) e do diâmetro médio de Sauter ($D[3,2]$). O primeiro é o mais utilizado no

caso de partículas de pó, e as caracteriza pelo diâmetro de uma esfera com volume equivalente. Já o segundo determina o diâmetro médio como sendo o diâmetro de uma esfera com mesma área superficial, sendo mais utilizado em estudos relacionados aos fenômenos interfaciais (RAMALHO e OLIVEIRA, 1999).

2.6 Isotermas de sorção em água

No que diz respeito à composição de alimentos frescos, a água é o mais importante componente presente, sendo o agente controlador da deterioração dos mesmos. A deterioração dos alimentos está intimamente ligada à sua concentração e mobilidade. A taxa e intensidade com que ocorre a deterioração podem ser relacionadas pela atividade de água (WOLF et al., 1985).

Alimentos ricos em água com valores de atividade de água acima de 0,90 poderão formar soluções diluídas com componentes dos alimentos que servirão de substrato para os microrganismos poderem crescer. Quando a atividade de água baixar para 0,40-0,80 haverá a possibilidade de reações químicas e enzimáticas rápidas pelo aumento das concentrações dos reagentes, enquanto que em alimentos com atividade de água próxima de 0,60 há um pequeno ou nenhum crescimento de microrganismo. Em regiões de atividade de água inferiores a 0,30, atinge-se a zona de absorção primária, onde as moléculas de água poderão estar ligadas a pontos de absorção primários (exemplo: grupos $-\text{COOH}$) e por sua vez se ligar a outras moléculas de água por ligações de hidrogênio. Esta água está fortemente ligada ao alimento formando a chamada monocamada, não utilizável para dissolver componentes dos alimentos, o que leva as reações a terem velocidade tendente a zero, com exceção da oxidação de lipídeos que é consideravelmente mais rápida (BOBBIO e BOBBIO, 1992).

Ao se colocar um material biológico exposto a certa umidade relativa, ocorre um fenômeno de transferência de massa no sentido de se alcançar um equilíbrio dinâmico entre a umidade do produto e a da vizinhança. Tal equilíbrio acontece quando a pressão de vapor de água na superfície do material se iguala à do ar que o envolve (TREYBAL, 1981).

A atividade de água (A_w) é um parâmetro físico-químico definido como a pressão de vapor no alimento (p) a uma temperatura definida dividido pela pressão de vapor de água pura (p_o) na mesma temperatura constante, de acordo com a Equação [2.1].

$$A_w = \frac{p}{p_o} = \frac{URE}{100} \quad [2.1]$$

Onde: URE é a Umidade Relativa de Equilíbrio (%).

O estudo da atividade de água pode ser feito através das isotermas de sorção que descreve uma relação entre a atividade de água e a umidade de equilíbrio de um produto alimentar, ou seja, é uma curva que descreve a relação de equilíbrio do teor total de umidade de um alimento e a pressão de vapor ou umidade relativa, a uma dada temperatura (Figura 2.16) (CATELAM et al., 2011). Essa relação depende de diversos fatores, tais como a estrutura física da superfície do material, composição química e afinidade com a água. Assim, cada alimento apresenta características distintas de sorção de umidade, sendo necessária a determinação experimental para cada produto (WOLF et al., 1985).

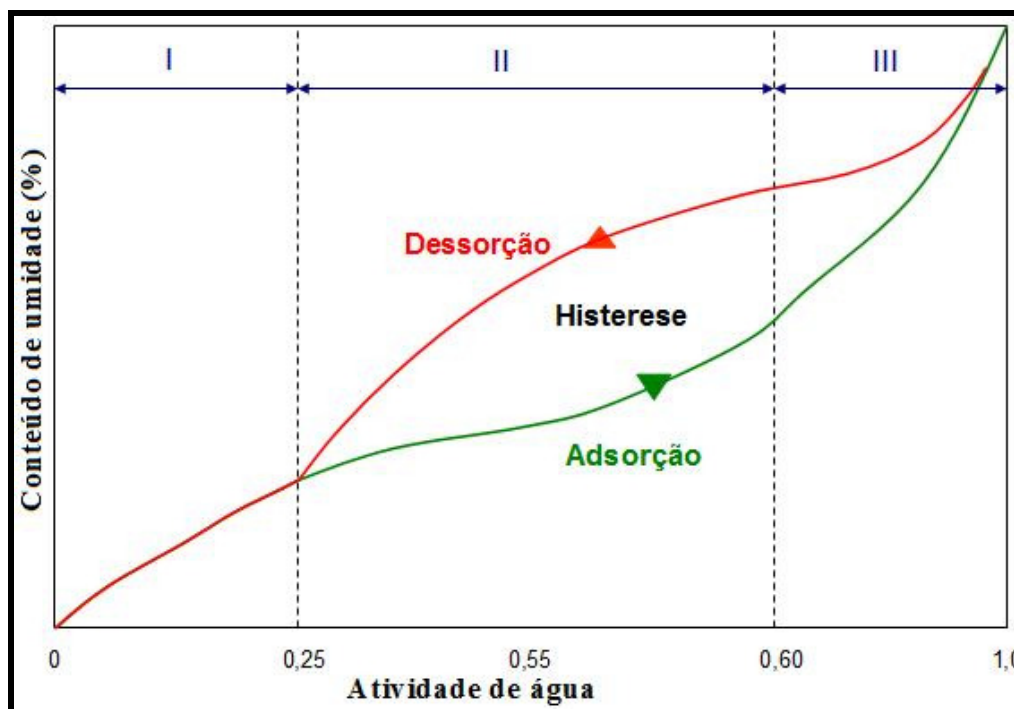


Figura 2.16 - Isotermas de adsorção e dessorção (I – Monocamada molecular, II – Policamada molecular e III – Água líquida e moléculas dissolvidas).

O conhecimento das isotermas de sorção é importante na análise e montagem de vários processos alimentares, tais como preservação, secagem, armazenamento, embalagem e mistura. Elas podem ser usadas para prever mudanças na estabilidade do alimento e para selecionar o material de embalagem e ingredientes apropriados (ZHANG et al., 1996).

As isotermas são úteis para o cálculo do tempo e consumo de energia durante a secagem, para prever o comportamento do ingrediente após a mistura, para auxiliar a seleção de embalagem, para modelar variações de umidade durante o armazenamento e para prever a vida de prateleira de produtos alimentares (LOMAURO et al., 1985; SIRIPATRAWAN e JANTAWAT, 2006; COMUNIAN et al., 2011). Estas propriedades também fornecem informações sobre os mecanismos de sorção e interações entre componentes dos alimentos e da água (GABAS et al., 2000).

Em produtos alimentícios, as isotermas de sorção geralmente podem ser divididas em três regiões. A primeira região está localizada na faixa de atividade de água (A_w) de 0 – 0,25 e representa a adsorção de água na monocamada; a segunda região com atividade de água entre 0,25 – 0,60, representa a adsorção nas demais camadas após a monocamada, e a terceira

região, que corresponde a uma atividade de água superior a 0,60, representa a região onde a água é inicialmente condensada no interior dos poros e depois na superfície, causando a dissolução de materiais solúveis presentes (LOMAURO et al., 1985).

Para a determinação experimental de umidade de equilíbrio torna-se necessário um ambiente com umidade relativa constante e controlada. O método de controle de umidade mais usado é o que utiliza soluções aquosas de ácido sulfúrico e soluções saturadas de sais.

Várias equações são utilizadas para representar as curvas de sorção de alimentos. Os modelos de GAB (GUGGENHEIM-ANDERSON-DE BÔER) e de BET (BRUNAUER-EMMETT-TELLER) são preferidos porque tem bases físico-químicas mais sólidas. O modelo GAB abrange uma faixa de atividade de água entre 0,1 – 0,9, enquanto o modelo BET fornece um bom ajuste para uma variedade de alimentos na região de água entre 0,05 – 0,45 (RIZVI, 1995).

O Modelo de BET se baseia na suposição de que a água é adsorvida na forma de camadas. A primeira se fixa por adsorção sobre pontos uniformemente localizados enquanto que as camadas seguintes se fixam entre si mediante pontes de hidrogênio, sendo que o fator que limita o número de camadas adsorvidas é o diâmetro dos capilares. A equação do modelo de BET é escrita da seguinte forma.

$$X_e = \frac{X_m CA_w}{(1 - A_w)[1 + (C - 1)A_w]} \quad [2.2]$$

Onde: X_e é a umidade de equilíbrio ($g_{\text{água}}/g_{\text{sólido seco}}$);

X_m é a umidade na monocamada molecular ($g_{\text{água}}/g_{\text{sólido seco}}$);

C é uma constante.

Uma detalhada pesquisa na literatura (VAN DER BERG e BRUIN, 1981) indicou que a equação mais eficiente para a predição das isotermas de sorção é a equação de GAB. Ela é um modelo relativamente simples com um pequeno número de parâmetros que têm significado físico, e pode ser aplicada a uma grande faixa de atividade de água.

O Modelo de GAB estendeu as teorias de adsorção física de BET, resultando numa equação tripamétrica, que permite um melhor ajuste dos dados de sorção dos alimentos até a atividade de água de 0,9 (VAN DER BERG e BRUIN, 1981; LEWICKI, 1997).

A equação de GAB é recomendada para descrever isotermas sorção de polpas de frutas, uma vez que tem sido amplamente utilizada para produtos alimentares, em especial para as frutas (LOMAURO et al., 1985; GABAS et al., 2000; TELIS et al., 2000), bem como a ser um simples meio de fornecer parâmetros com significado físico (CATELAM et al., 2011).

A equação de GAB é escrita como:

$$X_e = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} A_w}{(1 - K_{GAB} A_w)(1 - K_{GAB} A_w + C_{GAB} K_{GAB} A_w)} \quad [2.3]$$

Onde: C_{GAB} e K_{GAB} são constantes de adsorção relacionadas com as interações energéticas entre as moléculas da monocamada e as subsequentes, em um do sítio de sorção.

Quando $K_{GAB} = 1$, a equação GAB fica reduzida a equação BET.

A equação de Halsey é um modelo semi-empírico que considera a condensação da multicamada a uma distância relativamente grande da superfície (HALSEY, 1948). A Equação Halsey é descrita da seguinte forma:

$$A_w = \exp\left(\frac{-A}{X_e^B}\right) \quad [2.4]$$

Onde: A e B são constantes do modelo.

Já as equações de Oswin e Henderson representam modelos puramente empíricos. A Equação de Oswin é escrita como:

$$X_e = X_m \left(\frac{A_w}{1 - A_w} \right)^D \quad [2.5]$$

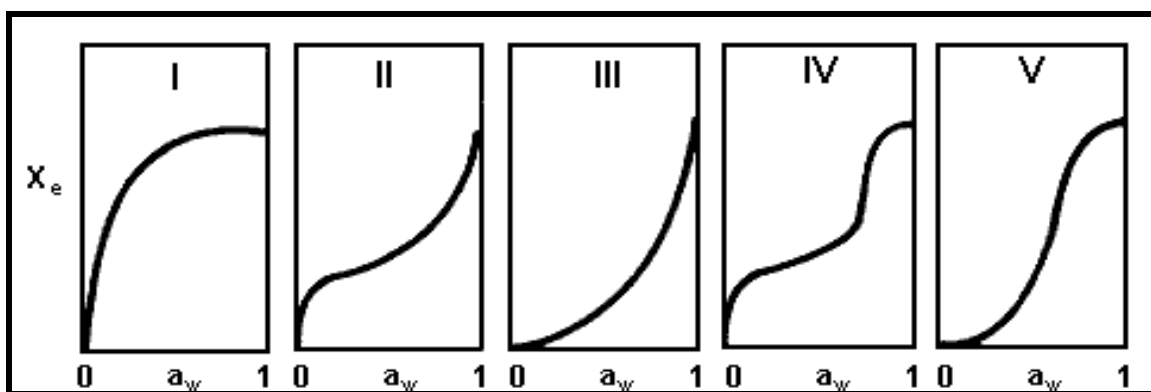
Onde: D é constante do modelo.

O modelo de Henderson é uma equação muito utilizada para prever a curva de sorção de alimentos e pode ser escrita como (HENDERSON, 1952):

$$1 - A_w = \exp(-k' X_e^{n'}) \quad [2.6]$$

Onde: k' e n' são constantes da equação.

As isotermas podem ser classificadas de acordo com os formatos, que podem ser de cinco tipos, apresentados na Figura 2.17. No caso de alimentos, as isotermas de maior interesse são as do Tipo II e III (BRUNAUER et al., 1938).



Fonte: Brunauer et al. (1938).

Figura 2.17 - Tipos de isotermas de sorção.

2.7 Temperatura de transição vítrea em alimentos

A transição vítrea (T_g) vem sendo estudada a partir da década de 30 com os primeiros trabalhos de Kauzmann, Gibbs e Dimarzio, mas na década de 60, White e Cakebread (1966) começam a introduzir os conceitos de transição vítrea, enfocando a tecnologia dos doces açucarados.

No final da década de 80, pesquisadores se aprofundaram no tema e adaptaram para a Ciência de Alimentos, conceitos de transição vítrea conhecidos na Ciência dos Polímeros Sintéticos e, desta forma, modificaram a visão clássica da ciência de conservação dos alimentos baseada na termodinâmica de equilíbrio da água (atividade de água) (LEVINE e

SLADE, 1986; SLADE e LEVINE, 1991a; SLADE e LEVINE, 1991b; LEVINE e SLADE, 1992). O elemento-chave dessa adaptação consiste em reconhecer os alimentos como substâncias amorfas meta-estáveis e a água como um plasticizante.

A determinação da temperatura de transição vítrea (T_g) tem despertado um grande interesse nos últimos anos, entre os cientistas de alimentos, pois ajuda a explicar o comportamento químico e físico dos sistemas alimentícios (KUMAGAI et al., 2000; COLLARES et al., 2002).

A T_g é específica para cada material e corresponde a uma transição de ordem estrutural, levando a uma mudança da mobilidade e flexibilidade molecular (PEREZ, 1994). É uma transição de 2ª ordem, isto é, ao contrário de mudanças de fase (fusão, evaporação) que são transições de 1ª ordem, a transição vítrea ocorre sem envolver calor latente. Esta transição de fase é perceptível pela variação do calor específico, pela expansão volumétrica ou pela variação de outras propriedades físicas do produto (ROOS, 1995; ROOS, 1998).

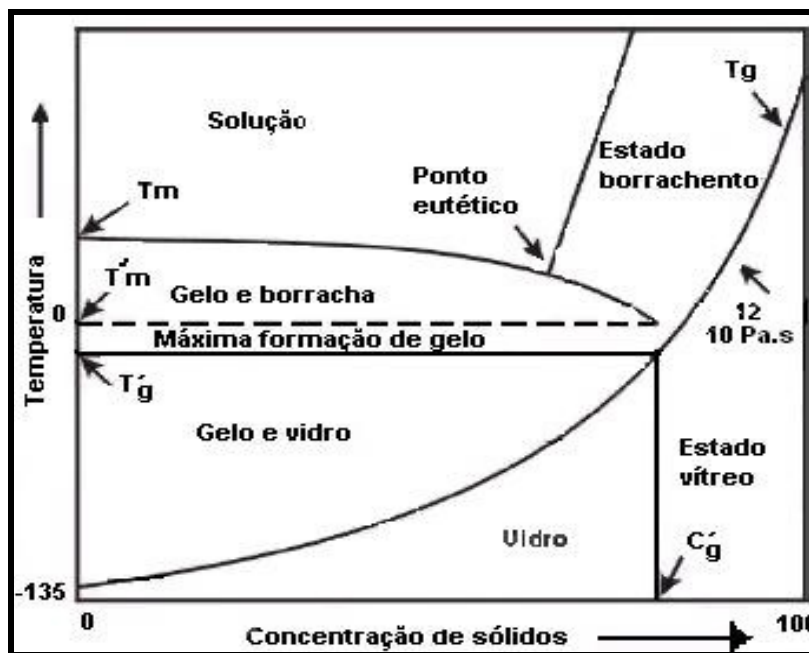
A T_g não é um ponto nitidamente localizado, mas define o centro de uma região em torno de 20 °C, na qual a transformação ocorre. Abaixo da T_g , um material se encontra no estado vítreo, acima da T_g , no estado gomoso ou “borrachento” (WHITE e CAKEBREAD, 1966).

Um material em estado vítreo comporta-se como um sólido quebradiço, com rigidez ou viscosidade extremamente alta (cerca de 10^9 Pa.s), apresentando mobilidade molecular semelhante aos sólidos cristalinos, alto brilho e boa transparência e seus movimentos são restritos a vibrações e rotações de pequena amplitude. As alterações que podem ocorrer no estado vítreo são atribuídas a um fenômeno chamado de envelhecimento físico. No entanto, essas alterações são tão lentas que não são perceptíveis num intervalo de tempo de observação razoável.

Já um material no estado gomoso, a mobilidade molecular aumenta significativamente e o material adquire propriedades mecânicas tipicamente viscoelásticas (ROOS, 1995; CHAMPION et al., 2000).

As transições físicas em sistemas alimentícios podem ser enquadradas em um diagrama de estado, como o esquematizado na Figura 2.18. O diagrama de estado é assim chamado porque, quando completo em três dimensões (temperatura, umidade e tempo), representa não somente as fases em equilíbrio, mas uma combinação de estado de equilíbrio e

eventos metaestáveis ou cinéticos. Diagramas de estado simplificados como os da Figura 2.18 mostram apenas o estado físico de materiais alimentícios em função da concentração e da temperatura (ROOS, 1995). Esses diagramas modelam o alimento como formado por dois componentes: os sólidos e a água. A temperatura de transição vítrea da água é -135°C , e esse baixo valor a torna um poderoso plastificante.



Fonte: Roos (1995).

Figura 2.18 - Diagrama do estado esquemático de um alimento típico.

Quando se encontra no estado vítreo e, portanto, abaixo da temperatura de fusão, um material possui energia maior que o estado de equilíbrio cristalino. O estado de não equilíbrio amorfo está sempre sujeito a uma força motriz que tende ao estado de equilíbrio.

Para a indústria de alimentos, particularmente aquelas que utilizam processo de conservação por desidratação (secagem, aspersão e liofilização) ou processos a baixas temperaturas (congelamento), o conhecimento da temperatura de transição vítrea e do mecanismo de transformação vítrea são de interesse primordial e utilizável para poder prever o comportamento dos alimentos, os quais são considerados cineticamente estáveis no estado vítreo (LEVINE e SLADE, 1986; KHALLOUFI et al., 2000).

As alterações estruturais que ocorrem em alimentos desidratados com características amorfas, em temperaturas acima da T_g , são a aglomeração, adesividade, colapso e

cristalização. O aumento da mobilidade molecular também afeta a difusão, resultando no aumento de reações de deterioração, como reações enzimáticas, escurecimento não enzimático e oxidação (ROOS, 1995).

2.8 Estabilidade dos alimentos

Quando um alimento é processado, é desejável que não ocorra algumas alterações no produto, tais como desenvolvimento de microrganismos patogênicos e/ou deteriorantes, alterações na aparência, cor, odor, sabor e textura, perda de valor nutricional, entre outros.

A deterioração de alimentos ocorre progressivamente durante a estocagem resultante de alterações físicas, químicas ou biológicas, ou devido ao desenvolvimento microbiano.

A estabilidade e a vida útil de um alimento são definidas e controladas por fatores intrínsecos e extrínsecos, que na maior parte dos casos atuam simultaneamente. Os fatores intrínsecos ao produto incluem seu pH, atividade de água, presença de enzimas e de microrganismos e a concentração de compostos reativos. Os fatores extrínsecos incluem a temperatura e a umidade relativa do ambiente de estocagem, a exposição à luz e a gases, como oxigênio e gás carbônico, as condições de manuseio durante a produção e o sistema de distribuição de estocagem (PADULA et al., 2010).

O fim de uma vida útil aceitável é definida como o tempo quando as amostras armazenadas são percebidas como diferentes de um padrão. Raramente os resultados de testes de vida útil são disponíveis na forma de taxas de deterioração, mas muito mais comumente na forma quantitativa da perda de algum fator de qualidade especificamente avaliado. Portanto, para estabelecer as taxas de deterioração é necessário transformar os dados existentes em parâmetros cinéticos (VITALI et al., 2010).

Segundo Tonon (2009), os casos em que se deseja avaliar a estabilidade de alimentos nos quais a deterioração é provocada por reações químicas, é necessário se conhecer a ordem de reação (n). Por exemplo, quando a mudança na concentração C de um composto de interesse é monitorada em um produto, a cinética de reação é expressa pela Equação (2.7):

$$\pm \frac{dC}{dt} = kC^n \quad [2.7]$$

Onde k é a constante de reação, t é o tempo e o sinal $\pm$ refere-se ao aumento ou à diminuição do composto em questão.

As reações de ordem zero e de 1ª ordem são as mais comumente encontradas em produtos alimentícios.

As reações de ordem zero são encontradas com frequência em alimentos, principalmente quando há limitações de difusão de certos participantes da reação, como por exemplo, degradação enzimática de frutas e vegetais, escurecimento não-enzimático de desidratados, oxidação de lipídeos em desidratados, etc. As reações de 1ª ordem são, de longe, as mais comuns e mais bem estudadas em alimentos. Assim pode-se relacionar uma série de reações em alimentos que seguem esse mecanismos, tais como o crescimento e morte de microrganismos, a destruição de vitaminas e pigmentos durante o processamento e armazenamento, a destruição de atividade enzimática e toxinas por aquecimento, o escurecimento não-enzimático de sucos de frutas, a rancidez em óleos, etc. (TEIXEIRA NETO et al., 2010).

A velocidade das transformações em alimentos aumenta com o aumento da temperatura; contudo, conforme a faixa de temperatura estudada, os mecanismos ou mesmo o tipo de transformação podem mudar completamente.

A dependência das taxas de reação em relação à temperatura pode ser descrita pelo modelo de Arrhenius, ou ainda pelo fator Q_{10} (SINGH, 1994; TEIXEIRA NETO et al., 2010), utilizado nos teste de estabilidade acelerada. O fator Q_{10} é utilizado quando o tempo de estocagem é muito longo e a indústria precisa de resultados em um tempo mais curto.

O fator Q_{10} é definido como o quociente entre as velocidades de reação a uma determinada temperatura e a uma temperatura 10 °C mais baixa (TEIXEIRA NETO et al., 2010). Sendo assim, é possível realizar o teste em temperaturas mais altas que acelerem o processo de degradação e extrapolar os resultados para temperaturas mais baixas, como as encontradas durante a distribuição e o armazenamento do produto (LABUZA e SCHMIDL, 1985).

Diversas críticas tem sido feitas à utilização do modelo de Arrhenius. Segundo Vitali et al. (2010), assumir que reações de deterioração são caracterizadas por uma única constante de velocidade deve ser limitado àquelas reações que tem cinética igual em todas as etapas. Outro problema levantado pelos pesquisadores é que, em geral, utiliza-se ordem de reação de números inteiros, porém algumas reações de degradação são mais bem aplicadas por cinéticas de ordem fracionárias. O uso do modelo de Arrhenius implica que sob condições não isotérmicas, a velocidade da reação de degradação depende apenas da temperatura naquele dado momento e não é afetada pela história térmica do produto. No entanto, reações químicas e bioquímicas podem seguir por diferentes passos, definidos por um amplo espectro de energia de ativação ao invés de um único valor desta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Matérias-primas

Para a realização deste trabalho, foram utilizados pequis adquiridos na Cooperativa de Pequis “Grande Sertão Ltda” de Montes Claros – MG. Os pequis foram provenientes de um único lote, com o intuito de utilizar a mesma matéria-prima, tanto nas caracterizações físico-químicas, quanto nos ensaios de secagem. Os frutos foram armazenados em câmara tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.) (Modelo MA 403, Marconi, Piracicaba, Brasil) a 5 ± 1 °C (90 – 95% UR) (DAMIANI et al., 2008).

Também foram utilizadas amêndoa de coco babaçu fornecidas pela Fazenda Monte Alegre da cidade de Governador Eugênio Barros – MA. As amêndoas foram adquiridas em lote único, com a intenção de utilização da mesma matéria-prima para a realização das caracterizações físico-químicas e dos ensaios de secagem. As amêndoas ficaram conservadas em freezer doméstico (Modelo practice 240, Cònsul, Joinville, Brasil) a -10 ± 1 °C até o momento da extração do leite.

3.1.2 Agentes encapsulantes

Para o processo de secagem da polpa de pequi e do leite de coco babaçu, foram utilizados maltodextrina Mor-rex[®] 1910 com DE 10, amido de milho regular Amisol[®] 3408 e dextrina Snow Flake[®] E 6131 (Corn Products, Mogi-Guaçu, Brasil) e goma arábica Instantgum[®] (Colloides Naturels, São Paulo, Brasil) como agentes encapsulantes.

3.1.3 Surfactantes

Foram utilizados os surfactantes Span 80, Span 85, *Tween* 20 e *Tween* 80, em grau de pureza PA (Synth, Brasil).

3.1.4 *Spray-dryer*

A secagem por aspersão da polpa de pequi e do leite de coco babaçu foi realizada em um secador laboratorial com sistema provido com bico duplo fluido (Modelo B191, Büchi, Flawil, Suíça), disponível no Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita/Secagem da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP.

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, de acordo com as sugestões do fabricante do equipamento.

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. Na Figura 3.1 está ilustrada uma imagem do equipamento.



Fonte: Arquivo pessoal – A. A. Santana.

Figura 3.1 - Mini *spray dryer* utilizado nos ensaios de secagem por aspersão.

3.2 Elaboração da polpa de pequi e do leite de coco babaçu

Os diagramas de fluxos dos processos de obtenção da polpa de pequi (frutos maduros com grau de maturação obtido através da queda natural dos frutos e coleta no chão) e do leite de coco babaçu são mostrados nas Figuras 3.2 e 3.6, respectivamente.

A elaboração da polpa de pequi seguiu as seguintes etapas:

↳ **Seleção:** Esta etapa foi realizada a partir da inspeção visual e retirada manual dos frutos de pequi indesejáveis (podres, amassados, com rachaduras, etc.).

- ✎ Lavagem: Foi realizada em água corrente clorada com o objetivo de retirar as sujidades grosseiras.
- ✎ Sanitização: Após a etapa de lavagem, os frutos foram colocados em recipientes contendo água e hipoclorito de sódio a 200 mg/L, por 15 minutos.
- ✎ Retirada da casca: Esta etapa foi realizada manualmente com auxílio de facas de aço inoxidável. Os frutos foram cortados e retirados os pirênios (caroços). Após a retirada dos caroços, os frutos foram colocados em recipientes.
- ✎ Sanitização: Foi feita outra sanitização dos frutos sem a casca, em um recipiente com água e hipoclorito de sódio a 100 mg/L, por 15 minutos.
- ✎ Retirada da polpa: Após a sanitização, os frutos foram colocados em bandejas plásticas onde foi feita a separação da polpa do pirênio. Este processo foi realizado manualmente, com auxílio de facas de aço inoxidável.
- ✎ Acondicionamento: A polpa de pequi foi armazenada em potes plásticos grandes de polipropileno, com tampa, e acondicionados em câmara sob refrigeração com temperatura de 5 ± 1 °C e umidade relativa de 95 %.
- ✎ Homogeneização: Na preparação do extrato da polpa de pequi foi adicionada água tratada na proporção 1:2,5 (polpa:água, massa/massa) e a homogeneização foi realizada com auxílio de um liquidificador doméstico (Potência 450W, modelo MAGD 19108, Arno, São Paulo, Brasil).
- ✎ Filtração: Após a homogeneização, o extrato foi filtrado em um funil de Büchner com auxílio de um tecido poroso TNT (tecido não tecido) e uma bomba vácuo (Modelo Q955B, Quimis, Diadema, Brasil) para retirar as partículas em suspensão e, assim, evitar o entupimento do bico do secador *spray dryer*.

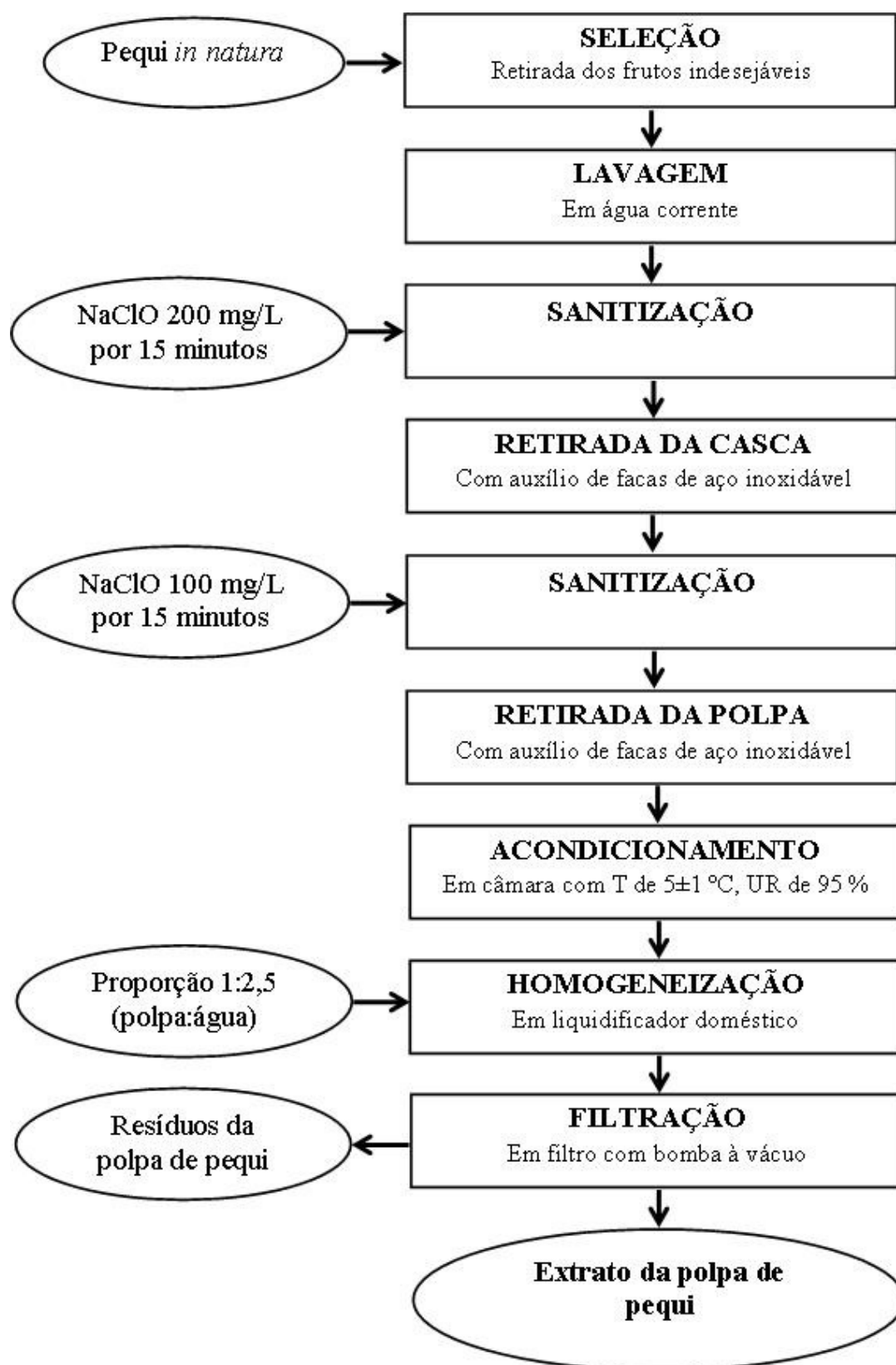


Figura 3.2 - Diagrama de fluxo do processamento do extrato da polpa de pequi.

A elaboração do leite do babaçu seguiu as seguintes etapas:

↳ Seleção: Na seleção foi feita uma inspeção visual e a retirada das amêndoas indesejáveis (podres, amassadas, cortadas, etc.) (Figura 3.3).



Figura 3.3 - Amêndoas de coco babaçu.

↳ Lavagem: Foi realizada em água corrente clorada com o objetivo de retirar as sujidades grosseiras.

↳ Descascamento: O descascamento foi realizado manualmente com auxílio de facas de aço inoxidável. O objetivo desta etapa é a retirada da película marrom que recobre a amêndoa (Figura 3.4).



Figura 3.4 - (a): Amêndoas descascadas; (b): Resíduos (película marrom) de amêndoa de coco babaçu.

↳ Lavagem: As amêndoas descascadas foram novamente lavadas com água corrente clorada.

- ↳ **Branqueamento:** As amêndoas foram colocadas em tachos de aço inoxidável com água quente a 85-90 °C por 15 minutos para inativação das lípases e em água gelada a 15±1 °C por 5 minutos.
- ↳ **Homogeneização:** Esta etapa foi realizada com o auxílio de um liquidificador doméstico (Potência 450W, modelo MAGD 19108, Arno, São Paulo, Brasil) com água quente a 80 °C na proporção duas partes de água para uma de amêndoa (massa/massa), até a obtenção de consistência homogênea, sendo que o tempo de homogeneização foi de 15 minutos.
- ↳ **Filtração:** Foi feita com a utilização de um funil de Büchner com auxílio de um tecido poroso (TNT) e uma bomba vácuo (Modelo Q955B, Quimis, Diadema, Brasil), havendo uma separação das partículas sólidas das líquidas. As partículas sólidas (farinha de coco babaçu) estão apresentada na Figura 3.5.



Figura 3.5 - Farinha de coco babaçu.

- ↳ **Pasteurização:** O leite de coco babaçu foi pasteurizado, numa temperatura de 90 °C durante 15 minutos, sob agitação, para coagular as proteínas, através da formação de pequenos coágulos. Esse processo foi realizado em tachos de aço inoxidável com sistema de agitação manual.
- ↳ **Homogeneização:** Após a pasteurização, o leite de coco foi homogeneizado em um liquidificador doméstico (Potência 450W, modelo MAGD 19108, Arno, São Paulo, Brasil) por 5 minutos para romper os coágulos e retornar o leite a sua consistência fluida.

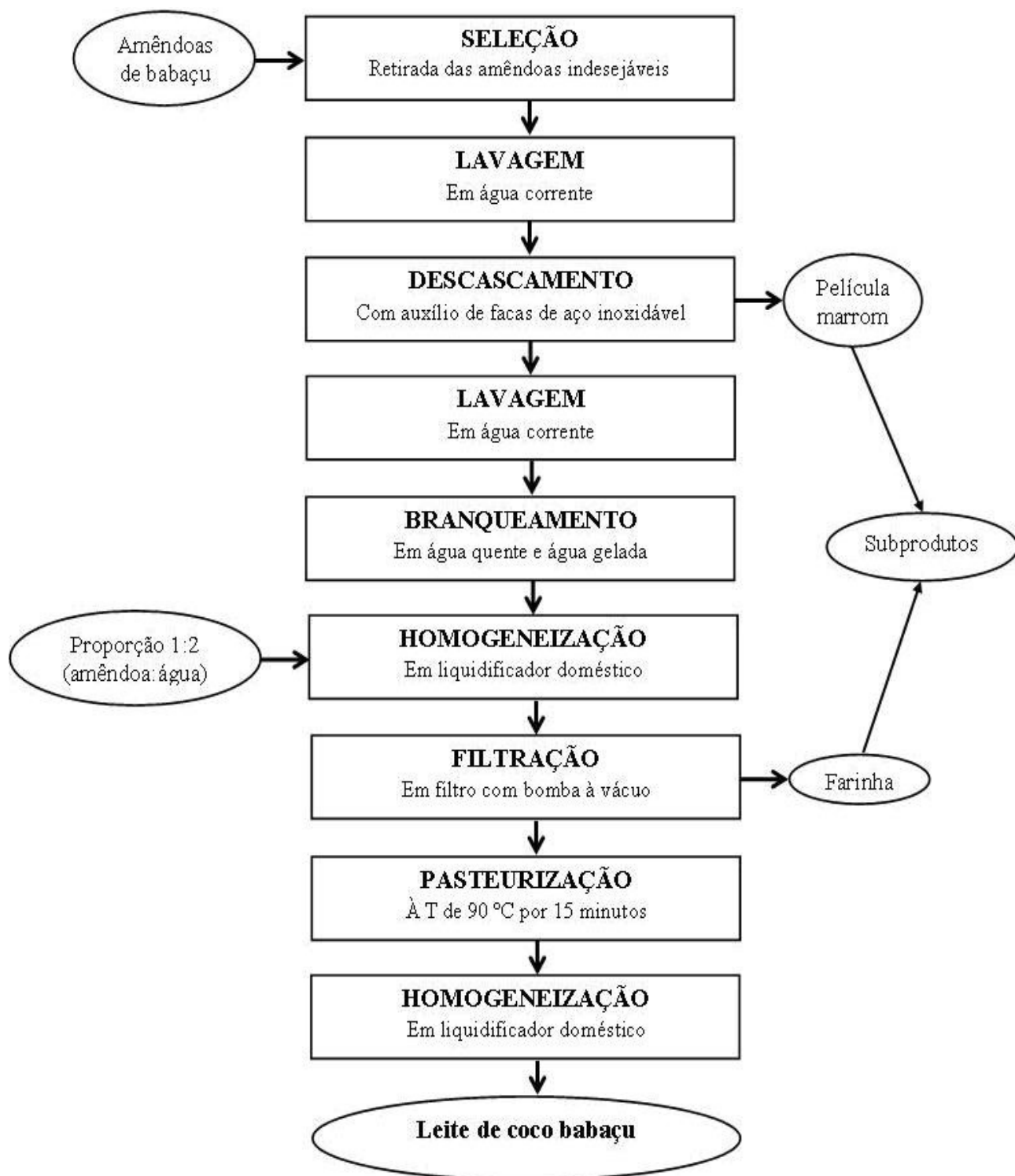


Figura 3.6 - Diagrama de fluxo do processamento do leite de coco babaçu.

3.3 Caracterizações físico-químicas da polpa de pequi e do leite de coco babaçu

Foram feitas as caracterizações físico-químicas para a polpa de pequi *in natura* e para amêndoa, farinha, película marrom e leite de coco babaçu.

3.3.1 Umidade

A determinação de umidade foi realizada pela dessecação até peso constante da amostra, em estufa a vácuo (Vacuum oven, modelo 5851, pressão 30 inHg, NAPCO, EUA) a 70 °C (AOAC, 1998).

3.3.2 Proteínas

Foi determinada pelo método de Kjeldahl com fator de conversão de 6,25 (AOAC, 2006).

3.3.3 Lipídeos

A determinação de lipídeos foi realizada utilizando um aparelho Soxhlet e éter de petróleo na extração (AOAC, 2006).

3.3.4 Cinzas

O teor de cinzas foi determinado após calcinação das amostras em mufla (modelo pyrotec, QUIMIS, Brasil) a 525 °C conforme recomendado pela AOAC (1998).

3.3.5 Carboidratos

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

3.3.6 Acidez total titulável (ATT)

A determinação da ATT foi realizada por titulação com NaOH 0,1N e indicador fenolftaleína, de acordo com o Instituto Adolfo Lutz (2008). Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.3.7 Açúcares redutores e totais

Os açúcares redutores e os açúcares totais foram determinados através dos métodos estabelecidos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.3.8 Fibras

A determinação de fibras foi realizada segundo metodologia da AOAC (2005), utilizando o ácido H_2SO_4 e a base NaOH.

3.3.9 pH

O pH foi determinado utilizando-se um pHmetro (modelo pH 300M, ANALYSER[®], Brasil), aferido com tampões de pH 7 e 4, segundo técnica do Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.3.10 Sólidos solúveis totais (SST)

Foram determinados por refratometria e expressos em °Brix, em refratômetro digital (Modelo Arias 500, Reichert, USA), de acordo com a metodologia recomendada pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

3.3.11 Relação SST/ATT

A relação SST/ATT foi obtida pelo quociente entre os resultados das análises de sólidos solúveis totais e acidez titulável total.

3.4 Secagem por *spray dryer*

Foram feitos diversos testes preliminares para a polpa de pequi e leite de coco babaçu (Apêndice A). Com base nos resultados destes testes, definiu-se as variáveis do secador utilizando um delineamento composto central rotacional (DCCR).

3.4.1 Polpa de pequi

Foram realizados três delineamentos composto central rotacional (DCCR), com pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$), totalizando 17 ensaios (Tabelas 3.1 e 3.2), para estudar os efeitos das variáveis temperatura do ar de entrada no secador (T_{ent}), concentração de surfactante *Tween* 80 (C_S) e concentrações de agentes microencapsulantes (goma arábica - C_{GA} , maltodextrina - C_M e dextrina - C_D).

Tabela 3.1 - Planejamento experimental para polpa de pequi variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}), concentração de surfactante (C_S) e concentração de goma arábica (C_{GA}).

Ensaio	Variáveis Independentes					
	Real			Codificado		
	T_{ent} (°C)	C_S (%)	C_{GA} (%)	T_{ent} (°C)	C_S (%)	C_{GA} (%)
1	152	1	12	-1	-1	-1
2	188	1	12	1	-1	-1
3	152	4	12	-1	1	-1
4	188	4	12	1	1	-1
5	152	1	18	-1	-1	1
6	188	1	18	1	-1	1
7	152	4	18	-1	1	1
8	188	4	18	1	1	1
9	140	2,5	15	-1,68	0	0
10	200	2,5	15	1,68	0	0
11	170	0	15	0	-1,68	0
12	170	5	15	0	1,68	0
13	170	2,5	10	0	0	-1,68
14	170	2,5	20	0	0	1,68
15	170	2,5	15	0	0	0
16	170	2,5	15	0	0	0
17	170	2,5	15	0	0	0

Tabela 3.2 - Planejamento experimental para polpa de pequi variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}), concentração de surfactante (C_S) e concentração de maltodextrina (C_M) ou dextrina (C_D).

Ensaio	Variáveis Independentes					
	Real			Codificado		
	T_{ent} (°C)	C_S (%)	C_M (%) ou C_D (%)	T_{ent} (°C)	C_S (%)	C_M (%) ou C_D (%)
1	152	1	18	-1	-1	-1
2	188	1	18	1	-1	-1
3	152	4	18	-1	1	-1
4	188	4	18	1	1	-1
5	152	1	27	-1	-1	1
6	188	1	27	1	-1	1
7	152	4	27	-1	1	1
8	188	4	27	1	1	1
9	140	2,5	22,5	-1,68	0	0
10	200	2,5	22,5	1,68	0	0
11	170	0	22,5	0	-1,68	0
12	170	5	22,5	0	1,68	0
13	170	2,5	15	0	0	-1,68
14	170	2,5	30	0	0	1,68
15	170	2,5	22,5	0	0	0
16	170	2,5	22,5	0	0	0
17	170	2,5	22,5	0	0	0

3.4.2 Leite de coco babaçu

Um delineamento composto central rotacional (DCCR), com pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$), totalizando 11 ensaios (Tabelas 3.3 e 3.4), foi utilizado para

estudar os efeitos das variáveis temperatura do ar de entrada no secador (T_{ent}) e concentrações de agentes microencapsulantes como goma arábica (C_{GA}), maltodextrina (C_M) e dextrina (C_D).

Tabela 3.3 - Planejamento experimental para o leite de coco babaçu variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}) e concentração de goma arábica (C_{GA}).

Ensaio	Variáveis Independentes			
	Real		Codificado	
	T_{ent} (°C)	C_{GA} (%)	T_{ent} (°C)	C_{GA} (%)
1	177	11,5	-1	-1
2	213	11,5	1	-1
3	177	18,5	-1	1
4	213	18,5	1	1
5	170	15	-1,41	0
6	220	15	1,41	0
7	195	10	0	-1,41
8	195	20	0	1,41
9	195	15	0	0
10	195	15	0	0
11	195	15	0	0

Tabela 3.4 - Planejamento experimental para o leite de coco babaçu variando os parâmetros temperatura do ar de entrada (T_{ent}) e concentração de maltodextrina (C_M) ou dextrina (C_D).

Ensaio	Variáveis Independentes			
	Real		Codificado	
	T_{ent} (°C)	C_M (%) ou C_D (%)	T_{ent} (°C)	C_M (%) ou C_D (%)
1	177	21,5	-1	-1
2	213	28,5	1	-1
3	177	21,5	-1	1
4	213	28,5	1	1
5	170	25	-1,41	0
6	220	25	1,41	0
7	195	20	0	-1,41
8	195	30	0	1,41
9	195	25	0	0
10	195	25	0	0
11	195	25	0	0

A dissolução dos agentes carreadores e os extratos foi realizada em um homogeneizador tipo “turrax” (Dispensor Extratur, Quimis, Diadema, Brasil) à temperatura ambiente e velocidade de 14000 rpm por 10 minutos (completa dissolução).

3.4.3 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 no leite de coco babaçu ou no extrato da polpa de pequi utilizado na alimentação do secador. O cálculo foi feito através da Equação 3.1.

$$RS(\%) = \frac{m_{sól,pó}}{m_{sól,ali}} \times 100 = \frac{m_{pó} \times X_{sól,pó}}{m_{ali} \times X_{sól,ali}} \times 100 \quad [3.1]$$

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

3.5 Avaliação dos produtos em pó

3.5.1 Umidade

A umidade do pó foi determinada gravimetricamente usando estufa a vácuo a 70 °C até peso constante. Para a umidade do leite de coco babaçu e do extrato da polpa de pequi formulado com diferentes concentrações de maltodextrina, goma arábica e dextrina, a amostra foi levada 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).

3.5.2 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 g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100g).

3.5.3 Carotenoides totais

A determinação do teor de carotenoides totais foi feita seguindo a metodologia descrita por Rodrigues-Amaya (1999), baseada na extração em acetona e separação em éter de petróleo. A leitura da cor foi feita em espectrofotômetro (Modelo DU-7-B340, Beckman,

Krefeld, Alemanha) a 450 nm, comprimento de onda do β -caroteno, carotenoides predominante do pequi. Foi utilizado éter de petróleo puro como branco. As análises foram feitas com os produtos em pó, com o extrato da polpa de pequi e também com a polpa *in natura*.

O cálculo foi feito através da Equação 3.2.

$$Carotenoides_Totais = \frac{Abs \times V \times 10^6}{A_{1cm}^{1\%} \times m \times 100} \quad [3.2]$$

Onde: *Carotenoides_Totais* é expresso em (mg de carotenoides/ g de sólidos de pequi), *V* é o volume da diluição (mL), *Abs* é a máxima absorbância medida, $A_{1cm}^{1\%} = 2592$, absortividade para o β -caroteno em éter de petróleo e, *m* é a massa da amostra (g).

3.5.4 Vitamina C

A determinação do teor de ácido ascórbico (mg de ácido ascórbico/g de sólidos de pequi) foi realizada de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (2006), que se baseia na redução do indicador 2,6-diclorobenzenoindofenol (DCFI) pelo ácido ascórbico.

3.5.5 Atividade de água (A_w)

A atividade de água foi determinada por leitura direta à temperatura de 25 °C, por meio do aparelho Decagon (Modelo Pawkit, Braseq, Brasil).

3.5.6 Índice de Peróxido – Oxidação lipídica

A oxidação dos pós encapsulados foi monitorada pela determinação do índice de peróxidos (compostos primários resultantes da reação de oxidação lipídica), de acordo com a metodologia descrita por Partanen et al. (2008) com algumas modificações. Para a extração do óleo, uma amostra de 0,5 g de pó foi suspensa em 5 mL de água e mantida sob agitação por 30

minutos, de forma a garantir sua completa dissolução. Uma porção de 400 µL foi retirada e misturada com 1,5 mL de uma mistura de iso-octano/isopropanol (2:1), sendo agitada durante 10 segundos e centrifugada em 2400 rpm. Este processo foi repetido três vezes.

Para a determinação do índice de peróxido, 400 µL do extrato foram adicionados a 9,6 mL de uma mistura de clorofórmio/metanol (7:3) e, em seguida, 50 µL das soluções de cloreto de ferro e tiocianato de amônio foram adicionadas. A mistura foi agitada, incubada por 5 minutos no escuro e a absorbância foi lida a 500 nm em um espectrofotômetro DU-7-B340 (Beckman, Krefeld, Alemanha). O índice de peróxidos foi quantificado com base em uma curva padrão construída a partir de várias diluições de um padrão de peróxido de hidrogênio e expresso como miliequivalentes (meq) de hidroperóxido por kg de óleo (BAE e LEE, 2008).

3.5.7 Densidade aparente (“bulk density”)

Para as partículas selecionadas através dos planejamentos experimentais foram determinadas ainda as análises de densidade aparente, densidade real, porosidade, tamanho de partícula, microscopia eletrônica de varredura, molhabilidade, condições críticas de estocagem através das análises de isotermas de sorção e temperatura de transição vítrea e estudo da estabilidade através das análises de carotenoides totais, oxidação lipídica, cor e antioxidantes pelos métodos de DPPH e FRAP.

Para determinação da densidade aparente (ρ_{ap}), 2 g do pó foram transferidos para uma proveta graduada (10 mL). O pó foi compactado batendo-se a proveta 50 vezes sobre a bancada. A densidade foi calculada de acordo com a Equação 3.3.

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad [3.3]$$

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

3.5.8 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, EUA).

3.5.9 Porosidade

A porosidade (ε) dos pós foi determinada de acordo com a Equação 3.4.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_{abs}} \quad [3.4]$$

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

3.5.10 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., Reino Unido), utilizando isopropanol como líquido sedimentador, uma vez que a solubilização das partículas não ocorre neste líquido. Um ultra-som 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 99 % de isopropanol e submetida a 10 leituras de distribuição do tamanho de partículas.

3.5.11 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A microestrutura dos pós foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura. 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 Sputter Coater (Modelo SC7620, VG Microtech, Ringmer, Reino Unido), a uma taxa de recobrimento de $0,51 \text{ \AA/s}$, por 180 segundos, com corrente de 3-5 mA, 1 Volt e $2 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$. As amostras foram observadas com um LEO440i microscópio eletrônico de varredura (Leica Electron Microscopia Ltd., Oxford, Inglaterra). O MEV foi operado em 20 kV e 150 pA com uma ampliação de 3000x e 5000x.

3.5.12 Tempo de molhabilidade

O tempo de molhabilidade foi avaliada de acordo com o método descrito por Hla e Hogekamp (1999). O método consistia na queda de 1 g de pó sobre 400 g de água destilada a 25 °C, em bquer de 600 mL, e medição do tempo necessário para que todas as partículas molhassem, determinado visualmente utilizando um cronômetro.

3.6 Determinação das condições críticas de estocagem

O conteúdo de água e atividade de água críticos são aqueles quando a temperatura de transição vítrea (T_g) do produto é igual à temperatura ambiente. A estabilidade de um produto amorfo é fortemente ditada pela T_g , que depende das condições de estocagem, como atividade de água, umidade e temperatura. O uso combinado da equação de Gordon-Taylor com os modelos matemáticos que descrevem as curvas de sorção, possibilitando descrever o efeito plasticizante da água e avaliar a estabilidade dos alimentos foi sugerido por Roos (1993).

3.6.1 Isotermas de sorção

As umidades de equilíbrio das amostras em pó foram determinadas pelo método gravimétrico estático (LABUZA, 1984), utilizando-se soluções salinas saturadas em água destilada, para uma determinada faixa de umidade relativa, de acordo com a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Valores de A_w relacionados às soluções salinas saturadas a 25 °C.

Sal		A_w
Nome	Fórmula molecular	
Cloreto de lítio	LiCl	0,112
Acetato de potássio	CH ₃ COOK	0,226
Cloreto de magnésio	MgCl ₂	0,328
Carbonato de potássio	K ₂ CO ₂	0,432
Nitrato de magnésio	Mg(NO ₃) ₂	0,529
Iodeto de potássio	KI	0,689
Cloreto de sódio	NaCl	0,753
Cloreto de potássio	KCl	0,843

Fonte: Greenspan (1977).

As amostras foram colocadas em cadinhos de alumínio e, em seguida, armazenadas em potes herméticos com as respectivas soluções salinas para cada valor de umidade relativa desejada, a 25 °C. As amostras foram pesadas em balança analítica em intervalos regulares de tempo, até atingirem o equilíbrio (cerca de três semanas). Os dados experimentais obtidos foram ajustados pelos modelos de GAB, BET, Halsey, Oswin e Henderson (Seção 2.6).

Os parâmetros destas equações foram determinados através de uma análise de regressão não linear dos dados experimentais, realizada pelo *software* Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA), usando como método de ajuste Quasi-Newton. Os critérios de escolha dos melhores ajustes dos modelos aos dados experimentais foram o coeficiente de determinação entre as respostas observadas e os valores preditos pelo modelo e o módulo do desvio relativo médio DRM (Equação 3.5).

$$DRM = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_p - V_0|}{V_0} \quad [3.5]$$

Onde: DRM é o desvio relativo médio (%); V_p são os V_p valores preditos pelo modelo; V_0 são os valores observados experimentalmente; N é o número de pontos experimentais.

3.6.2 Temperatura de transição vítrea

As temperaturas de transição dos pós de polpa de pequi e leite de coco babaçu com diferentes atividades de água foram determinadas. Para isso, cerca de 5 mg de pó foram colocadas em cápsulas de alumínio de 20 μ L e armazenadas em potes herméticos com soluções salinas saturadas em água destilada a 25 °C (Tabela 3.11). Alcançado o equilíbrio, as cápsulas de alumínio foram pesadas e fechadas hermeticamente.

O calorímetro empregado foi um TA-MDSC-2920 (TA Instruments, New Castle, EUA) com resfriamento controlado por um resfriador mecânico RCS (Refrigerated Cooling Accessory). A calibração do equipamento foi feita com índio ($T_{\text{fusão}} = 156,6$ °C) e uma verificação foi realizada com azobenzol ($T_{\text{fusão}} = 68,0$ °C), utilizando-se hélio como gás de purga, com vazão constante de 25 mL/min.

Inicialmente, a amostra foi resfriada à uma taxa de 10 °C/min até -70 °C, mantendo-se esta temperatura por 3 minutos e, em seguida, foi aquecida até 140 °C à uma taxa de 10 °C/min. Uma segunda corrida de cada amostra foi realizada de modo a reduzir os efeitos da entalpia de relaxação que aparecem na primeira corrida.

As análises foram realizadas em triplicata e a temperatura de transição vítrea foi calculada com o auxílio do *software* Universal Analysis 2.6 (TA Instruments, New Castle, EUA).

Para descrever o efeito plasticizante da água no produto, o modelo de Gordon-Taylor (GORDON e TAYLOR, 1952) foi ajustado aos valores experimentais de temperatura de transição vítrea (Equação 3.6).

$$T_g = \frac{w_1 \times T_{g1} + K_{GT} \times w_2 \times T_{g2}}{w_1 + K_{GT} \times w_2} \quad [3.6]$$

Onde: w_1 é fração de sólidos (g sólidos/g total); w_2 é fração de água (g água/g total); T_{g1} é T_g dos sólidos (°C); T_{g2} é T_g da água (°C) e K_{GT} é constante do modelo. A T_{g2} foi considerada como sendo -135 °C (JOHARI et al., 1987).

Os parâmetros da equação foram obtidos através de uma regressão não linear, utilizando o *software* Statistica 9.0 (Statsoft, Tulsa, EUA). Os critérios de escolha dos melhores ajustes foram o coeficiente de determinação (R^2) e o módulo do desvio relativo médio (DRM) (Equação 3.5).

3.7 Estudo da estabilidade

Para a avaliação da estabilidade, amostras contendo 10 g de pó de polpa de pequi ou leite de coco babaçu foram colocadas em placas de Petri de 100 mm de diâmetro, apresentando uma ampla superfície exposta ao ar, durante a estocagem. As placas foram armazenadas em dessecadores herméticos contendo soluções saturadas de CH_3COOK e de K_2CO_2 , de forma a criarem ambientes com umidades relativas iguais a 22,6 % e 43,2 %, respectivamente. Estas umidades relativas foram escolhidas com base nas atividades de equilíbrio críticas determinadas nas etapas de T_g e isothermas, de modo a não ultrapassarem 61,5 %, que foi a menor umidade relativa crítica obtida. Os dessecadores foram armazenados em duas temperaturas diferentes: 25 °C, representando a temperatura ambiente, e 35 °C, uma das temperaturas recomendadas por Labuza e Schmidl (1985) para estudos de estabilidade acelerada. As luzes da sala de armazenamento foram mantidas acesas dia e noite durante a estocagem.

As amostras foram analisadas a cada 15 dias, durante 120 dias, com relação ao teor de carotenoides e à atividade antioxidante para pequi e, oxidação lipídica e cor para o pequi e leite de coco babaçu. A constante de velocidade de reação (k) e o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) foram determinados conforme o modelo da cinética adequado para cada análise estudada.

Também foi calculado o fator Q_{10} (Equação 3.7), que relaciona as constantes de velocidade de reação obtidas em duas temperaturas diferentes, sendo a diferença igual a 10 °C. De acordo com Labuza e Schmidl (1985), quando se conhece o valor de Q_{10} , pode-se fazer a extrapolação para temperaturas maiores ou menores, de acordo com as condições encontradas durante o transporte e distribuição do produto e, dessa forma, predizer sua estabilidade durante a vida de prateleira.

$$Q_{10} = \frac{k_{(T)}}{k_{(T-10)}} \quad [3.7]$$

Onde: $k_{(T)}$ é velocidade de reação a uma determinada temperatura e $k_{(T-10)}$ é velocidade de reação a uma temperatura 10 °C mais baixa.

3.7.1 Cor

A determinação dos parâmetros para a análise de cor foi feita utilizando um colorímetro Hunter Lab (Color Quest XE 2819, EUA). A calibração foi feita utilizando-se como sistema de referência o módulo de Reflectância Especular Excluída (RSEX) e operando com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°, através do sistema de leitura de três parâmetros, no espaço CIE (Comission Internationale de L'Eclairage) L^* , a^* e b^* . As medidas de cor foram expressas em termos da luminosidade L^* ($L^* = 0$ preto e $L^* = 100$ branco) e da cromaticidade definida por a^* ($+a^*$ = vermelho e $-a^*$ = verde) e b^* ($+b^*$ = amarelo e $-b^*$ = azul). A diferença de cor total em função do tempo de estocagem (ΔE^*) foi calculada de acordo com a Equação 3.8 utilizando os parâmetros do pó inicial como padrão.

$$\Delta E^* = \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{0.5} \quad [3.8]$$

As coordenadas a^* e b^* também foram usados para calcular ângulo da totalidade (h°) e croma (C^*) a partir das Equações 3.9 e 3.10. Para a leitura, as amostras foram colocadas em uma cubeta de quartzo cúbica de 50 mm³.

$$h^{\circ} = \tan^{-1}\left(\frac{b^{*}}{a^{*}}\right) \quad [3.9]$$

$$C^{*} = \left(a^{*2} + b^{*2}\right)^{1/2} \quad [3.10]$$

3.7.2 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi analisada utilizando-se duas metodologias distintas, DPPH e FRAP.

3.7.2.1 DPPH

A determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH foi realizado utilizando a metodologia descrita por Rufino et al. (2007), sendo a atividade sequestrante de radicais livres dos extratos determinada utilizando-se o radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH). O DPPH é um radical livre estável que aceita um elétron ou um radical hidrogênio podendo ser reduzido na presença de um antioxidante.

A extração foi realizada colocando-se 2 g de amostra, 40 mL de metanol 50 % e 40 mL de acetona 50 % em um balão volumétrico. O volume foi completado a 100 mL com água destilada.

Alíquotas de 0,1 mL destes extratos foram colocadas em diferentes tubos de ensaios e adicionadas de 3,9 mL da solução de DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila) em álcool metílico. Após agitação, os tubos foram deixados em repouso ao abrigo da luz e, após 60 minutos, a absorbância foi medida a 515 nm em um espectrofotômetro (Modelo DU-7-B340, Beckman, Krefeld, Alemanha). O álcool metílico foi usado como branco, para calibrar o espectrofotômetro.

A mesma análise foi feita para soluções de Trolox em várias diluições, permitindo a construção de uma curva padrão. Os resultados foram expressos em μmol de Trolox Equivalente (TE) por g de sólidos de pequi.

3.7.2.2 FRAP

A determinação da atividade antioxidante pelo método FRAP foi feita utilizando a metodologia descrita por Rufino et al. (2006). Este método foi escolhido por se mostrar eficiente e reprodutível para quantificação da atividade antioxidante em frutas. É baseado na habilidade de redução do ferro. Em meio ácido, o complexo férrico tripiridiltiazina (TPTZ) é reduzido a sua forma ferrosa de intensa cor azul na presença de antioxidantes, causando um aumento na absorbância a 595 nm.

Para preparo do reagente FRAP, misturou-se 25 mL de tampão acetato 0,3 M (pH 3,6), 2,5 mL de uma solução de TPTZ 10 mM (preparada com HCl 40 mM) e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20 mM.

A extração foi realizada colocando-se 2 g de amostra, 40 mL de metanol 50 % e 40 mL de acetona 50 % em um balão volumétrico. O volume foi completado a 100 mL com água destilada. Uma alíquota de 90 µL de cada extrato diluído foi transferida para tubos de ensaio, juntamente com 270 µL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP recém preparado. Esta mistura foi homogeneizada e mantida em banho-maria a 37 °C. Decorridos 30 minutos, foi realizada a leitura a 595 nm em espectrofotômetro (Modelo DU-7-B340, Beckman, Krefeld, Alemanha). O reagente FRAP foi utilizado como branco para calibrar o espectrofotômetro. Para a quantificação da atividade antioxidante foi construída uma curva padrão, utilizando soluções aquosas de Fe (II) na faixa de concentração de 500–2000 µM. A determinação da atividade antioxidante foi expressa em µM sulfato ferroso/g sólidos de pequi.

3.8 Análise Estatística dos dados

Os resultados das análises físico-químicas das matérias-primas e dos pós foram avaliados estatisticamente através da 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).

Os resultados do delineamento composto central rotacional foram avaliados utilizando o *software* Statistica 9.0, com a finalidade de assegurar a validade dos coeficientes dos modelos obtidos 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.

Os parâmetros das equações de isothermas de sorção e temperatura de transição vítrea foram determinados através de uma análise de regressão não linear dos dados experimentais, realizada pelo *software* Statistica 9.0, usando o método de ajuste Quasi-Newton. O critério de seleção do melhor ajuste dos dados experimentais foi o coeficiente de determinação entre as respostas observadas e os valores preditos pelo modelo e o módulo do desvio relativo médio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Polpa de pequi

4.1.1 Caracterização físico-química

A composição físico-química da polpa pequi utilizada nos ensaios de secagem está apresentada na Tabela 4.1. Os dados correspondem à média de, no mínimo, cinco determinações, juntamente com seu desvio padrão.

Lima (2008) e Vilas Boas (2004) encontraram valores de umidade na faixa de 41,5 % e 49,2 %; proteína na faixa de 3,0 % e 4,5 %; cinzas na faixa de 0,6 % e 9,4 %; carboidratos na faixa de 11,4 % e 18,9 % e, lipídeos na faixa de 33,4 % e 20,5 %, respectivamente. Estes valores são similares aos encontrados neste trabalho. Arévalo-Pinedo et al. (2010) encontraram para a composição centesimal da polpa de pequi valores de 56,8 % de umidade, 3,1 % de proteína, 2,2 % de cinzas, 16,2 % de fibras totais e 21,7 % de lipídeos.

A polpa de pequi constitui uma importante fonte de fibra alimentar. Isto demonstra que o consumo dela poderá trazer benefícios à saúde da população, uma vez que o consumo regular de fibra alimentar na dieta está relacionado com a redução da fração LDL-colesterol no plasma, com a redução da resposta glicêmica e insulinêmica pós-prandiais, com a melhoria da função do intestino grosso e com a prevenção de alguns tipos de câncer (MICHELS et al., 2005). Os resultados encontrados neste trabalho para fibra alimentar estão de acordo com os publicados por TACO (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 2006), Lima et al. (2007a), Arévalo-Pinedo et al. (2010), Oliveira et al. (2010) e Machado (2011). Valores inferiores foram publicados por Vilas Boas (2004) e Lima (2008). Essas variações em comparação com os valores obtidos podem ser atribuídas ao estado de maturação, diferentes condições climáticas, localização geográfica da produção, estação do ano, condições de plantio e o manuseio pós-colheita, que podem afetar a composição química dos frutos.

Tabela 4.1 - Composição físico-química da polpa pequi.

Componentes	Média ± Desvio padrão
Umidade (% base úmida)	52,33±0,02
Proteínas (%)	5,08±0,03
Lipídeos (%)	30,66±0,75
Cinzas (%)	1,22±0,001
Carboidratos Totais (%)	10,71±1,05
Fibra alimentar(%)	18,37±0,67
Açúcares Totais (%)	5,30±0,04
Açúcares Redutores (%)	5,04±0,71
Sólidos Solúveis Totais da polpa (°Brix)	20,09±0,78
Sólidos Solúveis Totais do extrato (°Brix)	8,49±0,47
Acidez Titulável Total (% ácido cítrico)	1,50±0,14
Relação SST/ATT da polpa	13,39±0,69
pH	6,97±0,17

Neste trabalho foi encontrado 13,39 para a relação SST/ATT. Essa relação SST/ATT correlaciona-se com o sabor das frutas e é um índice mais representativo que a medição isolada dos açúcares ou da acidez (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Um aumento na relação SST/ATT pode significar uma melhoria do sabor na maioria dos frutos, de vez que um equilíbrio entre açúcares e ácidos pode ser mais importante que o nível de cada um isoladamente (FIGUEIREDO, 2000).

A relação SST/ATT nas frutas aumenta com o desenvolvimento e maturação devido ao aumento dos sólidos solúveis e a estabilidade da ATT.

Verifica-se também que o pH natural da polpa é de 6,97 sendo classificado como alimento de baixa acidez, ou seja, apresenta pH acima de 4,5. Arévalo-Pinedo et al. (2010) encontraram valor de pH de 7,36 para polpa de pequi *in natura*.

4.1.2 Secagem por aspersão

De acordo com que está descrito no item 3.4.1.1, a secagem da polpa de pequi foi realizada de acordo com três delineamentos compostos centrais rotacionais 2^3 completo, com 8 pontos fatoriais, 3 pontos centrais e 6 pontos axiais, totalizando 17 ensaios. Estes planejamentos tiveram como objetivo avaliar a influência das variáveis: temperatura do ar de entrada no secador, concentração de surfactante *Tween* 80 e concentração de agente carreador (goma arábica, maltodextrina e dextrina), sobre as respostas: rendimento do processo, umidade, higroscopicidade, atividade de água, vitamina C e carotenoides totais. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 4.2 a 4.4. Durante os experimentos, foram monitoradas (de cinco em cinco minutos) a temperatura de saída (T_s), temperatura ambiente (T_a) e umidade relativa (UR) de cada ensaio, com o intuito de verificar a variação destas variáveis sobre o produto em pó.

Os níveis escolhidos para os planejamentos com polpa de pequi foram selecionados com base nos testes preliminares apresentados no Apêndice A. Foram realizados 12 testes nos quais os ensaios com alta vazão de alimentação e quando foram utilizados amido de milho simples como carreador não houve a formação de pó. Os demais ensaios apresentaram formação de pó, porém os rendimentos de secagem obtidos eram muito baixos, com isto, resolveu-se utilizar surfactantes como Span 80, Span 85, *Tween* 20 e *Tween* 80. Destes surfactantes, foi escolhido o *Tween* 80 por apresentar melhor rendimento de secagem e apresentar visualmente melhor conservação dos carotenoides.

As respostas dos planejamentos experimentais foram escolhidas por apresentar importância para processamento, armazenamento e embalagem da polpa de pequi.

Tabela 4.2 - Respostas do planejamento experimental para polpa de pequi em pó utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Ensaio	Variáveis dependentes						Variáveis monitoradas		
	Umidade (%)	Higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos)	Rendimento (%)	A _w	Vitamina C (mg/100g sólidos de pequi)	Carotenoides totais (mg/100g sólidos de pequi)	T _s (°C)	T _a (°C)	UR (%)
1	1,44±0,01	10,69±0,01	52,97	0,15±0,01	150,96±0,86	54,11±0,01	108,1±0,1	31,8±0,5	33,5±0,4
2	0,98±0,02	12,32±0,01	32,96	0,09±0,02	281,70±0,55	40,67±0,02	139,0±0,1	23,8±0,9	41,5±0,5
3	0,92±0,03	11,69±0,01	50,92	0,11±0,01	263,70±0,57	15,43±0,03	111,8±0,2	24,8±0,3	38,3±0,9
4	0,74±0,02	11,55±0,02	45,22	0,08±0,03	169,89±0,89	42,46±0,02	136,9±0,3	25,8±0,1	36,2±0,3
5	0,69±0,03	10,67±0,04	56,14	0,08±0,01	306,57±0,60	74,25 ±0,04	108,0±0,3	27,4±0,6	34,0±0,8
6	1,10±0,01	12,70±0,01	29,58	0,10±0,02	272,76±0,81	58,36±0,01	137,5±0,1	27,2±0,4	38,8±0,1
7	1,84±0,03	12,75±0,04	32,26	0,11±0,01	160,71±0,63	71,36±0,04	113,0±0,2	26,2±0,1	45,5±0,1
8	1,82±0,04	12,54±0,01	25,78	0,13±0,001	112,95±0,75	59,76±0,04	142,1±0,3	27,7±0,7	40,5±0,4
9	1,43±0,03	11,39±0,01	35,06	0,13±0,02	227,05±0,55	58,67±0,02	102,2±0,2	24,5±0,2	50,5±0,3
10	1,86±0,02	12,11±0,01	38,57	0,17±0,01	164,25±0,87	10,91±0,01	149,0±0,3	25,6±0,3	48,0±0,2
11	1,31±0,01	11,54±0,04	37,34	0,10±0,04	282,21±0,19	40,98±0,01	126,0±0,1	26,7±0,1	45,6±0,7
12	1,31±0,04	12,40±0,02	37,33	0,08±0,01	143,91±0,81	24,78±0,02	126,2±0,1	27,8±0,1	36,5±0,6
13	1,31±0,02	11,55±0,01	47,29	0,08±0,03	228,50±0,67	22,13±0,03	127,0±0,4	28,8±0,9	32,0±0,8
14	0,34±0,02	14,34±0,01	45,07	0,07±0,01	211,96±0,51	15,27±0,01	126,0±0,3	29,0±0,3	28,0±0,1
15	0,71±0,02	13,75±0,02	47,32	0,08±0,02	215,05±0,72	35,22±0,01	124,0±0,1	29,1±0,2	31,0±0,2
16	0,70±0,02	13,62±0,02	47,23	0,09±0,01	218,63±0,52	34,91±0,01	125,0±0,1	29,1±0,3	35,0±0,3
17	0,69±0,01	13,66±0,01	46,98	0,08±0,02	220,27±0,79	33,97±0,01	125,0±0,1	27,3±0,4	34,5±0,3

Tabela 4.3 - Respostas do planejamento experimental para polpa de pequi em pó utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Ensaio	Variáveis dependentes						Variáveis monitoradas		
	Umidade (%)	Higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos)	Rendimento (%)	A _w	Vitamina C (mg/100g sólidos de pequi)	Carotenoides totais (mg/100g sólidos de pequi)	T _s (°C)	T _a (°C)	UR (%)
1	0,89±0,03	10,13±0,01	45,66	0,09±0,02	302,97±0,63	94,90±0,03	111,0±0,2	26,5±0,2	42,0±1,1
2	0,91±0,01	11,43±0,01	44,79	0,10±0,01	258,56±0,84	55,86±0,01	140,0±0,1	27,7±0,5	35,0±1,0
3	0,55±0,01	10,88±0,01	39,19	0,06±0,01	129,84±0,45	60,38±0,02	111,0±0,2	29,2±0,3	32,0±0,2
4	1,05±0,01	11,97±0,01	44,82	0,10±0,01	137,32±0,61	42,07±0,03	140,0±0,7	29,9±0,1	32,0±0,1
5	0,80±0,03	12,10±0,02	37,67	0,08±0,03	251,33±0,14	43,48±0,04	110,0±0,5	29,9±0,6	33,0±0,6
6	0,84±0,03	11,34±0,01	48,73	0,13±0,01	263,80±0,35	35,30±0,02	135,0±0,4	24,5±0,4	59,0±0,2
7	1,11±0,02	11,29±0,01	46,17	0,10±0,03	143,49±0,63	20,18±0,01	108,0±0,2	25,8±0,1	53,0±0,3
8	1,03±0,03	12,07±0,02	46,79	0,14±0,01	164,69±0,71	12,39±0,01	132,0±0,1	26,5±0,7	50,5±0,3
9	1,43±0,01	9,12±0,01	38,88	0,18±0,01	167,21±0,59	38,80±0,02	99,0±0,2	24,9±0,3	67,0±0,4
10	0,66±0,01	11,09±0,03	46,22	0,14±0,01	232,27±0,97	11,22±0,01	140,0±0,4	25,8±0,3	63,0±0,1
11	0,65±0,01	11,22±0,02	46,69	0,17±0,04	288,45±0,94	36,15±0,01	119,0±0,3	26,5±0,1	60,5±0,3
12	1,37±0,01	10,50±0,01	33,97	0,14±0,01	142,04±0,31	34,05±0,02	117,0±0,2	27,6±1,0	53,0±0,4
13	1,18±0,01	9,29±0,01	51,74	0,21±0,02	239,10±0,12	34,44±0,03	111,0±0,4	28,5±0,3	47,0±0,8
14	0,25±0,01	10,38±0,01	27,43	0,15±0,01	137,32±0,43	8,18±0,001	107,5±0,3	28,7±0,3	47,0±0,2
15	0,26±0,01	12,02±0,01	42,25	0,13±0,02	185,91±0,87	30,78±0,01	106,5±0,2	28,4±0,2	46,0±1,1
16	0,25±0,01	12,15±0,05	42,86	0,13±0,02	184,82±0,79	30,54±0,01	110,0±0,1	25,3±0,3	52,0±1,0
17	0,29±0,01	12,13±0,01	42,08	0,14±0,01	185,21±0,78	30,54±0,01	110,0±0,2	26,2±0,1	49,0±0,8

Tabela 4.4 - Respostas do planejamento experimental para polpa de pequi em pó utilizando dextrina como agente encapsulante.

Ensaio	Variáveis dependentes						Variáveis monitoradas		
	Umidade (%)	Higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos)	Rendimento (%)	A _w	Vitamina C (mg/100g sólidos de pequi)	Carotenoides totais (mg/100g sólidos de pequi)	T _s (°C)	T _a (°C)	UR (%)
1	1,05±0,01	10,13±0,01	45,66	0,09±0,02	302,97±0,63	94,90±0,03	95,0±0,5	27,0±0,4	46,0±0,1
2	0,91±0,01	11,43±0,01	44,79	0,10±0,01	258,56±0,84	55,86±0,01	111,0±0,6	28,0±0,8	44,0±1,0
3	0,55±0,01	10,88±0,01	39,19	0,06±0,01	129,84±0,45	60,38±0,02	88,0±0,6	30,9±0,3	37,0±0,2
4	1,05±0,01	11,97±0,01	44,82	0,10±0,01	137,32±0,61	42,07±0,03	114,0±1,0	24,5±0,1	66,0±1,0
5	0,80±0,03	12,10±0,02	37,67	0,08±0,03	251,33±0,14	43,48±0,04	93,0±0,3	25,8±0,2	65,0±1,3
6	0,84±0,03	11,34±0,01	48,73	0,13±0,01	263,80±0,35	35,30±0,02	115,0±1,0	26,3±0,4	63,0±0,1
7	1,11±0,02	11,29±0,01	46,17	0,10±0,03	143,49±0,63	20,18±0,01	94,0±1,2	26,8±0,1	64,0±1,1
8	1,03±0,03	12,07±0,02	46,79	0,14±0,01	164,69±0,71	12,39±0,01	115,0±0,4	27,3±0,7	63,0±0,3
9	1,43±0,01	9,12±0,01	38,88	0,18±0,01	167,21±0,59	38,80±0,02	82,0±0,2	27,1±1,0	62,0±0,3
10	0,66±0,01	11,09±0,03	46,22	0,14±0,01	232,27±0,97	11,22±0,01	115,0±0,7	27,1±0,3	62,0±1,0
11	0,65±0,01	11,22±0,02	46,69	0,17±0,04	288,45±0,94	36,15±0,01	105,0±0,2	24,2±0,1	65,0±0,7
12	1,37±0,01	10,50±0,01	33,97	0,14±0,01	142,04±0,31	34,05±0,02	105,0±0,9	24,9±0,2	66,5±1,2
13	1,18±0,01	9,29±0,01	51,74	0,21±0,02	239,10±0,12	34,44±0,03	102,0±0,4	25,5±0,9	69,0±0,8
14	0,25±0,01	10,38±0,01	27,43	0,15±0,01	137,32±0,43	8,18±0,001	102,0±0,3	24,9±0,3	69,0±1,2
15	0,26±0,01	12,02±0,01	42,25	0,13±0,02	185,91±0,87	30,78±0,01	100,0±0,2	25,5±0,9	69,0±0,4
16	0,25±0,01	12,15±0,05	42,86	0,13±0,02	184,82±0,79	30,54±0,01	97,0±0,1	25,0±0,8	67,0±1,0
17	0,29±0,01	12,13±0,01	42,08	0,14±0,01	185,21±0,78	30,54±0,01	95,0±0,1	25,4±0,9	67,0±0,3

Para a análise estatística, foram calculados a estimativa dos efeitos sobre as respostas estudadas, o erro padrão, o coeficiente t e a significância estatística (p -valor).

No Apêndice B são encontrados os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e das interações das respostas analisadas, assim como o erro, o coeficiente t e a significância estatística. Após a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste a um nível de significância de 10 %, através de uma Análise de Variância (ANOVA), utilizando o teste F para cada planejamento experimental estudado.

Nas Figuras 4.1 a 4.3, estão apresentadas as imagens com os 17 pós dos ensaios dos planejamentos experimentais estudados.

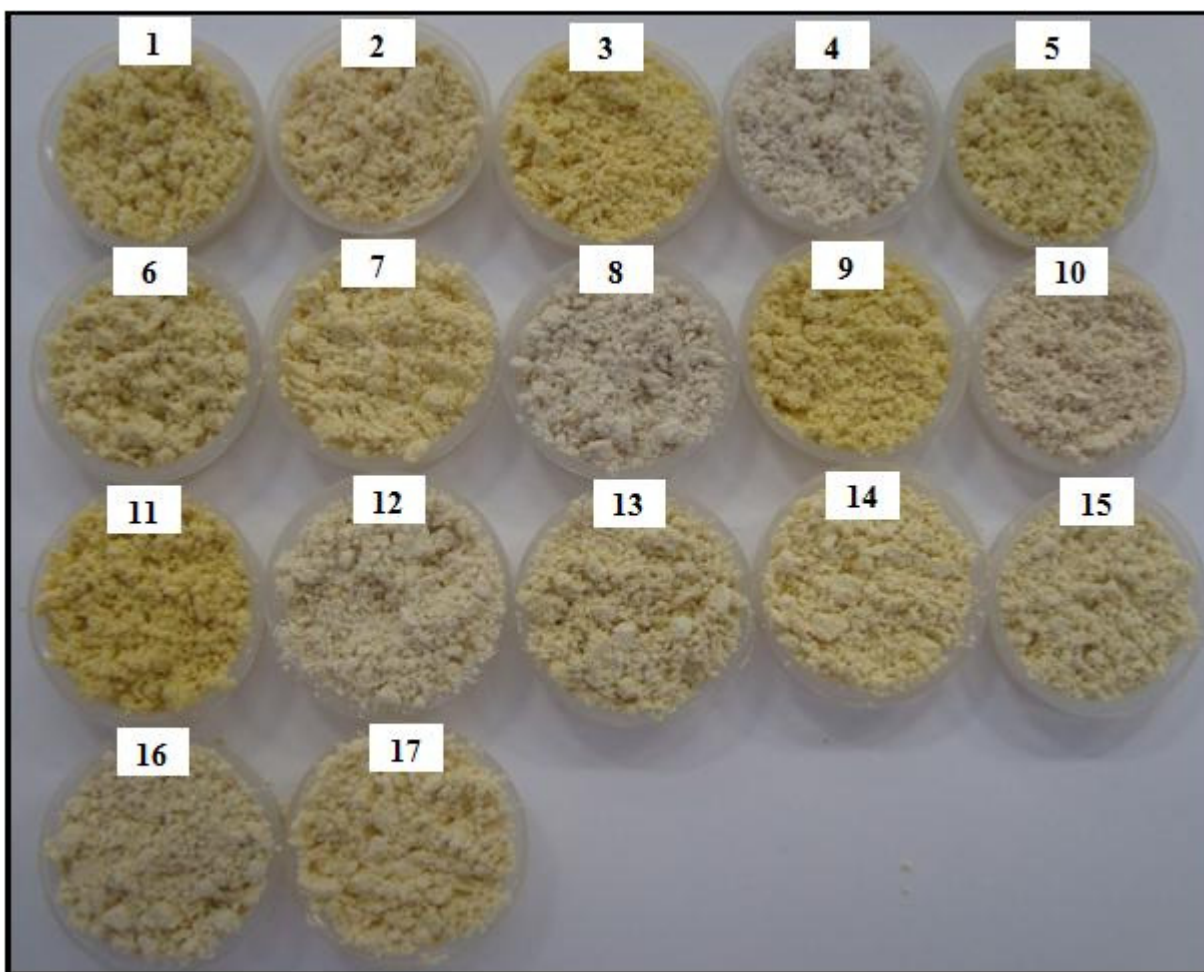


Figura 4.1 - Pós dos 17 ensaios de polpa de pequi microencapsulado com goma arábica.

Como pode ser visualizado nesta figura (Figura 4.1), alguns pós perderam quase que totalmente o pigmento amarelo predominante da polpa de pequi. Isto pode ter ocorrido devido às altas temperaturas e concentrações de surfactantes (ensaios 4, 8, 10 e 12).

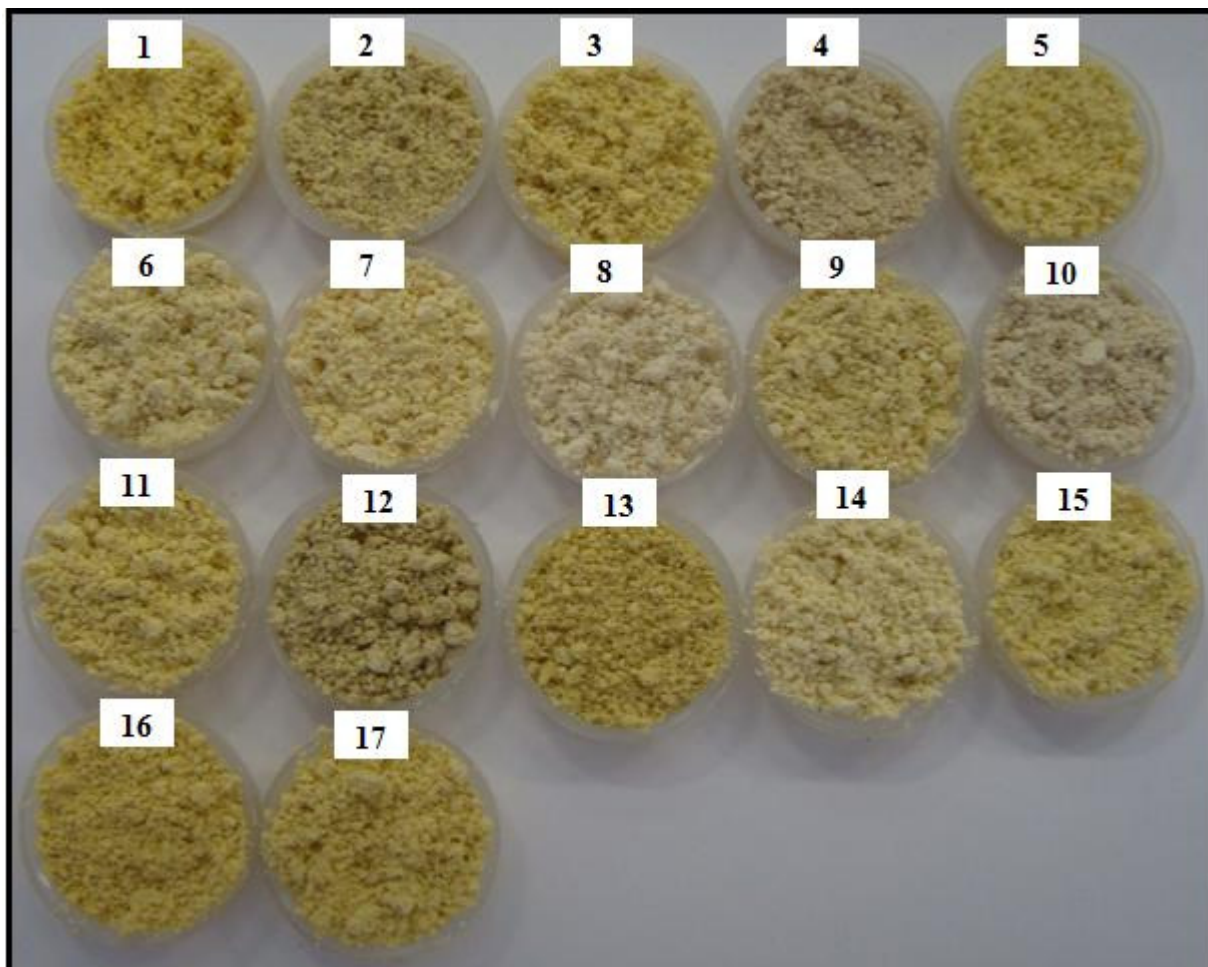


Figura 4.2 - Pós dos 17 ensaios de polpa de pequi microencapsulado com maltodextrina.

Os pós da polpa de pequi com maltodextrina apresentaram cores variadas dependendo da temperatura do ar de entrada no secador, concentração de surfactante e carreador. A temperatura de entrada e a concentração de agente carreador foram os parâmetros que mais influenciaram na cor da polpa de pequi em pó.

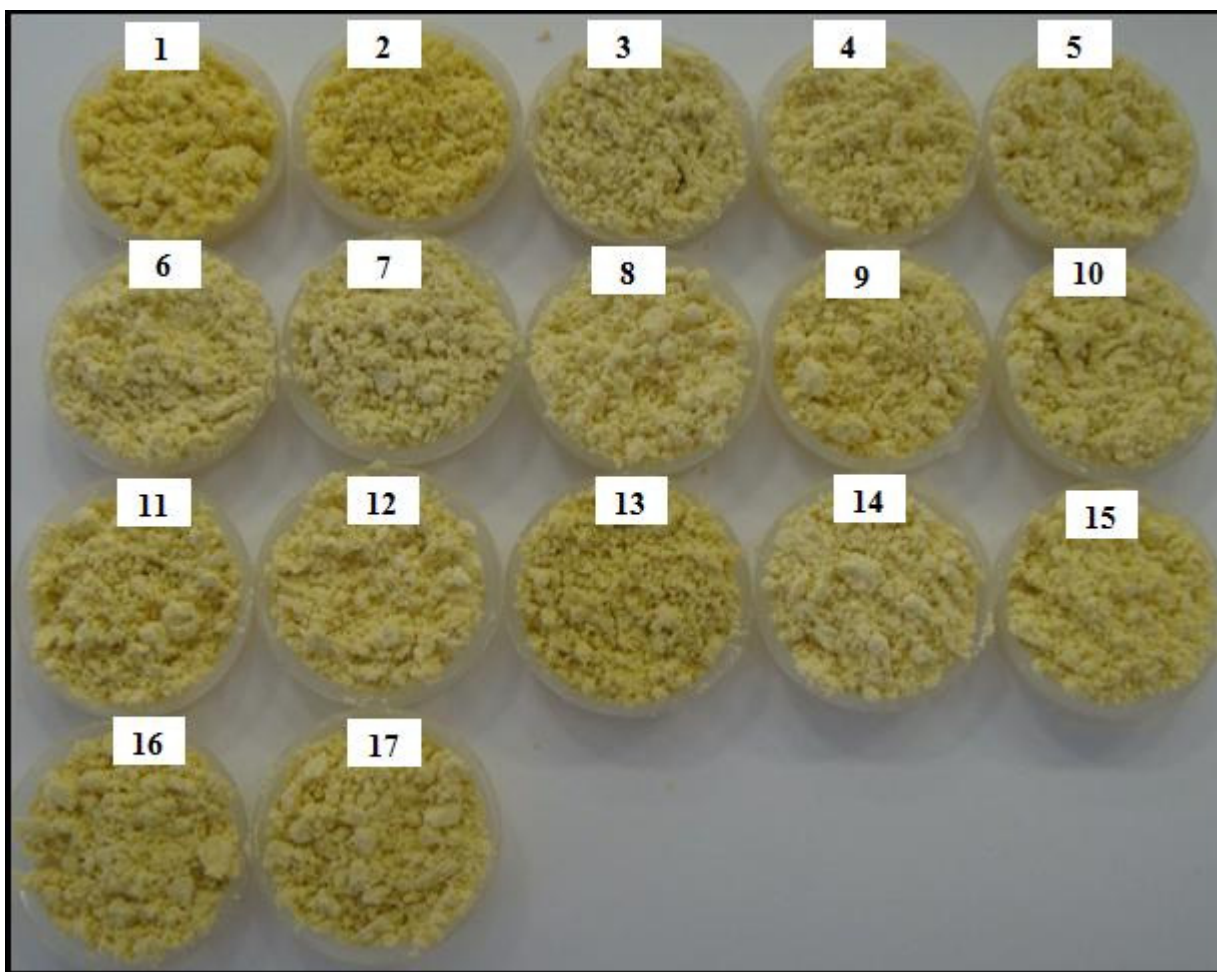


Figura 4.3 - Pós dos 17 ensaios de polpa de pequi microencapsulado com dextrina.

Os pós obtidos do planejamento experimental com dextrina preservaram mais a cor predominante da polpa pequi *in natura* quando comparados com os pós obtidos nos planejamentos experimentais com goma arábica e maltodextrina.

4.1.2.1 Umidade dos pós de polpa de pequi

Todos os pós produzidos mostraram umidades inferiores a 2 % (Tabelas 4.6 a 4.8), que está de acordo com resultados publicados por Quek et al. (2007), Goula e Adamopoulos (2008a), Tonon et al. (2008 e 2011a), Ferrari et al. (2012a,b) em secagem por *spray dryer* de melancia, polpa de tomate, açaí e amora em pó, respectivamente. A umidade é o principal fator que afeta a estabilidade dos pós. Como a água funciona como um plastificante, apenas

uma pequena quantidade é necessária para mudar a temperatura de transição vítrea, o que aumenta a mobilidade da matriz alimentar durante o armazenamento e provoca alterações nos produtos em pó (Moreira et al., 2009; Goula e Adamopoulos, 2010).

Para os pós encapsulados com goma arábica (Tabela B.1) e maltodextrina (Tabela B.3), a temperatura de entrada de ar no secador foi o fator que mais influenciou a umidade final do produto, seguida pela concentração de surfactante, apresentando efeitos positivos. Para os pós com goma arábica, a interação concentração de surfactante $\times$ concentração de goma arábica foi significativa a 90 % de confiança. Por outro lado, para os pós encapsulados com dextrina (Tabela B.5) os parâmetros estudados não apresentaram significância para a resposta. Isto indica que qualquer ensaio experimental realizado dentro da faixa em estudo para temperatura do ar de entrada, concentração de surfactante e concentração de dextrina resultará na formação de um produto com umidade média igual a 1,3% .

O modelo codificado proposto para representar a umidade das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, dentro dos limites de temperatura, concentração de surfactante e concentração de agente estudado é descrito pela Equação 4.1.

$$Umidade [\%] = 0,63 + 0,37 T_{ent}^2 + 0,25 C_S^2 + 0,25 C_S \times C_{GA} \quad [4.1]$$

Onde: T_{ent} , C_S e C_{GA} representam as variáveis temperatura do ar de entrada, concentração de surfactante *Tween* 80 e concentração de goma arábica.

A Figura 4.4 mostra as superfícies de resposta geradas através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios de concentração de agente carreador, concentração de surfactante e temperatura de entrada no secador. De acordo com a figura, umidades mais baixas foram obtidas no ponto central da temperatura de entrada e concentração de surfactante.

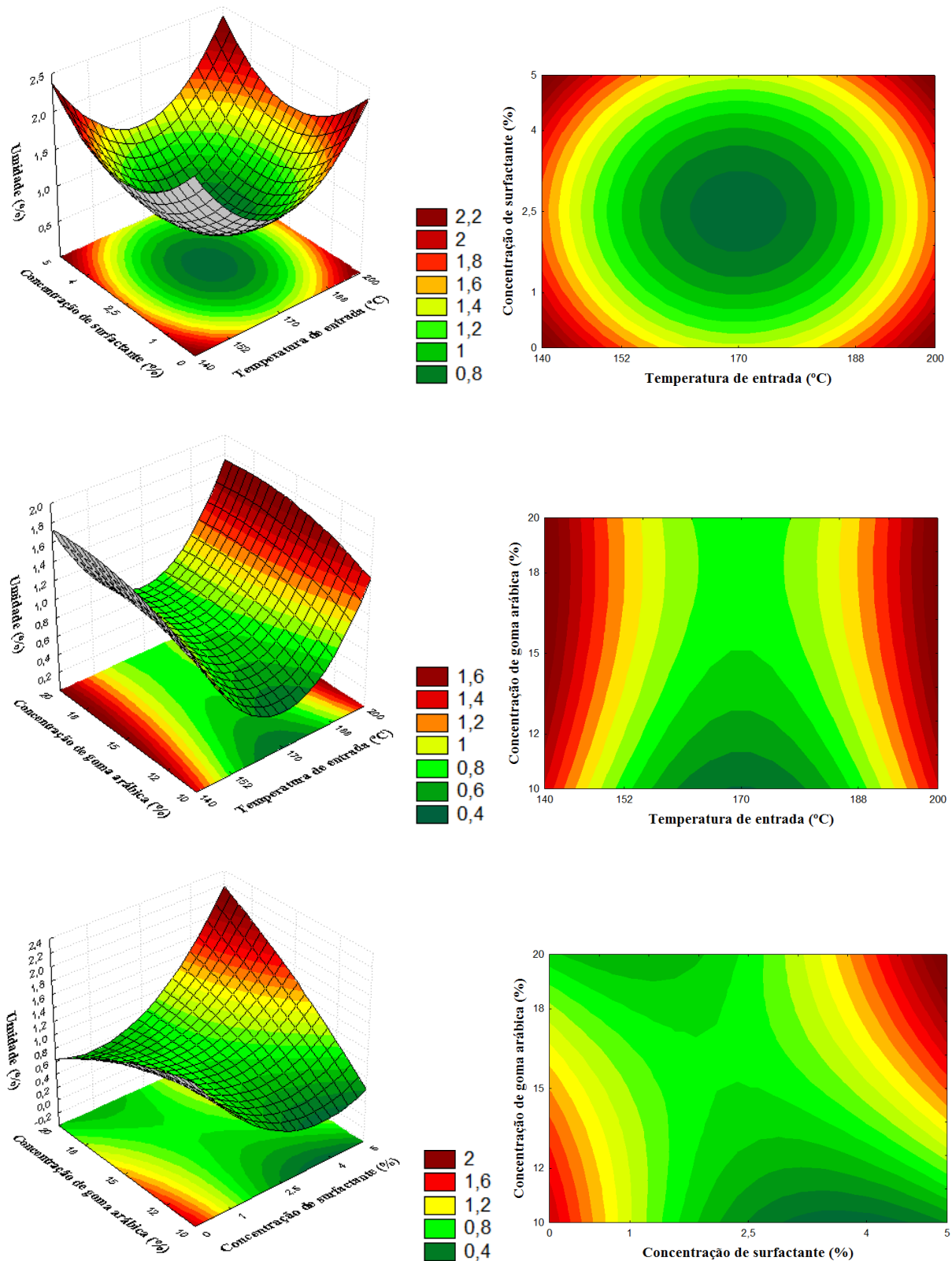


Figura 4.4 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta umidade (%) dos pós de polpa de pequi encapsulados com goma arábica.

No caso da temperatura de entrada do secador, pesquisas mostram que temperaturas maiores de secagem produzem produtos com menor umidade devido ao maior gradiente de temperatura entre o ar de secagem e a solução a secar.

Quek et al. (2007), Rattes e Oliveira (2007), Ersus e Yurdagel (2007), Osman e Endut (2009), Goula e Adamopoulos (2010), Tonon et al. (2011a), Karaaslan e Dalgiç (2012) em seus trabalhos com melancia, diclofenaco de sódio, cenoura preta, abacaxi, laranja, açaí e extrato de *Glycyrrhiza glabra*, respectivamente, secos em *spray dryer*, observaram que a umidade diminuiu com o aumento da temperatura de secagem, que está relacionada com a transferência de calor entre o produto e o ar de secagem.

Entretanto, neste trabalho, as umidades mais baixas foram registradas em torno de 170 °C (ponto central do planejamento experimental). De acordo com Goula e Adamopoulos (2008b) e Seydel et al. (2006), o aumento na temperatura de secagem aumenta não só a difusão de vapor de água, mas também a contração da estrutura da partícula, formando-se uma superfície de maior espessura que dificulta a difusão do vapor de água contido no interior da partícula. Além do mais, como a taxa de evaporação é maior, conforme aumenta o gradiente de temperatura, uma atmosfera saturada de vapor de água é formada ao redor da partícula, o que dificulta também a difusão da água localizada no interior da partícula para o ar de secagem, consequentemente, temperaturas mais altas podem gerar partículas mais úmidas.

4.1.2.2 Atividade de água dos pós de polpa de pequi

Os valores de atividade de água das partículas para todos os ensaios dos planejamentos experimentais com goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente carreador, variaram de 0,07 a 0,17, 0,06 a 0,21 e 0,13 a 0,30, respectivamente (Tabelas 4.6 a 4.8). Estes valores estão dentro do limite de 0,30, que segundo Fennema (1996) é muito positivo para a estabilidade de pós. O escurecimento não enzimático, uma das principais reações de deterioração, apresenta velocidade muito baixa nesta faixa de A_w . Porém, a atividade de água pode afetar a estabilidade oxidativa dos lipídeos (polpa de pequi apresentava cerca de 30 % de lipídeos). A velocidade de oxidação aumenta para valores inferiores e

superiores a faixa de 0,20-0,30 de A_w (SILVA et al., 1999). Faixas semelhantes de A_w foram obtidos por Tonon et al. (2011a) em secagem por aspersão de pó de açaí.

Nas Tabelas B.6, B.8 e B.9 do Apêndice B estão apresentados os efeitos para a atividade de água da polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Os parâmetros estudados para os pós com maltodextrina e dextrina não apresentaram significância ($p \leq 0,10$) para a resposta estudada, indicando que para qualquer ensaio dentro da faixa em estudo para temperatura do ar de entrada, concentração de surfactante e concentração de maltodextrina ou dextrina, a atividade de água do produto é igual a 0,14 (Tabela B.8).

Na Tabela B.7 do Apêndice B encontra-se os dados da Análise de Variância para a goma arábica.

O modelo codificado proposto para representar a atividade de água das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de pequi com goma arábica, dentro dos limites de temperatura do ar de entrada no secador, concentração de surfactantes e concentração de goma arábica estudado é descrito pela Equação 4.2.

$$\text{Atividade de água} = 0,08 + 0,02 T_{ent}^2 + 0,02 T_{ent} \times C_{GA} + 0,01 C_S \times C_{GA} \quad [4.2]$$

Onde: T_{ent} , C_S e C_{GA} representam as variáveis temperatura do ar de entrada, concentração de surfactante *Tween* 80 e concentração de goma arábica.

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado foi de 0,85, indicando que o modelo explicou 85,17 % da variação dos dados observados.

As superfícies de resposta e as curvas de contorno, geradas através dos modelos obtidos, estão mostradas na Figura 4.5. Como estão mostrados nesta figura, os mais baixos valores de atividade de água são encontrados nas temperaturas de entrada por volta do ponto central e nos valores extremos de concentrações de agente carreador e surfactante.

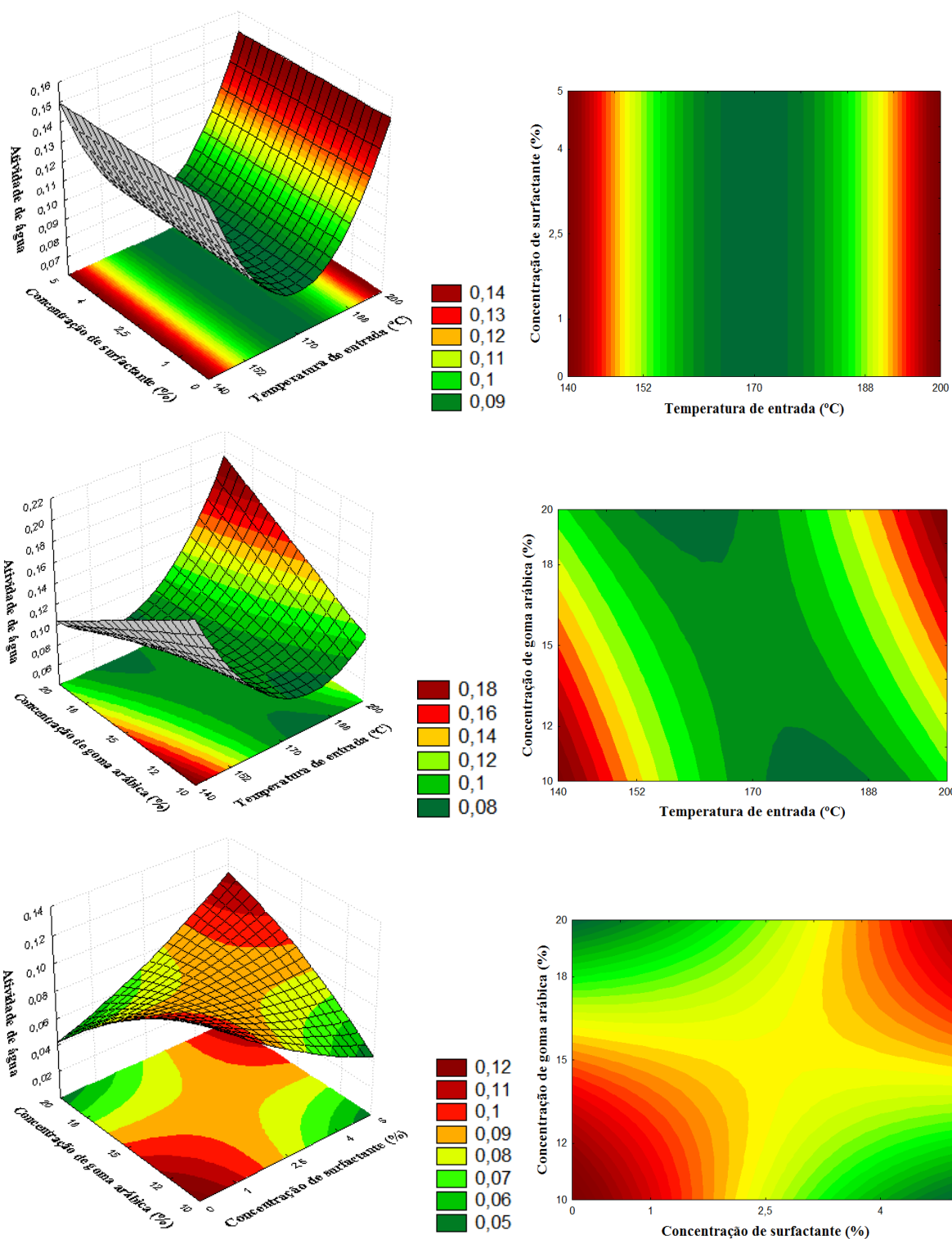


Figura 4.5 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta atividade de água dos pós de polpa de pequi encapsulados com goma arábica.

4.1.2.3 Higroscopicidade dos pós de polpa de pequi

Os resultados experimentais de higroscopicidade dos pós obtidos na secagem de polpa de pequi são apresentados nas Tabelas 4.2 a 4.4. Os valores oscilaram entre 10,7 a 14,3 g água adsorvida/100g sólidos, 9,1 a 12,1 g água adsorvida/100g sólidos e 8,0 a 10,7 g água adsorvida/100g sólidos referentes aos planejamentos experimentais utilizando goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente encapsulantes, respectivamente. Esses valores foram inferiores aos obtidos por Ruiz-Cabrera et al. (2009) em suco de maracujá em pó, produzido por *spray dryer* utilizando maltodextrina e lactose como carreadores.

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e da interação, indicado com asterisco, são significativos a 90 % de confiança (Tabelas B.10, B.12 e B.14 do Apêndice B). Para a higroscopicidade dos pós de polpa de pequi com goma arábica, todas as variáveis independentes tiveram influência significativa. Já os pós encapsulados com maltodextrina apenas as variáveis temperatura de entrada linear e a concentração de maltodextrina influenciaram a resposta, considerando um *p*-valor de 0,14 e 0,10, respectivamente. Por outro lado, os pós encapsulados com dextrina não foram influenciados pelas variáveis independentes, indicando que, utilizando valores dentro das faixas estudadas para temperatura de entrada, resultará na formação de um produto com higroscopicidade média igual a 9,9 g água adsorvida/100g de sólidos.

O coeficiente de determinação para o modelo ajustado para os pós de pequi com goma arábica foi de 0,96 e para os pós com maltodextrina foi de 0,29. De acordo com a ANOVA, o modelo apresentou regressão significativa ao nível de 90 % de confiança (Tabela B.11 do Apêndice B).

O modelo codificado proposto para representar a higroscopicidade das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de pequi, dentro dos limites de temperatura de entrada no secador, concentração de surfactantes e concentração de goma arábica estudados, é mostrado na Equação 4.3.

$$\text{Higroscopicidade [g/100g]} = 13,69 - 0,74 T_{ent}^2 + 0,26 C_S - 0,66 C_S^2 + 0,76 C_{GA} - 0,32 C_{GA}^2 - 0,20 C_S \times C_{GA} \quad [4.3]$$

Onde: T_{ent} , C_S e C_{GA} representam as variáveis temperatura do ar de entrada, concentração de surfactante *Tween* 80 e concentração de goma arábica.

A Figura 4.6 mostra as superfícies de resposta e curvas de contorno geradas através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios de temperatura de entrada, concentração de surfactante e agente carreador.

De acordo com a figura e a tabela dos efeitos (Tabela B.10), a concentração de agente carreador foi a variável que mais influenciou a higroscopicidade do produto final, sendo que os menores valores de higroscopicidade foram obtidos quando se utilizaram as menores concentrações de goma arábica.

A temperatura de entrada no secador e a concentração de surfactante da mistura também influenciaram a higroscopicidade das amostras produzidas, sendo os menores valores de higroscopicidade obtidos quando se utilizaram os valores extremos de temperatura e de concentração de surfactantes. Estas variáveis foram justamente as que influenciaram a umidade das partículas, porém de maneira oposta.

Isso indica que quanto menor a umidade das partículas, maior a sua higroscopicidade, ou seja, maior a sua facilidade em adsorver água, o que está relacionado ao maior gradiente de concentração de água existente entre o produto e o ambiente. Estes resultados estão de acordo com os publicados por Goula et al. (2004). Em seu trabalho com secagem de polpa de tomate em *spray dryer*, variando a temperatura do ar, a pressão de atomização e o fluxo de ar comprimido, os autores observaram que a higroscopicidade dos pós produzidos foi inversamente proporcional à sua umidade.

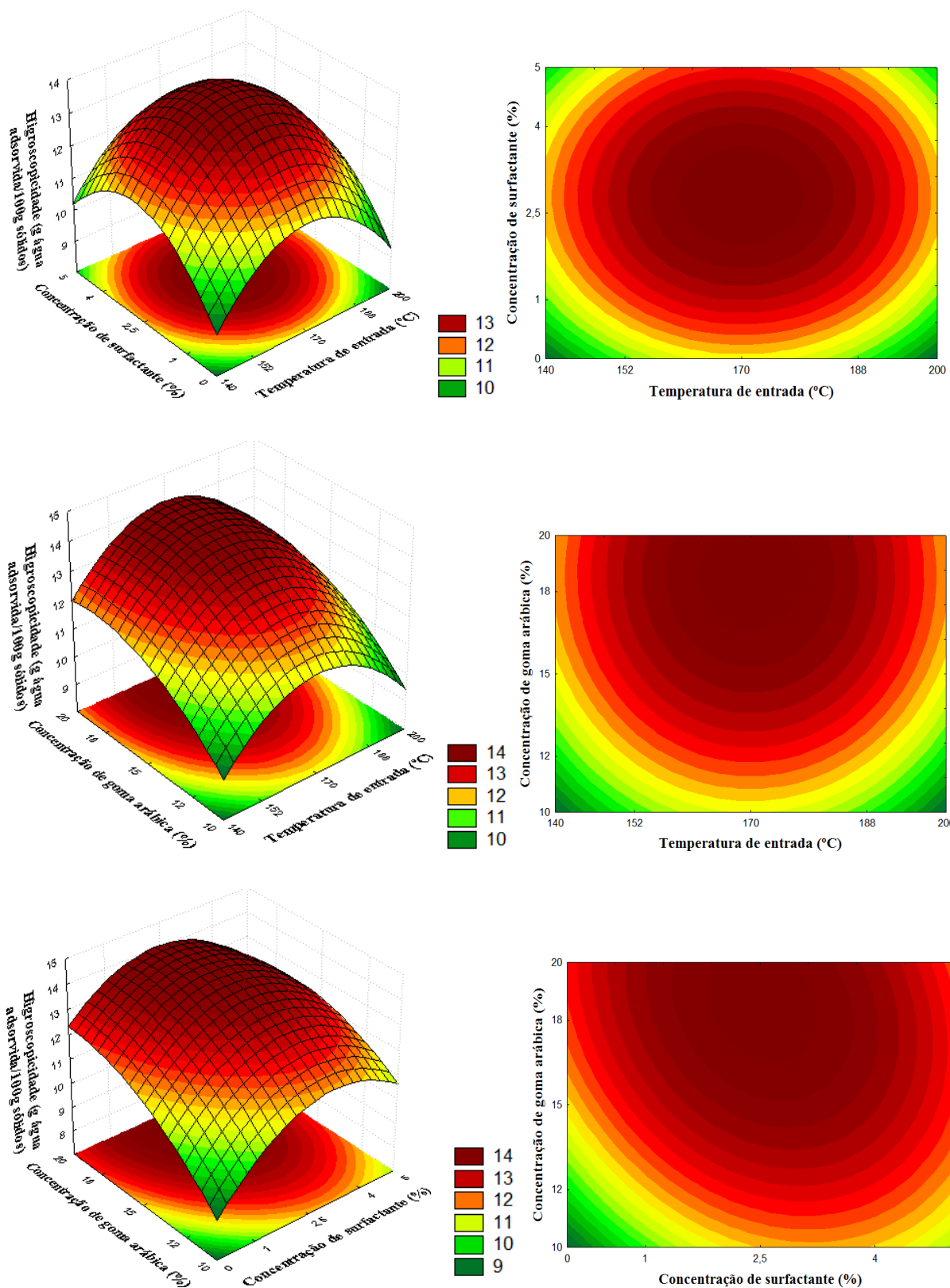


Figura 4.6 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos) dos pós de polpa de pequi encapsulados com goma arábica.

No que diz respeito aos agentes encapsulantes, as partículas produzidas com dextrina apresentaram menor taxa de adsorção de umidade, enquanto que as partículas produzidas com maltodextrina e goma arábica foram mais higroscópicas e com mais rápida adsorção de água. Tais resultados podem ser ligados a menor umidade obtida para os pós produzidos com estes dois agentes encapsulantes, o que implica em um maior gradiente de concentração de água e, por consequência, mais elevada higroscopicidade. Além disso, as diferenças na adsorção de água pode também ser explicada pela estrutura química de cada encapsulante. O fenômeno de adsorção de água por um carboidrato é atribuído às ligações entre o hidrogênio presente nas moléculas de água e os grupos hidroxilas disponíveis nas regiões amorfas do substrato, bem como nas regiões da superfície do cristalino. Goma arábica tem um grande número de ramificações com grupos hidrofílicos e, portanto, pode facilmente adsorver umidade do ar ambiente. Maltodextrina é menos hidrolisado, mostrando menos grupos hidrofílicos e, assim, adsorvendo menos água. A dextrina, assim como a goma arábica, possui um número muito grande de ramificações sendo altamente hidrofílica. Porém, apresentou valores de higroscopicidade menores que os obtidos quando se utilizou goma arábica ou maltodextrina.

4.1.2.4 Rendimento do processo de secagem dos pós de polpa de pequi

Pelos dados experimentais de rendimento reportados nas Tabelas 4.2 a 4.4, observou-se que eles variaram entre 25,8 % a 56,1 %, 34,0 a 51,7 % e 24,3 a 49,8 %, correspondentes aos planejamentos experimentais utilizando goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente carreador, respectivamente.

Segundo Wang e Langrish (2009), o rendimento de um processo de *spray drying* está relacionado com a quantidade de material que fica depositado no interior do secador. Esses valores de rendimento se mostraram bem altos quando comparados com Machado (2010) em polpa de tomate e semelhantes aos obtidos por Tonon et al. (2008) em polpa de açaí secos em *spray dryer*.

Como apresentado nas Tabelas B.15, B.17 e B.18 do Apêndice B, o rendimento final dos pós encapsulados com goma arábica foi influenciado significativamente ($p \leq 0,10$) pelo termo linear da variável concentração de agente encapsulante, apresentando um efeito

negativo sobre o rendimento, ou seja, o aumento nesse parâmetro resultou em menor valor de rendimento. Já para os pós encapsulados com maltodextrina, o rendimento não foi influenciado por nenhuma das variáveis independentes estudadas. Em contrapartida, os pós encapsulados com dextrina sofreram influências de todas as variáveis independentes, sendo que a temperatura de entrada no secador (fator linear) foi a variável que mostrou influência positiva sobre o rendimento, fazendo com que o aumento desta variável levou ao aumento do rendimento. Por outro lado, a concentração de surfactante (fator linear) apresentou efeito negativo sobre a resposta, ou seja, o aumento nesse parâmetro resultou em menores valores de rendimento. Já a variável concentração de agente encapsulante teve efeito negativo, tanto o termo linear quanto o quadrático.

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e não significância da falta de ajuste em relação a 90 % de confiança ($p \leq 0,10$), através do teste F, na análise de variância. As Tabelas B.16 e B.19 do Apêndice B apresentam os valores de $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} .

Os modelos propostos para a predição do rendimento do processo da polpa de pequi encapsuladas com goma arábica e dextrina apresentaram coeficiente de determinação (R^2) de 64,74 % e 87,51 %, respectivamente. Para os pós encapsulados com goma arábica, o R^2 obtido foi muito baixo, indicando que não pode tirar um modelo dos dados experimentais.

Para os pós encapsulados com dextrina, o $F_{\text{calculado}}$ da regressão foi maior que o F_{tabelado} e o $F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste foi maior que o F_{tabelado} . Sendo assim, o modelo ajustado foi considerado preditivo, porém com falta de ajuste.

O modelo codificado proposto para representar o rendimento do processo de secagem da polpa de pequi utilizando dextrina como agente encapsulante, dentro dos limites de temperatura, concentração de surfactante e concentração de agente estudados, é descrito pela Equação 4.4.

$$\text{Rendimento } [\%] = 40,13 + 2,94 T_{\text{ent}} - 4,07 C_S - 1,56 C_S^2 - 4,46 C_D - 1,93 C_D^2 \quad [4.4]$$

Onde: T_{ent} , C_S e C_D representam as variáveis temperatura do ar de entrada, concentração de surfactante *Tween* 80 e concentração de dextrina.

A Figura 4.7 mostra as superfícies de resposta e curvas de contorno geradas através do modelo proposto, considerando-se os pontos médios de concentração de agente carreador e concentração de surfactante.

Os maiores rendimentos foram obtidos quando foram utilizadas temperaturas mais altas e concentrações de agente e surfactante mais baixas. Toneli (2006) e Tonon (2009), em trabalhos com secagem de inulina e polpa de açaí em *spray dryer*, respectivamente, também verificaram uma influência positiva da temperatura sobre o rendimento do processo. De acordo com os autores, esse resultado pode ser associado ao fato de o processo de transferência de calor e massa que ocorre durante a secagem ser mais eficiente quando realizado sob altas temperaturas.

Em relação ao agente encapsulante e surfactante, quanto maior sua concentração, menor foi o rendimento do processo. Este fato pode estar relacionado ao aumento da viscosidade da solução, resultando na produção de gotículas maiores pulverizadas no interior da câmara de secagem. Estas gotículas maiores são mais difíceis de serem secas, tornando-se partículas mais úmidas, que tendem a grudar mais na parede do secador. Outra possibilidade é que maiores concentrações de *Tween* 80 e dextrina não foram suficientes para elevar a T_g da solução ocorrendo a sua aderência na parede do secador, devido estes componentes apresentarem alguns tipos de açúcares e ácidos de baixo peso molecular.

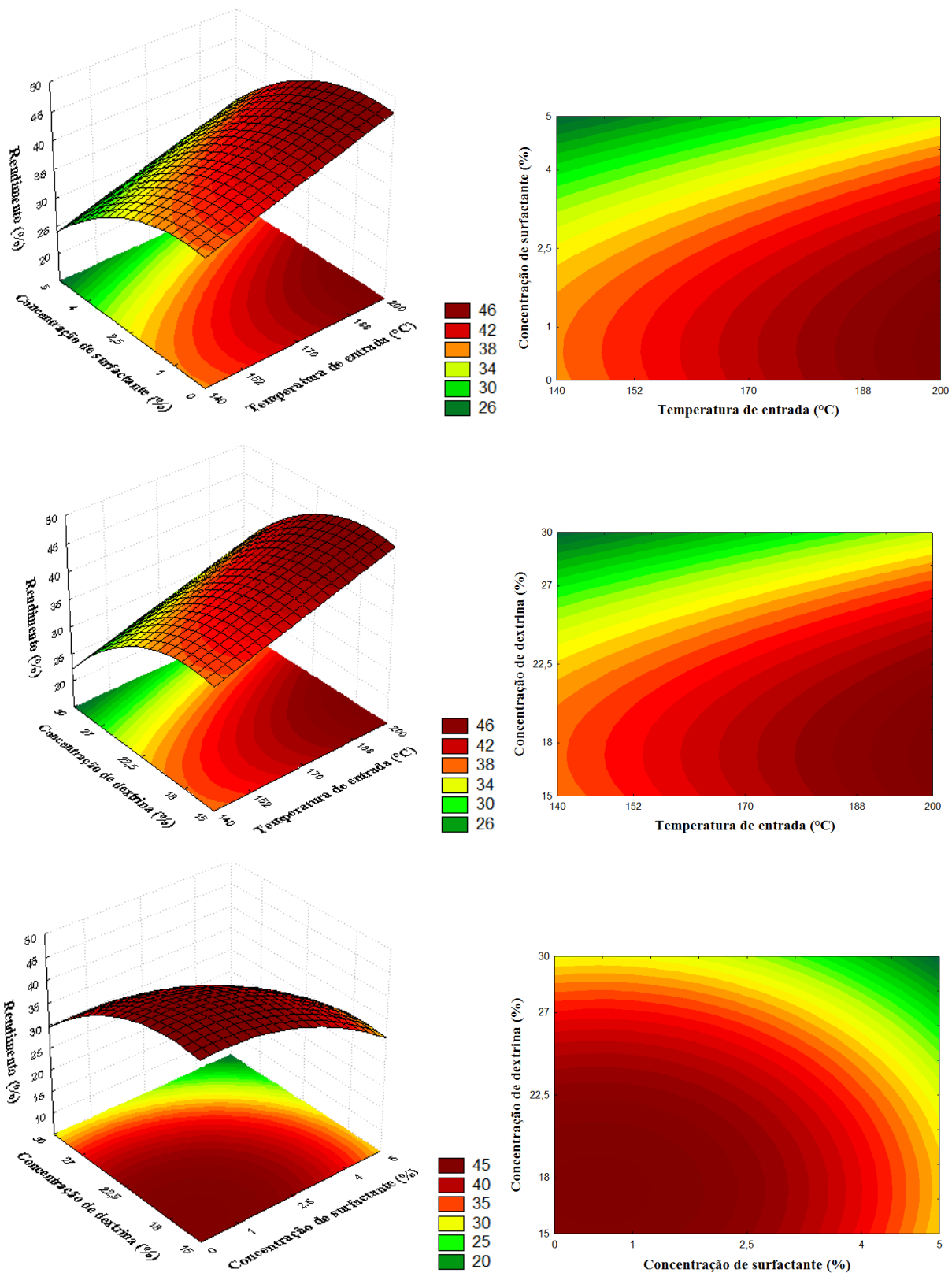


Figura 4.7 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta rendimento (%) dos pós de polpa de pequi encapsulados com dextrina.

4.1.2.5 Vitamina C dos pós de polpa de pequi

A vitamina C dos pós de polpa de pequi encapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina são encontradas nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, respectivamente. A vitamina C para a polpa de pequi *in natura* foi de $338,4 \pm 1,1$ mg de ácido ascórbico/g sólidos de pequi. Os valores experimentais de vitamina C com goma arábica variaram de 113,0 a 306,6 mg de ácido ascórbico/g sólidos de pequi. Já os ensaios com maltodextrina oscilaram de 129,8 a 303,0 mg de ácido ascórbico/g sólidos de pequi. Por outro lado, os pós com dextrina variaram de 145,8 a 292,1 mg de ácido ascórbico/g sólidos de pequi. Os pós, apesar das perdas com o processamento, mantiveram bem a vitamina C comparando com a polpa de pequi *in natura*.

Nas Tabelas B.20, B.22 e B.24 do Apêndice B são apresentados os efeitos lineares, quadráticos e das interações. Para os pós encapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, o teor de vitamina C final foi influenciado significativamente pela variável concentração de surfactante, que apresentou efeito linear negativo sobre a vitamina C, ou seja, o aumento nesse parâmetro resultou em menor valor desta variável dependente. Além do mais, para os pós com goma arábica, verificou-se também efeitos negativos para as interações $T_{ent} \times C_S$ e $C_S \times C_{GA}$. No entanto, para os pós com maltodextrina, considerando-se um valor de p igual a 0,13, a concentração de maltodextrina linear, foi também considerada significativa. Sendo assim, este fator não foi descartado na análise estatística, sendo utilizado para a predição do modelo. Estes parâmetros apresentaram efeitos negativos, ou seja, maiores concentrações de surfactante e agente encapsulante levaram à produção de pós com menor teor de vitamina C. Mascarenhas (2010) estudou a microencapsulação de óleo rico em ômega-3, utilizando surfactantes. O autor verificou que concentrações de surfactantes acima de 0,2% não favoreceram a formação da emulsão. O presente trabalho de pesquisa utilizou concentrações muito elevadas, que provavelmente resultou em muito material não encapsulado causando perdas de vitamina C. Os mesmos resultados foram encontrados para concentrações elevadas de maltodextrina.

Extraíndo-se os fatores não-significativos presentes nas tabelas dos efeitos, verificou-se a significância da regressão e não significância da falta de ajuste em relação a 90 % de confiança, através do teste F, nas ANOVA (Tabelas B.21, B.23 e B.25 do Apêndice B).

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado para os pós encapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, respectivamente, foram de 79,16 %, 80,87 % e 39,77 %. O valor de R^2 para os pós com dextrina foi considerado muito baixo e com isto não foi possível obter modelo e superfícies de resposta.

Os modelos apresentaram regressão e falta de ajuste significativo ao nível de 90 % de confiança ($F_{\text{calculado}}$ superior ao F_{tabelado}). Portanto, o ajuste do modelo para a quantidade de vitamina C resultante do processo de secagem da polpa de pequi em *spray dryer* encapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina foram considerados preditivos, porém com falta de ajuste ($F_{\text{calculado}}$ superior ao F_{tabelado}).

Os modelos codificados propostos para representarem a vitamina C das partículas resultantes do processo de secagem da polpa de pequi encapsulada com goma arábica e maltodextrina, dentro dos limites de temperatura, concentração de surfactante e concentração de agente estudados, são descritos pelas Equações 4.5 e 4.6.

$$\text{Vitamina C [mg/g sólidos de pequi]} = 217,61 - 39,34 C_S - 29,81 T_{ent} \times C_S - 38,32 C_S \times C_G \quad [4.5]$$

$$\text{Vitamina C [mg/g sólidos de pequi]} = 200,84 - 54,74 C_S - 12,93 C_M \quad [4.6]$$

Onde: T_{ent} , C_S e C_{GA} e C_M representam as variáveis temperatura do ar de entrada, concentração de surfactante *Tween* 80, concentração de goma arábica e concentração de maltodextrina.

A Figura 4.8 mostra as superfícies de resposta geradas através do modelo proposto para os pós encapsulados com goma arábica. Estas superfícies indicam que as maiores concentrações de vitamina C foram obtidas nas faixas maiores de temperatura de entrada no secador e concentrações de agente encapsulante. Este fato não era esperado, pois a literatura relata que com o aumento da temperatura há uma degradação da vitamina C (ALVES et al., 2010b, HAL et al., 2012). Isto pode ser explicado provavelmente por uma eficiente encapsulação das partículas de polpa de pequi com goma arábica, capaz de proteger a degradação da vitamina C dentro das cápsulas.

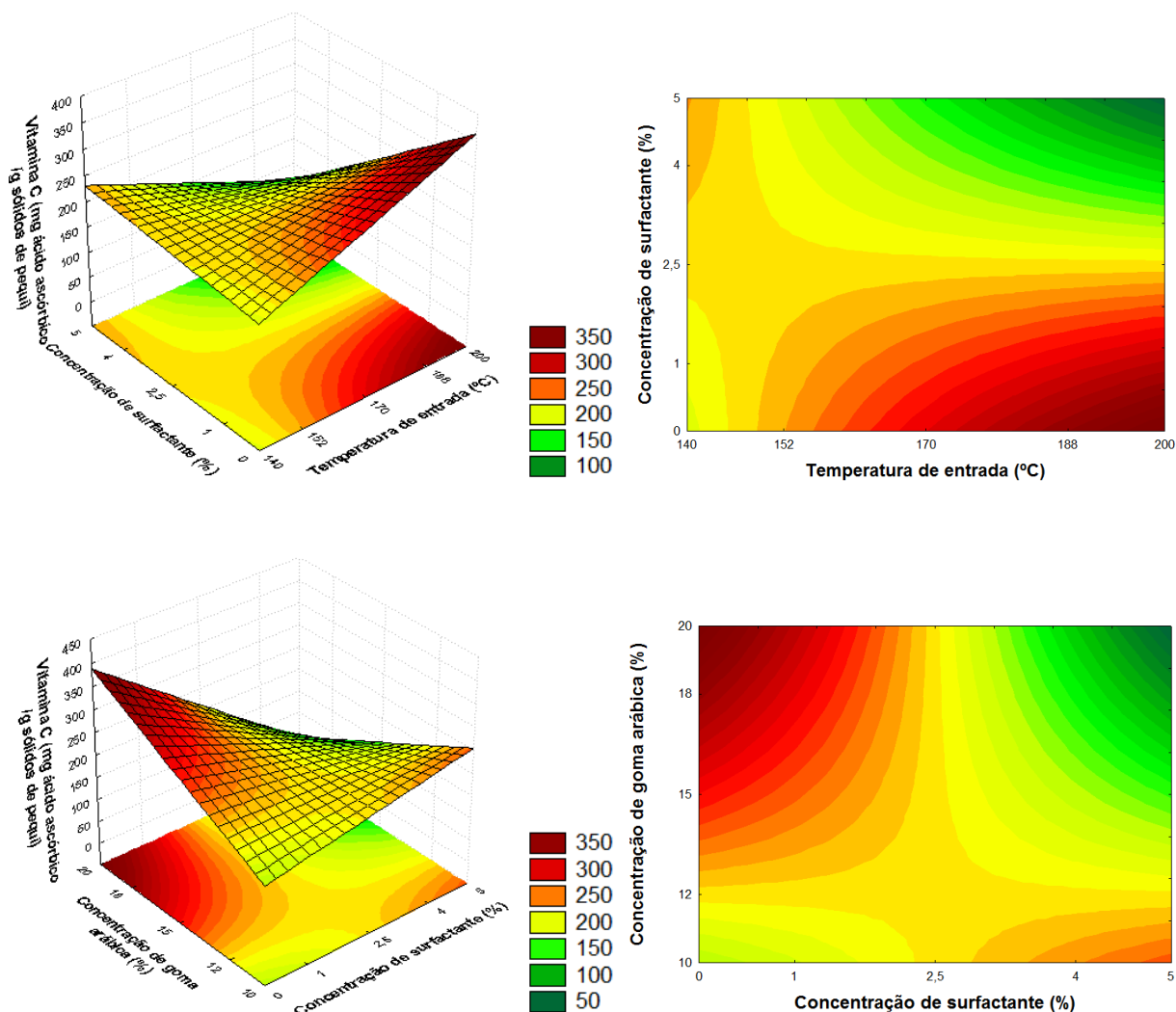


Figura 4.8 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/g sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsulados com goma arábica.

A Figura 4.9 mostra as superfícies de resposta geradas através do modelo proposto para os pós encapsulados com maltodextrina. Estes números expressam a interação entre as duas variáveis independentes, em que a terceira variável foi mantida no ponto central. Temperatura do ar de entrada não teve nenhuma influência sobre a resposta.

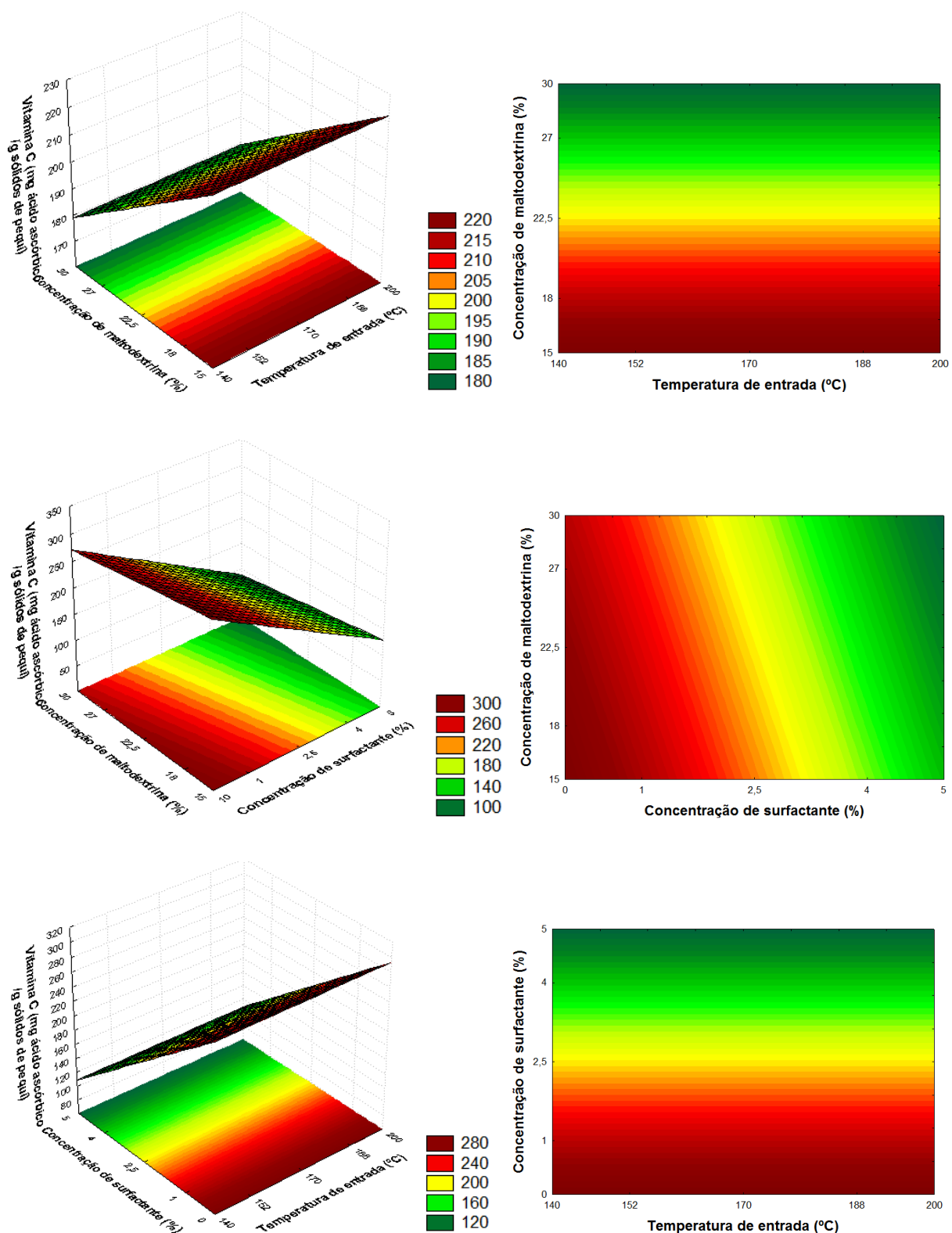


Figura 4.9 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/g sólidos de pequi) dos pós de polpa de pequi encapsulados com maltodextrina.

4.1.2.6 Carotenoides totais dos pós de polpa de pequi

Os carotenoides totais para polpa de pequi *in natura* foram de $(140,69 \pm 0,08)$ mg de carotenoides/g de sólidos de pequi. Os valores dos ensaios experimentais do teor de carotenoides totais para os pós de polpa de pequi encapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina estão apresentadas nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, respectivamente. Para os pós com goma arábica, a variação foi de 10,9 a 74,2 mg de carotenoides/g de sólidos de pequi. Porém, para os pós com maltodextrina, a variação foi de 8,2 a 94,9 mg de carotenoides/g de sólidos de pequi. Já para os pós com dextrina, a variação foi de 15,5 a 123,4 mg de carotenoides/g de sólidos de pequi. Os pós com dextrina conservaram mais os teores de carotenoides totais do que os pós com os demais encapsulantes utilizados, obtendo valores próximos da polpa de pequi *in natura*.

Nas Tabelas B.26, B.27 e B.29 do Apêndice B, são apresentados os efeitos dos parâmetros estudados nos planejamentos experimentais. Para os pós encapsulados com goma arábica, todas as variáveis estudadas no planejamento não apresentaram significância ao nível de 10 % sobre a resposta, indicando que, dentro das faixas estudadas para temperatura de entrada, concentração de surfactante e concentração de agente encapsulante, o teor de carotenóides médio é igual a 40,8 mg carotenoides/g sólidos de pequi. Já para os pós encapsulados com maltodextrina e dextrina, o parâmetro que influenciou a resposta foi a temperatura de entrada linear apresentando efeitos negativos sobre a resposta, indicando que nas faixas menores de temperatura de entrada são obtidos os maiores valores de carotenoides totais. Os pós com maltodextrina ainda sofreram influência da concentração de encapsulante linear, apresentando efeito negativo.

Nas Tabelas B.28 e B.30 do Apêndice B estão apresentadas as ANOVA para a variável dependente carotenoides totais dos pós de polpa de pequi com maltodextrina e dextrina como agentes carreadores.

Os modelos apresentaram regressões significativas, porém os coeficientes de determinação foram apenas de 0,52 e 0,50 para os pós com maltodextrina e dextrina, respectivamente, indicando que não tem como tirar modelos e nem superfícies de resposta dos dados apresentados.

4.1.3 Otimização do processo e validação

Foi realizada uma comprovação dos pontos dos parâmetros escolhidos como otimização em relação às variáveis dependentes estudadas. Para a polpa de pequi foi utilizado como critério o maior teor de compostos com propriedade antioxidante como vitamina C e carotenoides totais, sendo que estas respostas diminuem o risco da incidência de doenças crônico-degenerativas.

Para o pó otimizado obtido com polpa de pequi microencapsulada com goma arábica foram escolhidos os seguintes parâmetros: $T_{ent} = 152\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_S = 1\%$ e $C_{GA} = 18\%$, referentes ao ensaio 5 do planejamento experimental. Por outro lado, para polpa de pequi com maltodextrina como agente microencapsulante, os parâmetros escolhidos foram: $T_{ent} = 152\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_S = 1\%$ e $C_M = 18\%$, referentes ao ensaio 1 do planejamento estudado. Já para o pó de polpa de pequi microencapsulada com dextrina, os parâmetros utilizados foram: $T_{ent} = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_S = 2,5\%$ e $C_D = 22,5\%$, referentes ao ensaio 9 do planejamento experimental.

Na Tabela 4.5, encontram-se os valores obtidos dos ensaios de otimização para as respostas: umidade, higroscopicidade, rendimento do processo, atividade de água, vitamina C e carotenoides totais para polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

As análises físico-químicas do produto tornam-se necessárias, uma vez que permite relacioná-las com outros aspectos de qualidade do produto obtido.

De acordo com as respostas obtidas utilizando os pontos otimizados para os pós de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina, observam-se repetições aos ensaios escolhidos para cada tipo de planejamento aplicado.

Tabela 4.5 - Valores experimentais para as análises realizadas nos pós produzidos nas condições selecionadas pelos planejamentos experimentais para a polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Respostas	Agente Carreador		
	Goma arábica ($T_{ent} = 152\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_S = 1\%$, $C_{GA} = 18\%$)	Maltodextrina ($T_{ent} = 152\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_S = 1\%$, $C_M = 18\%$)	Dextrina ($T_{ent} = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_S = 2,5\%$, $C_D = 22,5\%$)
Umidade (%)	0,68±0,02 ^a	0,86±0,02 ^a	1,75±0,01 ^b
Higroscopicidade*	10,39±0,02 ^b	10,34±0,02 ^b	7,78±0,02 ^a
Rendimento (%)	56,49±0,06 ^a	46,63±0,12 ^b	39,48±0,10 ^c
A _w	0,08±0,01 ^a	0,10±0,01 ^a	0,14±0,01 ^b
Vitamina C**	307,82±0,42 ^{ab}	309,92±0,38 ^a	295,93±0,94 ^b
Carotenoides totais***	73,12±0,04 ^b	68,02±0,84 ^b	128,00±0,18 ^a

* - Higroscopicidade é expresso em (g água adsorvida/100g sólidos); ** - Vitamina C é expresso em (mg de ácido ascórbico/g sólidos de pequi); *** - Carotenoides totais é expresso em (mg carotenoides/g sólidos de pequi); - Médias com a mesma letra em cada linha indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

A determinação de umidade é uma das medidas mais importantes e utilizadas na análise de alimentos. A umidade de um alimento está relacionada à sua estabilidade, qualidade e composição e pode afetar a estocagem, embalagens e o processamento (CECCHI, 2003). Segundo Tze et al. (2012), 10 % de umidade em pós alimentícios obtidos por *spray drying* é o suficiente para que sejam microbiologicamente seguros.

A umidade da polpa de pequi em pó com dextrina apresentou valor maior comparado aos demais pós (1,75 %). Em contrapartida, obteve-se menores valores de higroscopicidade. Isto pode ser atribuído pela menor temperatura de entrada no secador utilizada. Quanto menor é o gradiente de temperatura entre o ar de secagem e o produto aspergido, menor é a taxa de transferência de calor entre as partículas, resultando numa menor evaporação de água do produto. Neste trabalho foram encontrados valores de umidade próximo aos obtidos por Papadakis et al. (2006) e Tonon (2009), trabalhando com polpa de açaí e suco de uva desidratadas em *spray dryer*. E, valores inferiores aos obtidos por Goula e Adamopoulos (2008b); Machado (2010), Zareifard et al. (2012) secando polpa de tomate e suco de limão com diferentes concentrações de maltodextrina e temperatura de entrada no secador.

Righetto e Netto (2005) verificaram que a maltodextrina foi mais eficaz do que a goma arábica na redução de umidade de acerola em pó produzidos por secagem por aspersão. Os autores afirmaram que este comportamento foi provavelmente devido às diferenças entre a estrutura química de ambos os agentes de encapsulação, pois a goma arábica é um complexo heteropolissacarídeo com uma estrutura altamente ramificada, contendo cadeias mais curtas e mais grupos hidrofílicos. Neste trabalho, a umidade dos pós de polpa de pequi com maltodextrina ou goma arábica não se diferenciaram estatisticamente.

A higroscopicidade dos pós de polpa de pequi para todos os encapsulantes estudados variou de 7,78 a 10,39 g água adsorvida/100g sólidos (Tabela 4.5). Estes resultados foram próximos aos obtidos por Tonon et al. (2008) em suco de açaí em pó, utilizando maltodextrina como agente carreador. No estudo, a higroscopicidade dos pós variou de 12,5 a 15,8 g água adsorvida/100g sólidos o que pode ser atribuído à concentração de maltodextrina utilizada (10 a 30 %), visto que a maltodextrina (depende da sua DE) é um material que apresenta baixa higroscopicidade. Ruiz-Cabrera et al. (2009) e Moreira et al. (2009), secando suco de maracujá e polpa de acerola em *spray dryer* com diferentes agentes encapsulantes, encontraram valores de higroscopicidade muito superiores aos obtidos neste trabalho.

A Figura 4.10 apresenta as mudanças percebidas visualmente nos pós de polpa de pequi utilizando como agentes encapsulantes goma arábica, maltodextrina e dextrina, durante um tempo de análise de 7 dias.

Como mostrado, todos os pós de polpa de pequi sofreram alterações no terceiro dia de análise, alterando-se de uma consistência sólida e particulada de cor amarela para um estado líquido e pegajoso de cor marrom intensa e brilhante. Os pós com goma arábica e maltodextrina como agente carreador mantiveram-se muito parecidos quando comparados com os pós com dextrina.

A produção dos pós de polpa de pequi com goma arábica (56,49 %) teve maior rendimento quando comparado com os demais pós microencapsulados com maltodextrina ou dextrina. Segundo Wang e Langrish (2009), o rendimento de um processo de *spray drying* é altamente afetado pela quantidade de material que fica depositado no interior do secador. Com a utilização de dextrina como agente carreador havia uma grande aderência das partículas no interior da câmara e deposição do pó no sistema que conecta a câmara ao ciclone e no próprio ciclone. Para os demais agentes carreadores utilizados, houve uma menor intensidade da

aderência. Além disso, as dimensões do secador também afetam consideravelmente o rendimento do processo. De acordo com Truong et al. (2005), teoricamente, não haveria problemas de deposição de material se a câmara do secador fosse suficientemente grande. No entanto, o secador utilizado neste trabalho foi um secador em escala laboratorial que possui uma câmara com dimensões que não garante que as partículas estejam totalmente secas ao colidir em suas paredes, ocasionando depósito de material molhado, diminuindo assim o rendimento do processo de secagem. Resultados semelhantes ao encontrado neste trabalho foram obtidos por Tonon (2009) e Machado (2010) utilizando suco de açaí e tomate encapsulados com maltodextrina em *spray dryer*, respectivamente.

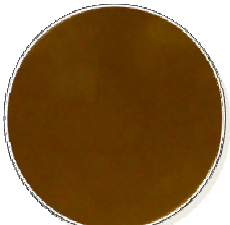
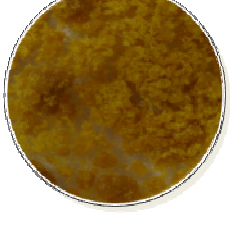
Agente carreador	Dia de análise			
	1º	3º	5º	7º
Goma arábica				
Maltodextrina				
Dextrina				

Figura 4.10 - Mudanças visuais causadas pela absorção de água ao longo do tempo nos pós obtidos a partir da polpa de pequi com goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente microencapsulante (temperatura ambiente, umidade relativa de 75,3 %).

O valor médio de atividade de água para os pós de polpa de pequi microencapsulado com goma arábica, maltodextrina ou dextrina variou de 0,08 a 0,14 (Tabela 4.5), sendo então considerados bastantes estáveis quanto às alterações microbiológicas.

Os pós microencapsulados com dextrina obtiveram maior valor de atividade de água, em comparação aos pós microencapsulados com goma arábica e maltodextrina, o que pode ser atribuído à menor temperatura de secagem utilizada no processo (140 °C). Papadakis et al. (2006) trabalhando com suco de uva e maltodextrina 12 DE como carreador, obtiveram valores de atividade de água entre 0,15 e 0,20, quando foi utilizada temperatura de secagem de 140 °C, enquanto que a atividade de água decresceu para 0,10 quando a temperatura de secagem aumentou para 200 °C.

Os pós de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina ou dextrina apresentaram valores de 39,53, 39,80 e 38,01 mg de ácido ascórbico/100g, respectivamente. Os pós mantiveram bem a vitamina C quando comparados com a polpa de pequi *in natura* (43,43 mg de ácido ascórbico/100g). Machado (2011) encontrou valor de vitamina C para polpa de pequi *in natura* em torno de 6,63 mg de ácido ascórbico/100g. Esse valor foi muito inferior ao obtido neste trabalho para polpa *in natura*. Isto pode ter ocorrido devido à autora utilizar polpa de pequi já processada e congelada.

Segundo Brasil e Guimarães (1998), a maior perda de vitamina C se dá com o aquecimento dos alimentos. De modo geral, sua estabilidade é aumentada com o abaixamento da temperatura, procedimento que não evita as possíveis perdas no congelamento, ou armazenamento a baixas temperaturas. Para os pós de polpa de pequi houve uma contradição, pois os pós que tiveram maiores valores de vitamina C foram obtidos nos maiores valores de temperatura de processamento (152 °C ao invés de 140 °C). Esse comportamento possivelmente pode ser explicado pelo curto tempo de residência do produto no interior da câmara de secagem, isto é, pelo pequeno tempo de contato entre o produto que está sendo seco e a alta temperatura do ar de secagem, resultando em baixa degradação do ácido ascórbico ou pelo fato dos microencapsulantes goma arábica e maltodextrina apresentarem uma melhor encapsulação das partículas de polpa de pequi do que a dextrina.

Os valores de carotenoides totais dos pós de polpa de pequi variaram de 68,02 a 128,00 mg de carotenoides/g de polpa de pequi (Tabela 4.5). Esses valores de carotenoides totais foram inferiores ao obtido para a polpa de pequi *in natura* que foi de 140,69 mg de

carotenoides/g de polpa de pequi. Esse resultado foi superior aos encontrado por Lima et al. (2007a) e Machado (2011) que foram de 56,49 e 82,90 mg de carotenoides/g de polpa de pequi, respectivamente. Os pós microencapsulados com dextrina apresentaram melhor conservação do teor de carotenoides totais em relação aos demais microencapsulantes.

Além das respostas obtidas com a repetição dos ensaios otimizados, foram realizados ainda as seguintes análises: densidade aparente, densidade absoluta, porosidade, distribuição do tamanho de partícula, molhabilidade, microscopia eletrônica de varredura, condições críticas de estocagem como isoterma de sorção e temperatura de transição vítrea e estudo da estabilidade através das análises de cor, carotenoides totais, oxidação lipídica e atividade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP.

4.1.4 Caracterização da polpa de pequi em pó obtida na condição ótima

4.1.4.1 Densidade aparente, Densidade absoluta e Porosidade

A densidade aparente, densidade absoluta e porosidade das partículas de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina estão mostradas na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Densidade aparente, densidade absoluta e porosidade dos pós de polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.

Agente carreador	Densidade aparente (g/mL)	Densidade absoluta (g/mL)	Porosidade
Goma arábica	0,42±0,01 ^b	1,28±0,02 ^a	0,67±0,01 ^a
Maltodextrina	0,42±0,03 ^b	1,30±0,01 ^a	0,68±0,00 ^a
Dextrina	0,35±0,03 ^a	1,30±0,01 ^a	0,73±0,00 ^b

- Médias com a mesma letra em cada coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

As amostras produzidas com dextrina foram as que apresentaram a menor densidade aparente, enquanto as demais amostras não mostraram diferença significativa entre si. Isto pode ser explicado, por esses materiais apresentarem maior massa molecular, ou seja, quanto mais denso o material, mais facilmente este se acomoda nos espaços entre as partículas, ocupando menor volume e resultando, assim, em maior densidade. Além disso, as interações poliméricas entre os diferentes agentes e o extrato da polpa de pequi podem ter resultado em maiores ou menores espaços ocupados, o que representa maiores ou menores densidades, respectivamente. Outra explicação seria no aumento da concentração de agente carreador (dextrina = 22,5 %, goma arábica e maltodextrina = 18 %), pois a densidade aparente diminuiu com o aumento de agente carreador. O efeito da concentração de agente carreador foi verificado por Kurozawa (2009) na produção de hidrolisado protéico por *spray dryer*. A densidade aparente do hidrolisado protéico diminuiu de 0,330 para 0,296 g/mL quando a concentração de maltodextrina aumentou de 10 a 30 %. Outros autores também observaram resultados semelhantes, utilizando polpa de tomate, polpa de abacaxi, na secagem em *spray dryer*, com maltodextrina como agente carreador (GOULA e ADAMOPOULOS, 2008a; ABADIO et al., 2004).

Zareifard et al. (2012) e Tze et al. (2012) encontraram valores de densidade aparente variando de 0,41 a 0,69 g/mL e 0,29 a 0,35 g/mL estudando suco de limão e pitaya com maltodextrina secos em *spray dryer*, respectivamente.

Em relação à densidade absoluta, os valores obtidos não apresentaram diferença estatística entre as amostras.

O conhecimento da densidade dos alimentos é importante para processamento, embalagem, armazenamento e transporte. A densidade absoluta corresponde a real densidade do sólido e não considera os espaços presentes entre as partículas, ao contrário da densidade aparente, também conhecida como densidade do leito ou volumétrica, que considera todos esses espaços. Dessa maneira, como os valores de densidade absoluta foram todos muito próximos uns aos outros e a densidade aparente dos pós produzidos com goma arábica e maltodextrina foi maior que a com dextrina como agente carreador, pode-se constatar que as amostras produzidas com goma arábica e maltodextrina possuem um número de espaços entre as partículas menores do que a produzida com dextrina. Estes resultados são expressos no

cálculo da porosidade intergranular, que mede justamente essa quantidade de espaços (Tabela 4.6).

A porosidade é uma propriedade importante no caso de microcápsulas onde o material encapsulado é susceptível a reações de oxidação, por exemplo. O maior número de espaços vazios implica na presença de uma maior quantidade de oxigênio, que pode provocar uma degradação mais rápida do composto protegido, no caso da polpa de pequi, a oxidação lipídica, a atividade antioxidante, etc. Pó de polpa de pequi produzido com dextrina mostrou maior valor de porosidade (Tabela 4.6), que indica a presença de um número maior de espaços entre as partículas, contendo oxigênio disponível para as reações de degradações. No entanto, como as diferenças entre os valores de porosidade são bem pequenas (variando de 67 a 73 %), esta propriedade não teve um efeito significativo sobre a atividade antioxidante como retenção de vitamina C e carotenoides totais dos pós.

Ferrari et al. (2012b) encontraram valores de porosidade para pós de amora com maltodextrina e goma arábica variando de 70,5 a 72,5 %, valores estes parecidos com os obtidos neste trabalho para polpa de pequi. Tonon et al. (2010) relataram que pós de açaí secos em *spray dryer* produzidos com fécula de mandioca apresentava valores inferiores de porosidade (cerca de 68 %), em comparação com as amostras encapsuladas com maltodextrina ou goma arábica (cerca de 75 %). Apesar do pequeno número de espaços interpartículas observado para o pó de açaí produzido com fécula de mandioca, a maltodextrina foi o agente carreador que mostrou a melhor proteção de pigmento e a mais alta atividade antioxidante.

4.1.4.2 Distribuição do tamanho de partícula

A Figura 4.11 mostra a distribuição do tamanho de partículas obtida para as amostras de polpa de pequi em pó microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Pode ser observado que as partículas apresentaram uma distribuição trimodal, indicando três tamanhos de partículas predominantes. O primeiro pico apresentou um volume pequeno de aproximadamente 1 % e menores diâmetros de partículas ($< 1 \mu\text{m}$). O segundo pico apresentou volume entre 5,5 e 6,5 % e diâmetros entre 1 e $90 \mu\text{m}$. O terceiro pico apresentou volume menores que 1 % e diâmetro entre 90 e $500 \mu\text{m}$. Porém, este não foi

visualizado quando se utilizou maltodextrina, apresentando para os pós de polpa de pequi com este microencapsulante apenas uma distribuição bimodal. Ou seja, esta distribuição permite maior compactação do pó no armazenamento, já que as partículas menores podem penetrar nos espaços presentes entre as partículas maiores, ocupando menor espaço. Em contrapartida, a presença de partículas muito finas pode representar propriedades de instantaneidade mais pobres, uma vez que a redução dos interstícios pode prejudicar a penetração da água, afetando negativamente propriedades como molhabilidade e a dispersibilidade do produto (HOGEKAMP e SCHUBERT, 2003).

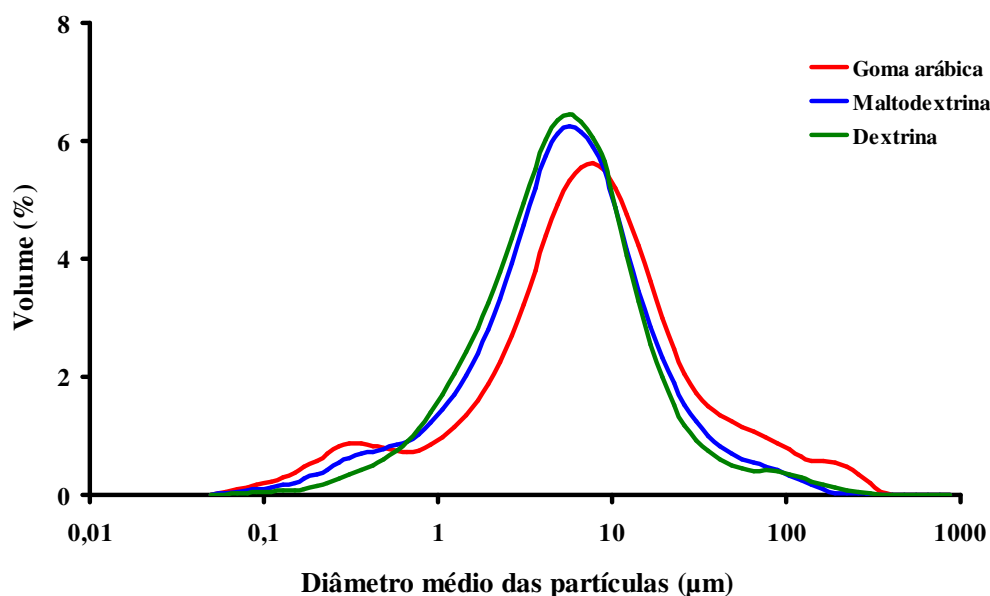


Figura 4.11 - Distribuição do tamanho de partículas dos pós selecionados de polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

A presença de partículas de menor tamanho pode ser atribuída às partículas do agente carreador que não conseguiram encapsular a polpa de pequi, ou ainda às partículas do suco que não foram encapsuladas, enquanto a presença de partículas de maior tamanho pode ser atribuída a um possível início de processo de aglomeração, onde ocorre a formação de pontes de ligação entre as partículas e, conseqüentemente, a formação de partículas maiores (TONON, 2009).

Os diâmetros $D[4,3]$ obtidos para as partículas produzidas com cada agente carreador estão apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Diâmetro médio $D[4,3]$ das partículas de polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.

Agente carreador	$D[4,3]$ (μm)
Goma arábica	$9,52 \pm 0,3^a$
Maltodextrina	$9,42 \pm 0,2^a$
Dextrina	$17,29 \pm 0,8^b$

- Médias com a mesma letra na coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

O tamanho das partículas, quando foi utilizado maltodextrina ou goma arábica como agente carreador, não apresentaram diferença estatística. Já quando foi utilizado dextrina um maior valor de tamanho de partícula foi obtido.

De acordo com Goula e Adamopoulos (2004), o tamanho das partículas secas depende do tamanho das gotículas aspergidas e o tamanho dessas gotículas é dependente da forma como foi feita a aspersão e das propriedades físicas e concentração de sólidos da solução de alimentação. O tamanho da gotícula usualmente aumenta conforme a concentração ou a viscosidade da solução na alimentação é incrementada, e a energia disponível para a aspersão (por exemplo, velocidade de rotação no bico rotativo, pressão do bico) diminui. Como a solução com dextrina utilizada na alimentação era visualmente mais viscosa que as demais, a partículas apresentaram, então, maior diâmetro.

Tonon (2009), trabalhando com *spray drying* de suco de açaí com maltodextrina e goma arábica como agente carreador, encontrou diâmetro médio de partícula em torno de 11 e 9 μm , respectivamente. Esses valores foram semelhantes aos obtidos neste trabalho. Righetto (2003) determinou o diâmetro médio em suco de acerola microencapsulado com maltodextrina e goma arábica, sendo que as formulações com predomínio de maltodextrina apresentaram diâmetro médio de 16 a 17 μm , enquanto que as produzidas com goma arábica apresentaram diâmetro médio entre 19 a 20 μm .

4.1.4.3 Tempo de molhabilidade

A Tabela 4.8 apresenta os resultados de tempo de molhabilidade, obtidos para as partículas produzidas com os diferentes agentes carreadores.

Tabela 4.8 - Valores de tempo de molhabilidade dos pós de polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.

Agente carreador	Tempo de molhabilidade (min)
Goma arábica	7,55±0,10 ^c
Maltodextrina	1,67±0,11 ^b
Dextrina	1,08±0,12 ^a

- Médias com a mesma letra na coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

O tempo de molhabilidade dos pós é definido como a capacidade de uma massa de pó a ser penetrado por um líquido, devido às forças de capilaridade (HOGEKAMP e SCHUBERT, 2003). Para um pó de molhabilidade pobre, a etapa de umedecimento é muitas vezes a taxa de controle para dispersão de pós em líquidos.

As amostras produzidas com goma arábica foram as que levaram mais tempo para submergir, enquanto que as produzidas com dextrina apresentaram um tempo de molhabilidade menor em relação às demais.

O tempo de molhabilidade menor obtido para pós de polpa de pequi com dextrina pode ser explicado pelo tamanho de partícula, pela temperatura do ar de entrada no secador. De acordo com Ferrari et al. (2012b), o tempo de molhabilidade é inversamente relacionado com o tamanho das partículas, pois partículas de tamanhos maiores apresentam mais espaços entre elas, sendo mais facilmente penetradas pela água. Por outro lado, as partículas menores são menos porosas, tornando mais difícil a penetração do líquido na matriz alimentícia, o que resulta numa fraca propriedade de reconstrução. Segundo Bhandari et al. (1993), o tempo de molhabilidade dos pós de frutas obtidos em temperaturas de secagem menores é menor do que os obtidos em temperaturas mais elevadas.

O pó produzido com goma arábica apresentou formação de grumos quando em contato com a água, o que resultou em tempos de molhabilidade relativamente longos. Isto

pode ser explicado pelo grande número de partículas finas presentes neste pó. Segundo Vissotto et al. (2006), durante a reconstituição de um alimento em pó, quando as partículas finas entram em contato com o meio de diluição, ocorre a formação de uma camada hidrofóbica que impede o líquido de penetrar.

Existe quatro etapas que são denominadas propriedades de reconstituição onde ocorre a dispersão de um pó seco em um líquido que são: a penetração do líquido para o interior da estrutura porosa devido à capilaridade (molhabilidade), a imersão das partículas ou porções do pó dentro do líquido (imersibilidade), dispersão das partículas no líquido (dispersibilidade) e dissolução, caso as partículas sejam solúveis (solubilidade) (SCHUBERT, 1993). Para pós com boas propriedades de reconstituição, estes passos devem ocorrer em poucos segundos. Portanto, pode-se dizer que as partículas de polpa de pequi com goma arábica apresentaram um tempo de molhabilidade muito alto, o que representa um aspecto negativo em relação à reconstituição deste produto. Por outro lado, os pós de polpa de pequi encapsulados com maltodextrina e dextrina apresentaram um tempo de molhabilidade baixo em relação a outros produtos na literatura (FERRARI et al., 2012b; MACHADO, 2010; TONON, 2009)

4.1.4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A morfologia das micropartículas de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina foram analisadas empregando-se a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura.

As imagens de MEV de uma população mista de microesferas de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina (Figura 4.12) revelam ausências de fissuras, rachaduras ou colapsos, indicando a formação de um filme contínuo na parede externa das microesferas. Portanto, a boa esfericidade e ausência de cavidades (ou fissuras) indicam a formação de um filme contínuo na parede externa das micropartículas e podem justificar a maior eficiência de encapsulação (LEIMANN, 2008).

As partículas microencapsuladas com maltodextrina e dextrina revelam a formação de maioria de partículas esféricas e lisas. Entretanto, as partículas microencapsuladas com goma

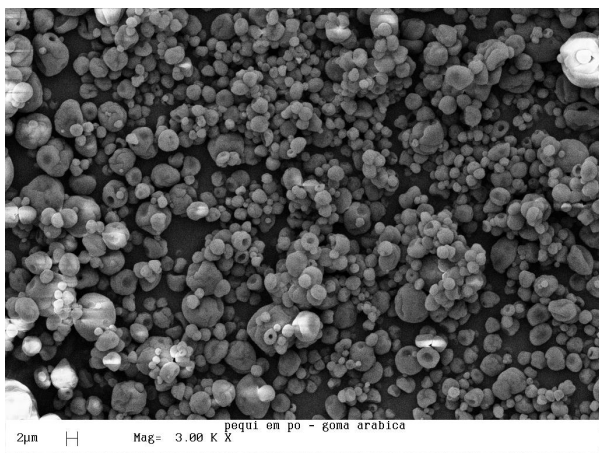
arábica apesar de apresentarem partículas esféricas e lisas, também apresentaram estruturas de formato irregular.

Em um estudo semelhante com amora em pó, Ferrari et al. (2012b) observaram que as partículas encapsuladas com goma arábica apresentaram partículas mais heterogêneas e enrugadas, quando comparadas com partículas com maltodextrina que apresentaram um grande número de partículas mais lisas. Conforme Osório et al. (2010), esferas lisas são desejáveis para a estabilidade dos ingredientes encapsulados e também para a liberação controlada.

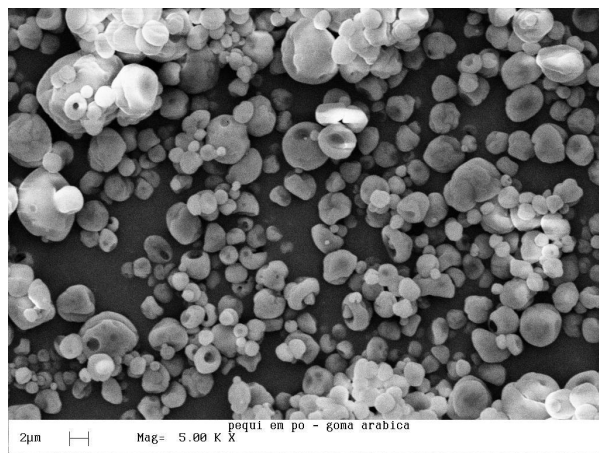
Os pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina apresentaram formação típica de microesferas, em tamanhos diferentes, devido a passagem da amostra através do secador *spray dryer*. Borrmann et al. (2012) observaram o mesmo comportamento para pós de suco de maracujá secos em *spray dryer*.

Segundo Barros e Stringheta (2006), as cápsulas são consideradas de tamanho micro quando estão dentro do limite de 0,2 a 5000 μm .

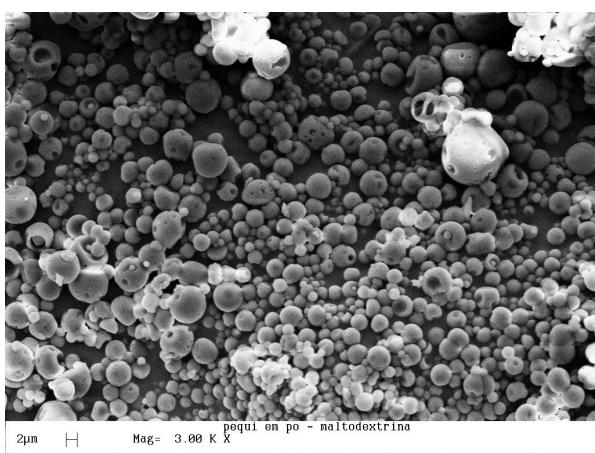
O pó de polpa de pequi microencapsulado com dextrina apresentou heterogeneidade de tamanho (maiores) e formação de aglomerados quando comparados com os demais pós com goma arábica e maltodextrina.



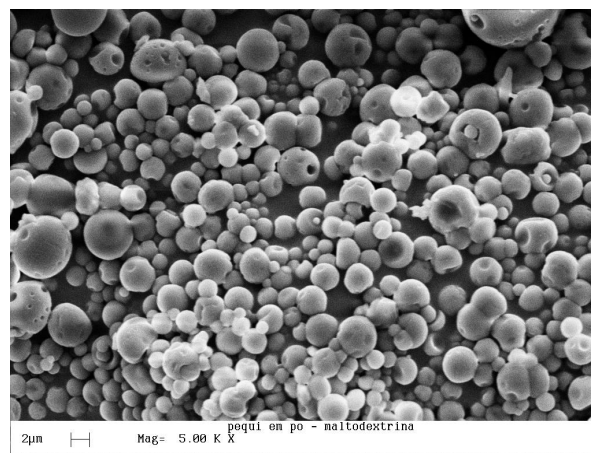
(a) 18 % goma arábica, aumento de 3000x.



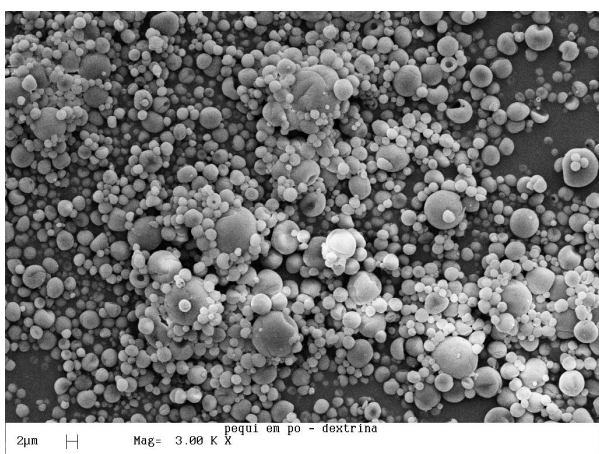
(b) 18 % goma arábica, aumento de 5000x.



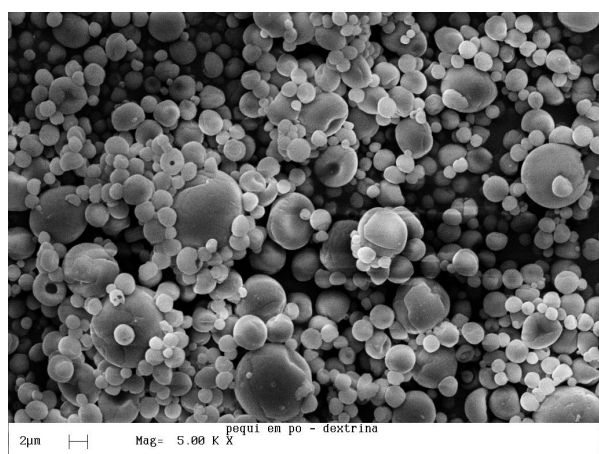
(c) 18 % maltodextrina, aumento de 3000x.



(d) 18 % maltodextrina, aumento de 5000x.



(e) 22,5 % dextrina, aumento de 3000x.



(f) 22,5 % dextrina, aumento de 5000x.

Figura 4.12 - Imagens das partículas resultantes da secagem dos pós selecionados de polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

4.1.5 Determinação das condições críticas de estocagem

4.1.5.1 Isotermas de sorção

Com a finalidade de verificar o efeito de cada encapsulante em pós de polpa de pequi, foram determinadas as curvas características de adsorção de água, construídas em temperatura ambiente (25 ± 1 °C), por intervalo de tempo suficiente para que fosse atingido o equilíbrio (cerca de 3 a 4 semanas).

Os resultados experimentais da umidade de equilíbrio obtidos para os pós de polpa de pequi produzidas com diferentes agentes carreadores, armazenadas em 8 soluções salinas saturadas com diferentes atividades de água, estão mostrados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Valores experimentais de umidade de equilíbrio a 25 °C, para as amostras de polpa de pequi produzidas com diferentes tipos de agentes carreadores.

Saís	A_w	Umidade de Equilíbrio, X_e (g/g matéria seca)		
		Goma arábica	Maltodextrina	Dextrina
LiCl	0,112	0,008	0,010	0,010
CH ₃ COOK	0,226	0,016	0,019	0,020
MgCL ₂	0,328	0,025	0,027	0,027
K ₂ CO ₂	0,432	0,032	0,034	0,036
Mg(NO ₃) ₂	0,529	0,043	0,043	0,039
KI	0,689	0,069	0,064	0,051
NaCl	0,753	0,093	0,076	0,061
KCl	0,843	0,154	0,101	0,078

As isotermas de sorção mostraram um aumento de umidade de equilíbrio com a crescente atividade de água, a temperatura constante. Tendências semelhantes foram observadas para pós de acerola, açaí, maracujá, none, morangos e amora (RIGHETTO e NETTO, 2005; TONON et al., 2009a,b,c; CATALAM et al., 2011; FABRA et al., 2011; MOSQUERA et al., 2012, FERRARI et al., 2012b).

Os valores dos desvios relativos médio, juntamente com os parâmetros das equações obtidos pelo programa computacional Statistica® (versão 9.0) utilizando-se o módulo de estimativa não linear (método de conversão Quasi -Newton), estão listados nas Tabelas 4.10.

Analizando os resultados da tabela, de forma geral as isotermas apresentaram ajustes bons em relação aos modelos testados, com valores de coeficientes de determinação superiores a 0,96. Para uma avaliação mais adequada desses ajustes, o desvio relativo médio entre os valores preditos e os observados foi determinado (Equação 3.5). Dessa forma, para as diferentes concentrações de agentes carreadores, os modelos de BET (2 parâmetros) e GAB foram os que apresentaram melhores ajustes, com desvios inferiores a 4 % e coeficientes de determinação próximos à unidade.

Por apresentar uma boa fundamentação teórica, foi realizada uma representação gráfica das isotermas de sorção da polpa de pequi em pó, ajustadas pelo modelo de BET para dois parâmetros (Figuras 4.13).

O parâmetro X_m (umidade da monocamada) corresponde à quantidade de água fortemente adsorvida em locais específicos na superfície de alimentos e é considerado como um valor ótimo para assegurar a estabilidade dos alimentos. Para os pós de polpa de pequi encapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, respectivamente, os valores de X_m obtido pelo modelo de BET (dois termos) foram de 0,025, 0,135 e 0,145 g água/g massa seca.

As isotermas podem ser classificadas de acordo com os formatos, que podem ser de cinco tipos, apresentados na Figura 2.16. No caso de alimentos, as isotermas de maior interesse são as do Tipo II e III (BRUNAUER et al., 1938).

De acordo com esta classificação, as isotermas para os pós de polpa de pequi apresentaram formatos semelhantes às do Tipo III, indicando que adsorvem relativamente baixa quantidade de água a baixas atividades de água e grande quantidade de água a altas umidades relativas.

Curvas semelhantes foram observadas para polpa de camu-camu, inulina, polpa de abacaxi, polpa de açaí, hidrolisado protéico de frango, polpa de maracujá e polpa de none em pó secos por *spray drying* (TAXI, 2001; NOGUEIRA, 2002; GABAS et al., 2007; TONON et al., 2009b; KUROZAWA, 2009; CATALAM et al., 2011 e FABRA et al., 2011).

Tabela 4.10 - Parâmetros de ajuste da isoterma dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Modelos	Agente carreador	Parâmetros de ajuste			R ²	DRM (%)
		X _m	C _{GAB}	K _{GAB}		
GAB	Goma arábica	40,361	0,001	0,695	0,979	3,3
	Maltodextrina	32,361	0,001	0,695	0,985	3,8
	Dextrina	43,361	0,001	0,695	0,985	1,3
		X _m		C _{BET}		
BET (2 parâmetros)	Goma arábica	0,025		3,694	0,997	0,2
	Maltodextrina	0,135		9,708	0,995	0,6
	Dextrina	0,145		7,708	0,995	0,9
		X _m	C _{BET}	n		
BET (3 parâmetros)	Goma arábica	3,701	0,007	3,608	0,963	16,3
	Maltodextrina	2,603	0,006	3,659	0,976	8,2
	Dextrina	3,397	0,007	3,867	0,975	12,3
		A		r		
HALSEY	Goma arábica	0,041		1,134	0,997	21,1
	Maltodextrina	0,086		1,136	0,995	12,7
	Dextrina	0,096		1,132	0,995	13,1
		k'		n'		
HANDERSON	Goma arábica	9,526		0,847	0,978	3,9
	Maltodextrina	0,724		0,733	0,985	4,0
	Dextrina	0,872		0,799	0,987	6,2
		A		B		
OSWIN	Goma arábica	0,045		0,719	0,992	2,5
	Maltodextrina	0,679		0,808	0,993	5,3
	Dextrina	0,939		0,808	0,985	5,7

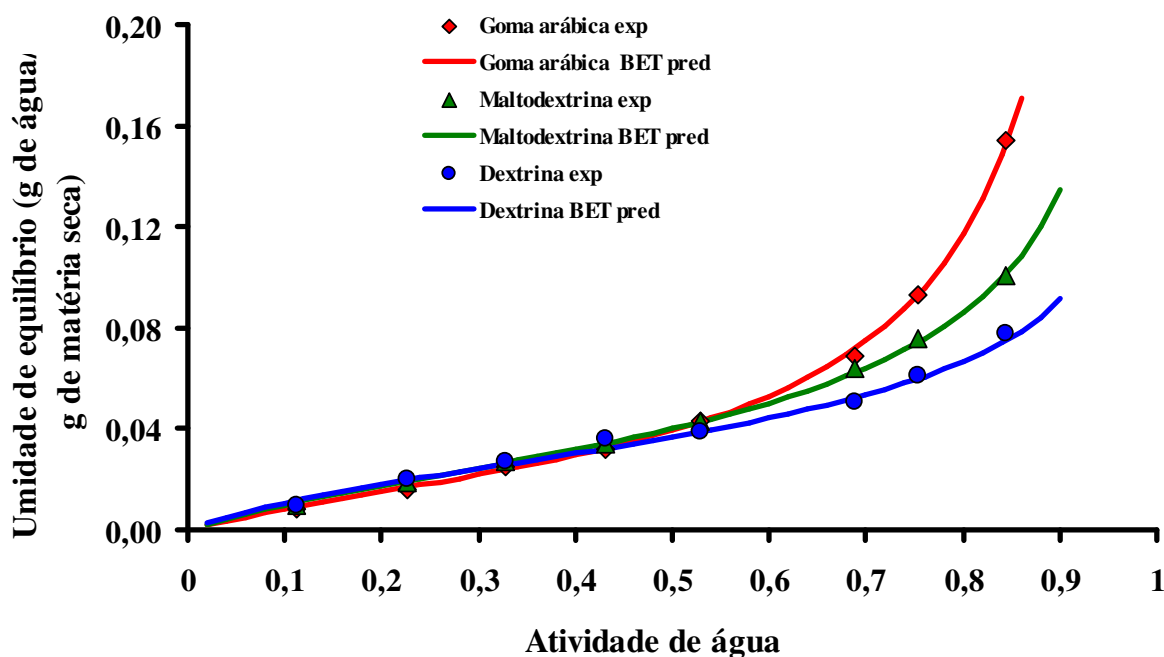


Figura 4.13 - Isotermas de sorção de polpa de pequi em pó microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, ajustadas pelo modelo de BET.

De acordo com o apresentado na Figura 4.13, a amostra produzida com dextrina foi a que apresentou a menor higroscopicidade, seguida pela maltodextrina. As amostras produzidas com goma arábica apresentaram higroscopicidade superiores às outras duas. Essa diferença na adsorção de água pode ser explicada pela estrutura química de cada agente. Comportamento semelhante foi obtido para pós de amora produzido com maltodextrina e goma arábica, no qual os pós com maltodextrina apresentaram menor adsorção de água, enquanto que as amostras produzidas com goma arábica foram mais higroscópicas (FERRARI et al., 2012b).

Segundo Tonon et al. (2009b), a diferença na adsorção de água também pode estar relacionada ao tamanho das partículas produzidas com cada agente carreador. Quanto maior o tamanho das partículas, menor é a área de superfície exposta e, conseqüentemente, menor a adsorção de água do ambiente. A autora explica que a maior adsorção de água apresentada pelas amostras produzidas com maltodextrina e goma arábica (que tiveram o menor diâmetro médio) e a menor higroscopicidade apresentada pelas partículas produzidas com fécula de mandioca (maior diâmetro médio). Estes resultados estão de acordo com os obtidos neste

trabalho, no qual os pós com maltodextrina e goma arábica foram as que apresentaram menores diâmetros médios e dextrina foi que apresentou maior diâmetro médio.

Algumas mudanças visuais nas características físicas dos pós armazenados em diferentes umidades relativas foram observadas. Quando armazenadas sob umidades relativas de até 69 %, as partículas permaneceram na forma de um pó solto, para todos os agentes carreadores utilizados. Em uma umidade relativa de 75 %, as partículas com goma arábica começaram a apresentar a formação de aglomerados que não se soltavam mais com tanta facilidade e as partículas com maltodextrina e dextrina apresentavam ainda aparência de um “pasta muito pegajosa”. Quando armazenadas na umidade relativa mais alta (84 %), as amostras produzidas com maltodextrina e dextrina continuaram com a aparência de um “pasta muito pegajosa”. A amostra produzida com goma arábica apresentou partículas semelhantes às aquelas armazenadas a 75 %, observando-se o escurecimento e o aumento da aglomeração, com o aumento da umidade relativa.

O *caking* ou colapso é um fenômeno danoso no qual um pó totalmente solto é transformado em torrões, formando em seguida um aglomerado sólido, e finalmente um material adesivo, resultando em perda de funcionalidade e redução da qualidade. A formação de pontes é o estágio inicial do *caking*, e ocorre como o resultado da deformação da superfície, estabelecendo-se pontos de contato entre as partículas, sem uma diminuição mensurável da porosidade. De acordo os autores, no início do *caking*, essas pequenas pontes entre as partículas podem ser desintegradas com uma leve agitação. O estágio seguinte é aglomeração, que envolve uma consolidação irreversível das pontes, mas a porosidade do sistema é mantida, resultando em grupos de partículas com integridade estrutural. A compactação é um estágio ainda mais avançado e está associada a uma perda pronunciada da integridade do sistema, como resultado do espessamento das pontes interpartículas devido à redução dos espaços entre as partículas e à deformação dos agrupamentos sob pressão. No estágio final do *caking*, as pontes desaparecem, como resultado da liquefação da amostra, devido a alta umidade, acarretando em uma solubilização das frações de baixo peso molecular (AGUILERA et al., 1995).

Para todos os pós obtidos utilizando maltodextrina, dextrina ou goma arábica, não houve aparecimento visual de nenhuma colônia de fungos, apesar de apresentarem um “líquido brilhante” em cima dos pós.

4.1.5.2 Temperatura de transição vítrea

Para produtos em pó, a temperatura de transição vítrea é considerada como um parâmetro crítico, desde o colapso, viscosidade, endurecimento, problemas de aglomeração e fenômenos de re-cristalização podem ser evitados no estado vítreo da matriz amorfa (ROOS, 1995; FANG e BHANDARI, 2011; MORAGA et al., 2012).

Esta análise foi realizada apenas para os pós de polpa de pequi com dextrina. Este encapsulante foi escolhido por conservar melhor os carotenoides totais, apresentar menor valor de higroscopicidade e tempo de molhabilidade, além de apresentar menores valores de umidade de equilíbrio em maiores valores de atividade de água.

Na Figura 4.14 apresenta o termograma da amostra de polpa de pequi produzida com dextrina e armazenada em umidade relativa de 22,6 %.

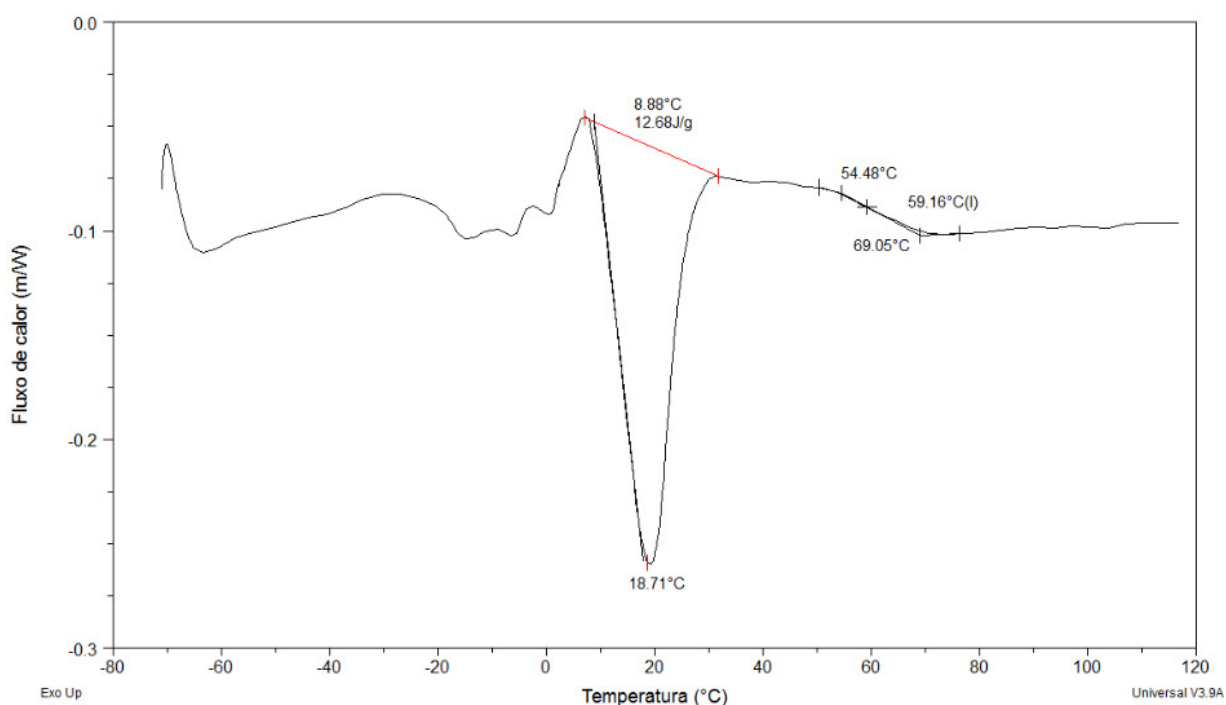


Figura 4.14 - Termograma obtido para a amostra de polpa de pequi produzida com dextrina, armazenada em umidade relativa de 22,6 %.

As temperaturas de transição vítrea (T_g , “*midpoint*”) e os picos endotérmicos obtidos para o pó de polpa de pequi com dextrina armazenadas em diferentes atividades de água estão

apresentados na Tabela 4.11. Um forte efeito plasticizante da água na temperatura de transição vítrea foi verificado, com uma grande redução da T_g com o aumento da atividade de água, como esperado. Este mesmo comportamento foi observado por Fang e Bhandari (2011), Fabra et al. (2011), Mosquera et al. (2010), Tonon et al. (2009b) em pós de *bayberry*, noni, borojó (*Borojoa patinoi cuatrec*) e açai, respectivamente.

Mariano (2008) encontrou ponto de fusão dos lipídeos de polpa de pequi na faixa de 26-30 °C, classificados segunda a legislação como gordura vegetal. Os pontos endotérmicos encontrados para os pós de polpa de pequi condiz com o ponto de fusão dos lipídeos presente na polpa de pequi.

Tabela 4.11 - Temperatura de transição vítrea do pó de polpa de pequi com dextrina armazenados em diferentes atividade de água.

Sais	A_w	T_g (°C)	Ponto de fusão dos lipídeos (°C)
LiCl	0,112	76,11±3,09	18,80±0,58
CH ₃ COOK	0,226	66,67±1,65	18,86±0,49
MgCL ₂	0,328	59,22±0,08	18,81±0,14
K ₂ CO ₂	0,432	51,67±3,91	18,33±0,22
Mg(NO ₃) ₂	0,529	38,54±3,34	18,38±0,28
KI	0,689	14,32±0,10	18,00±0,09
NaCl	0,753	-8,43±0,32	18,34±0,40
KCl	0,843	-17,82±0,86	18,48±0,59

Os dados experimentais de T_g foram ajustados pelo modelo de Gordon-Taylor, apresentando um R^2 de 96 % e pequeno desvio relativo médio (DRM). Os parâmetros estimados por este modelo estão apresentados na Tabela 4.12 e a curva obtida está apresentada na Figura 4.15.

Tabela 4.12 - Parâmetros de ajuste do modelo de Gordon-Taylor do pó de polpa de pequi com dextrina.

Parâmetros	Agente carreador
	Dextrina
T_{gs} (°C)	114,51
k_{GT}	12,12
R^2	0,962
DRM (%)	1,32

O parâmetro k_{GT} , segundo Gordon e Taylor (1952), controla o grau de curvatura da dependência da T_g em relação ao conteúdo de água (em um sistema binário) e pode ser relacionado à força de interação entre os componentes do sistema. O valor encontrado neste trabalho para os pós de polpa de pequi com dextrina foi superior aos obtidos por Moraga et al. (2012) e Mosquera et al. (2012) para pós de borojó (*Borojoa patinoi cuatrec*) e morango que foram de 3,7-4,1 e 4,1-6,6, respectivamente.

Os valores de T_{gs} obtidos podem explicar a dificuldade em secar o extrato de polpa de pequi puro (sem a adição de um agente carreador). Alguns trabalhos têm demonstrado que a adição de agentes carreadores como maltodextrina e goma arábica leva a um considerável aumento no valor de T_{gs} , por aumentar a massa molecular do produto, devido à adição de sólidos. Kurozawa et al. (2009) obtiveram um valor de T_{gs} de 44,43 °C para o hidrolisado proteico de peito de frango seco em *spray dryer* sem nenhum agente carreador, enquanto que a adição de 10 % de maltodextrina 10DE ou de goma arábica levou a valores de T_{gs} de 91,90 e 94,70 °C, respectivamente. Mosquera et al. (2012) encontraram valores de T_{gs} para pós de morango seco em liofilizador sem nenhum agente carreador de 68 °C, enquanto que a adição de maltodextrina fez o valor da T_g subi para 76 °C e com a adição de goma arábica para 101 °C. Portanto, os sólidos presentes no extrato de polpa de pequi provavelmente apresentam uma temperatura de transição vítrea muito mais baixa do que as obtidas para as amostras produzidas com os agentes carreadores. De acordo com Truong et al. (2005), a temperatura pegajosidade (temperatura na qual o material apresenta uma grande pegajosidade) é geralmente cerca de 10-23 °C mais alta do que a temperatura de transição vítrea e, na secagem

por aspersão, as partículas que estão acima dessa temperatura aderem à parede do secador e se degradam e/ou se aglomeram, afetando negativamente as propriedades de fluxo do pó. Segundo Tonon (2009), se a “temperatura de pegajosidade” é provavelmente mais baixa ou próxima da temperatura de saída do secador, isso resultaria em um alto grau de pegajosidade e, portanto, em um rendimento insignificante de pó. No caso do extrato da polpa de pequi, a “temperatura de pegajosidade” pode ter sido mais baixa ou próxima da temperatura de saída do secador (em torno de 100 °C) e com isto não foi possível obter pó do extrato sem a adição de encapsulantes, ficando o material aderido na parede do secador.

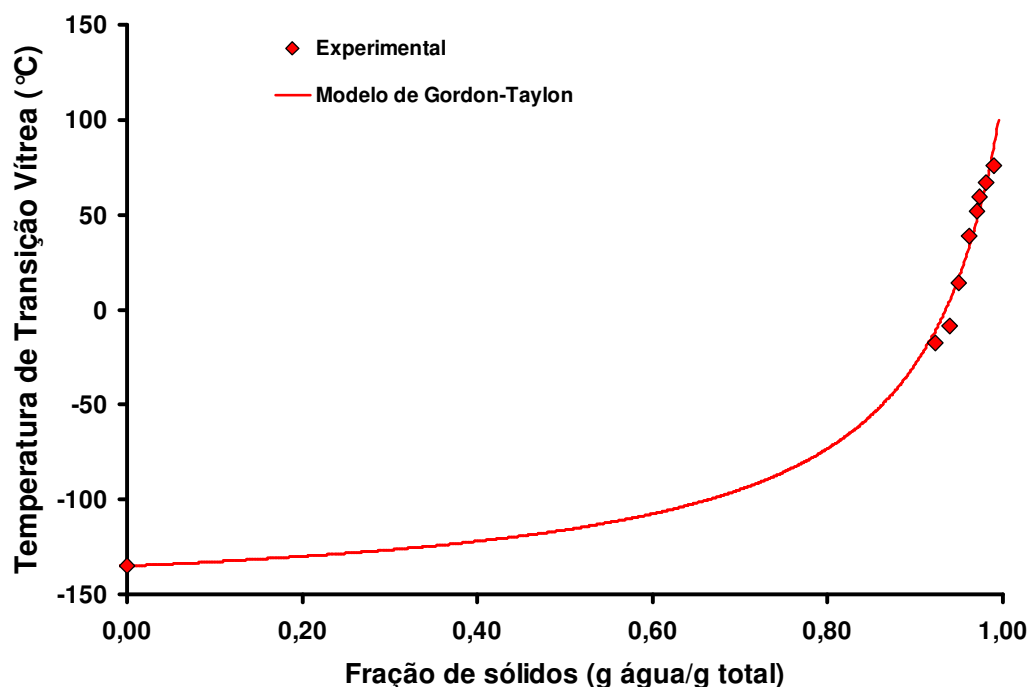


Figura 4.15 - Temperatura de transição vítrea em função do conteúdo de sólidos para a polpa de pequi em pó microencapsulada com dextrina.

4.1.5.3 Condições críticas de estocagem

Mudanças na umidade relativa da atmosfera em contato com os pós de frutos implicam em mudanças no conteúdo de água e no seu valor de A_w , de acordo com as isotermas de sorção, o que, por sua vez, podem induzir a transição vítrea da fase amorfa

(MOSQUERA et al., 2012). Todos os produtos amorfos são metaestáveis, que estão sujeitos a mudanças físicas e químicas durante estocagem (ROOS e KAREL, 1990; SHRESTHA et al., 2007).

O uso combinado da equação de Gordon-Taylor com os modelos matemáticos que descrevem as curvas de sorção, possibilitando descrever o efeito plasticizante da água e avaliar a estabilidade dos alimentos foi sugerido por Roos (1995). Dessa forma, analisando a isoterma de sorção a 25 °C e a T_g em um único gráfico (Figura 4.16), é possível localizar os valores críticos de atividade de água e umidade, definidos com aqueles que reduzem a T_g para a temperatura ambiente. Os valores de T_g e de conteúdo de água, a uma dada atividade de água, foram preditos através das equações de Gordon-Taylor e BET (2 parâmetros). O modelo de BET foi ajustado dos dados experimentais obtidos a 25 °C através de uma análise de regressão não-linear. Os valores dos parâmetros obtidos foram: $X_m = 0,145$ g água/g massa seca, $C_{BET} = 7,708$ e coeficiente de determinação (R^2) e o desvio relativo médio (DMR) foram iguais a 0,995 e 0,9 %, respectivamente.

Os valores críticos de atividade de água e umidade dos pós de polpa de pequi com dextrina foram 0,62 e 0,047 g água/g massa seca a uma temperatura de estocagem de 25 °C, respectivamente. Isto significa que quando o pó é armazenado a 25 °C, a umidade relativa máxima a qual este pode ser exposto é 62 % e a umidade é de 4,7 %. No entanto, quando armazenado em uma umidade relativa maior que 62 % (à 25 °C), ou a uma temperatura maior que 25 °C (à A_w de 0,62), o pó apresenta transformações físicas como colapso, pegajosidade e *caking*. Valores semelhantes de atividade de água e umidade críticos foram obtidos por Tonon et al. (2009b), Fabra et al. (2011) e Mosquera et al. (2012) estudando pós de açaí, none e morango, respectivamente.

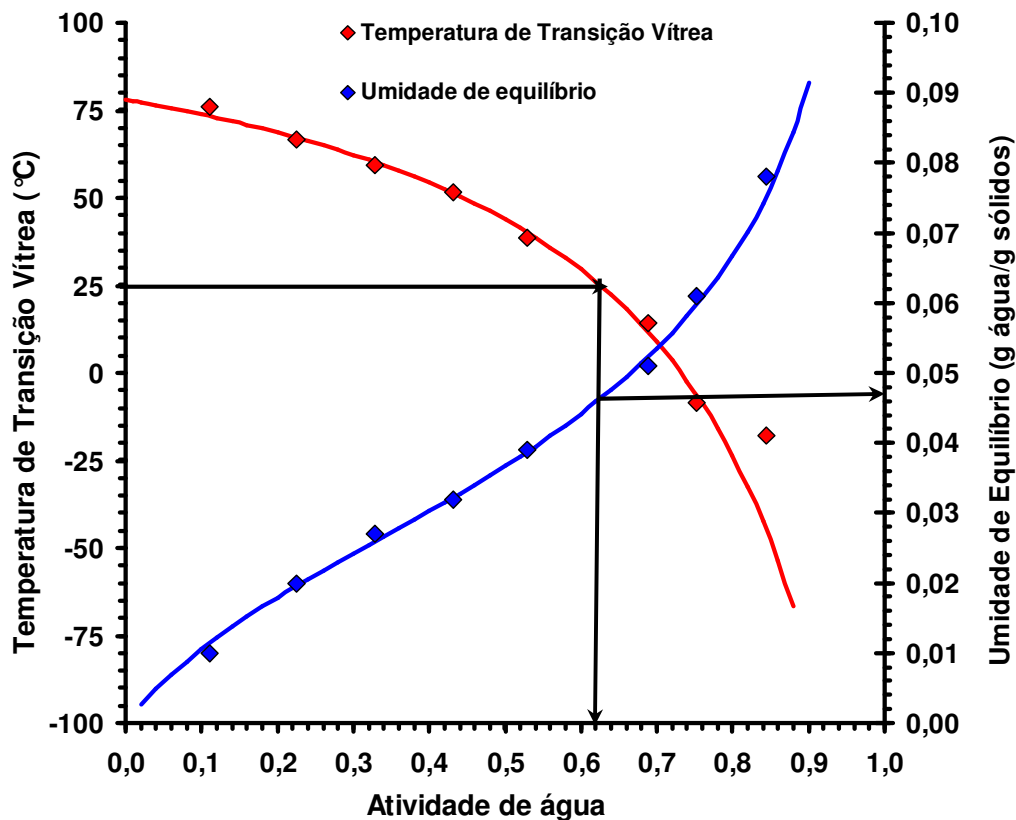


Figura 4.16 - Variação da temperatura de transição vítrea e da umidade de equilíbrio, em função da atividade de água, para a polpa de pequi em pó microencapsulada com dextrina.

Com base nestes resultados, foram escolhidas duas umidades relativas de 23 % (CH_3COOK) e 43 % (K_2CO_2) para fazer o estudo da estabilidade dos pós durante 120 dias de estocagem. Estas umidades relativas foram escolhidas com o intuito de estudar a estabilidade dos pós numa baixa umidade relativa e em uma próxima a umidade crítica. Foram utilizados também duas temperaturas diferentes, 25 °C (temperatura ambiente) e 35 °C (temperatura que causa a estabilidade acelerada).

4.1.6 Estabilidade durante a estocagem

4.1.6.1 Oxidação lipídica

O estudo da vida-de-prateleira das partículas de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica e maltodextrina foi baseada nos resultados obtidos das condições críticas de estocagem dos pós com dextrina.

A oxidação lipídica ocorre por meio de reações entre gorduras insaturadas e oxigênio. Este tipo de reação é muito comum em alimentos desidratados, podendo, em muitos casos, representar o principal mecanismo de deterioração (TEIXEIRA NETO e MOURA, 2010).

A estabilidade oxidativa dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina armazenados em ambientes e temperaturas controladas foi avaliada pela medida do índice de peróxidos (Figura 4.17).

De acordo com esta figura, os produtos em pó sofreram oxidação com o tempo de armazenamento, o que já se esperava, pois os extratos de polpa de pequi utilizados continham uma grande quantidade de gorduras, em torno de 30 %, e produtos gordurosos com o tempo de armazenamento tendem a sofrer rancificação através do processo de oxidação de lipídios. Ou seja, tendem a sofrer reações como a decomposição dos hidroperóxidos que reagem com o oxigênio e aceleram o processo oxidativo. Os pós com goma arábica mostraram-se menos oxidados durante todo o armazenamento do que as amostras com maltodextrina ou dextrina. Isto pode ser atribuído a uma boa encapsulação das partículas com goma arábica que, possivelmente apresentou menor contato com o oxigênio. De acordo com Gharsallaoui et al. (2007), um bom material de parede é capaz de encapsular o material do núcleo no interior da estrutura esférica e atuar como um escudo protetor a partir da oxidação no material do núcleo, quando submetido ao oxigênio atmosférico, o que permite uma vida útil prolongada do material do núcleo.

A temperatura e a atividade de água influenciaram a estabilidade oxidativa dos pós de polpa de pequi. Para todas as amostras, foi na temperatura de 25 °C e 0,23 de atividade de água que houve o menor processo oxidativo. Por outro lado, a maior oxidação ocorreu no ambiente de temperatura de 35 °C e 0,43 de atividade de água. Os demais tratamentos

mantiveram-se em pontos muito parecidos. Segundo Silva et al. (1999), a atividade de água presente na matriz pode afetar a estabilidade oxidativa dos lipídeos. Em atividades de água entre 0,20 e 0,30, as velocidades oxidativas são lentas e acima desta faixa, os processos são altos, ocasionados provavelmente pelo favorecimento de reações de oxidação enzimática e da capacidade de mobilização de metais de transição (pró-oxidantes) pela água.

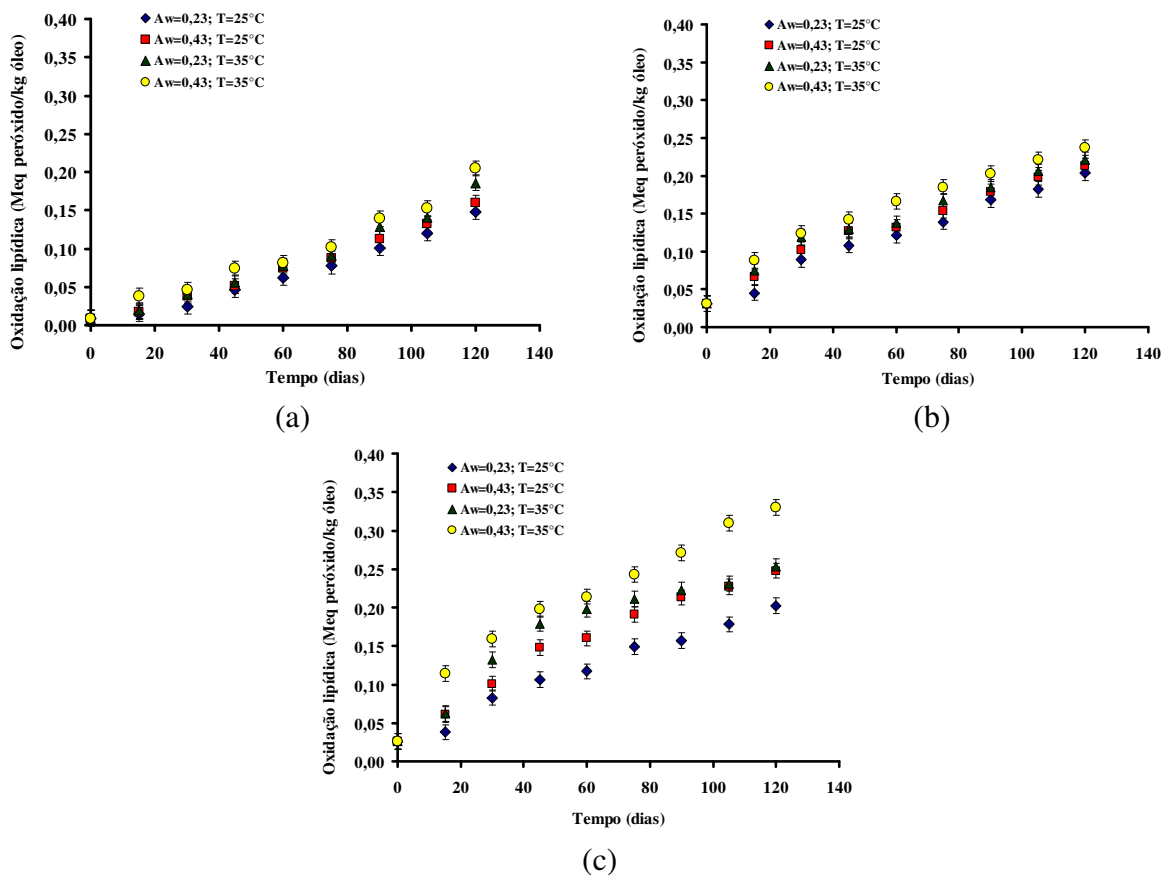


Figura 4.17 - Cinética de degradação oxidativa nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Os valores dos parâmetros cinéticos da estabilidade oxidativa da polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina estão apresentados na Tabela 4.13. O melhor modelo que descreve a reação neste caso foi o de ordem zero, pois apresentou maiores valores de coeficientes de determinação que os obtidos nos modelos de 1^a e 2^a ordem.

O tempo de meia-vida da oxidação lipídica ($t_{1/2}$) foi determinado como o tempo no qual a oxidação lipídica presente nas amostras dobrou. Neste caso, as partículas que apresentarem menores valores de $t_{1/2}$ serão as que sofrerão menos os processos de oxidação dos lipídeos. Os pós de pequi com goma arábica apresentaram os menores valores de $t_{1/2}$, em todas as temperaturas e atividade de água estudadas, confirmando o bom processo de encapsulamento das partículas.

Tabela 4.13 - Parâmetros cinéticos da degradação oxidativa dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	Zero	0,0012	1,46	0,978
		0,43	Zero	0,0013	0,00	0,988
	35	0,23	Zero	0,0014	1,53	0,974
		0,43	Zero	0,0015	0,96	0,966
	25	0,23	Zero	0,0014	15,53	0,986
		0,43	Zero	0,0015	12,36	0,976
Maltodextrina	35	0,23	Zero	0,0015	18,84	0,962
		0,43	Zero	0,0016	17,50	0,955
	25	0,23	Zero	0,0015	11,83	0,981
		0,43	Zero	0,0018	9,90	0,971
Dextrina	35	0,23	Zero	0,0018	16,58	0,888
		0,43	Zero	0,0023	15,00	0,955

O aumento da temperatura de estocagem levou a uma oxidação mais rápida dos lipídeos. Segundo Teixeira Neto et al. (2010), a velocidade das reações em alimentos aumenta com o aumento da temperatura; contudo, conforme a faixa de temperatura estudada, os mecanismos ou mesmo o tipo de reação podem mudar completamente. O aumento da velocidade de reação com a temperatura pode ser observado no cálculo do fator Q_{10} (Tabela 4.14), que foi maior que 1 para todas as amostras, confirmando o aumento na oxidação lipídica

para uma temperatura 10 °C maior. Segundo Vitali et al. (2010), na avaliação de vida-de-prateleira de um produto desidratado, pode-se empregar o fator Q_{10} igual a 2, que é aproximadamente o Q_{10} da reação de rancidez oxidativa.

Tabela 4.14 - Valores de Q_{10} obtidos na análise de oxidação lipídica para as amostras de polpa de pequi atomizadas e estocadas em diferentes A_w 's.

Agente Carreador	A_w	Q_{10}
Goma arábica	0,23	1,07
	0,43	1,15
Maltodextrina	0,23	1,07
	0,43	1,17
Dextrina	0,23	1,20
	0,43	1,28

4.1.6.2 Teor de carotenoides

Na Figura 4.18 estão apresentados a cinética de degradação dos carotenoides nas partículas de polpa de pequi produzidas com todos os agentes carreadores.

Inicialmente as partículas de polpa de pequi microencapsuladas com dextrina apresentaram maiores valores de carotenoides totais. No entanto, com o armazenamento, estas partículas se mostraram menos estáveis que as demais partículas estudadas, apresentando uma maior taxa de degradação, sendo visualmente percebidas as perdas de pigmentos como o β -caroteno presente na polpa de pequi. As partículas microencapsuladas com maltodextrina foram as que conservaram melhor os carotenoides durante a estocagem. A maior taxa de degradação pode ser atribuída ao material que não foi encapsulado e, conseqüentemente, apresenta maior contato com o oxigênio, ou mesmo ao material em contato com o oxigênio contido no interior dos poros das partículas.

Para todas as amostras, a maior adsorção de água no início da estocagem também pode ser responsável pela maior taxa de degradação dos carotenoides, uma vez que as amostras demoraram cerca de 45 dias para atingirem a umidade de equilíbrio.

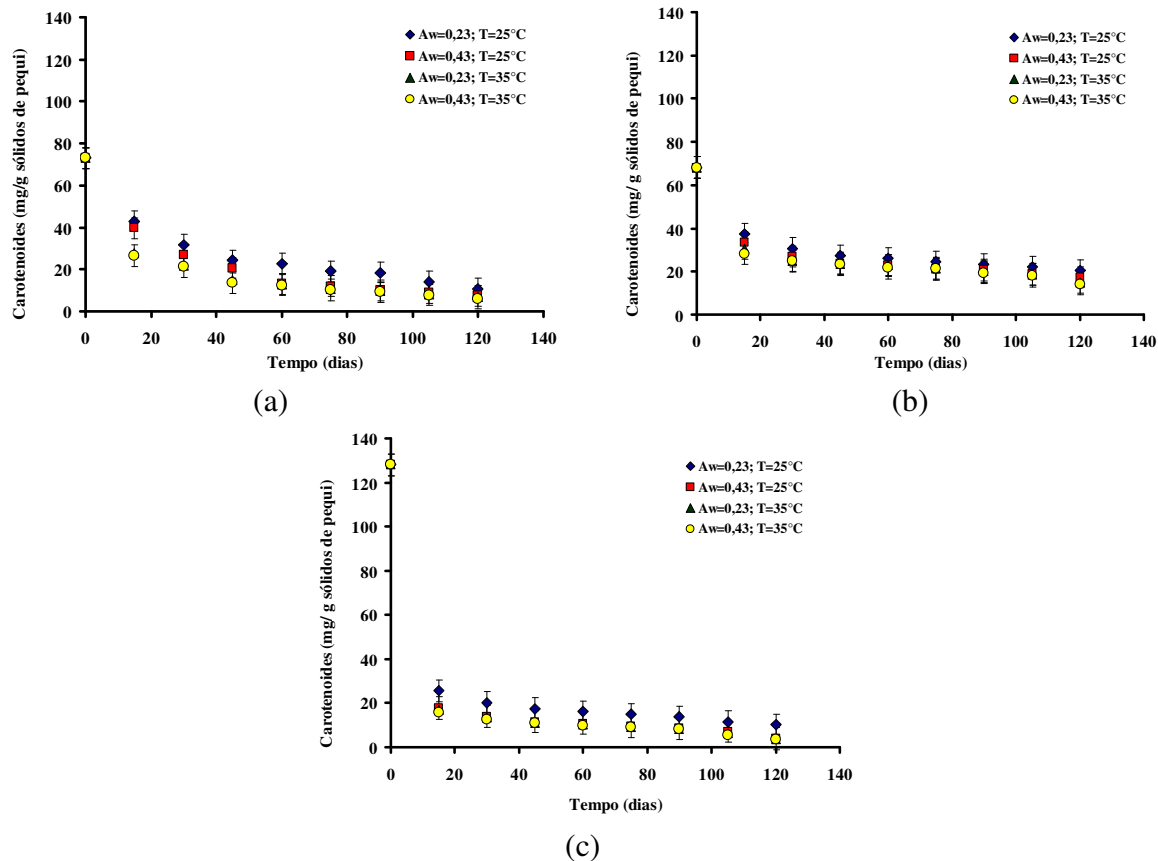


Figura 4.18 - Cinética de degradação dos carotenoides nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

A temperatura e a atividade de água influenciaram a estabilidade dos carotenoides dos pós de polpa de pequi. Para todas as amostras, o ambiente que conservou melhor os carotenoides foi a temperatura de 25 °C e 0,23 de atividade de água. No entanto, os demais ambientes se mantiveram praticamente iguais para todos os encapsulantes.

Os carotenoides são moléculas com a estrutura altamente insaturada, o que os torna muito susceptíveis à oxidação e isomerização. Sua estabilidade depende da exposição à luz e alta temperatura e da matriz do alimento, pois a oxidação e a isomerização são promovidas pela presença de enzimas liberadas nos cortes e trituração dos mesmos, presença de radicais livres, metais, ácidos orgânicos e lipídeos insaturados (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA et al., 2008). O longo tempo de exposição (120 dias) das partículas à

luz (ambiente com lâmpadas ligadas 24 horas sem interrupção) levou a uma perda mais rápida dos carotenoides durante a estocagem.

Na Tabela 4.15 estão apresentados os valores dos parâmetros cinéticos da estabilidade dos carotenoides da polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina. Os melhores coeficientes de determinação foram obtidos para reações de segunda ordem. O tempo de meia-vida dos carotenoides ($t_{1/2}$) foi determinado como o tempo no qual a concentração de carotenoides presente nas amostras caiu pela metade.

Tabela 4.15 - Parâmetros cinéticos da degradação dos carotenoides dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	2 ^a	0,0006	21,33	0,944
		0,43	2 ^a	0,0010	10,20	0,990
	35	0,23	2 ^a	0,0010	16,50	0,987
		0,43	2 ^a	0,0011	13,79	0,975
Maltodextrina	25	0,23	2 ^a	0,0002	90,29	0,895
		0,43	2 ^a	0,0003	78,60	0,893
	35	0,23	2 ^a	0,0003	72,94	0,880
		0,43	2 ^a	0,0003	69,45	0,869
Dextrina	25	0,23	2 ^a	0,0006	36,16	0,924
		0,43	2 ^a	0,0015	9,22	0,813
	35	0,23	2 ^a	0,0016	7,73	0,828
		0,43	2 ^a	0,0267	0,63	0,833

Como pode ser observado na Figura 4.18 e na Tabela 4.15, as partículas encapsuladas com maltodextrina resultaram em um efeito mais protetor do que as partículas com goma arábica ou dextrina, para todos os ambientes estudados.

Com o aumento da temperatura de armazenamento, houve a degradação mais rápida dos carotenoides, o que era esperado, dada a sensibilidade destes pigmentos à temperatura. Na

Tabela 4.16 pode ser observado fator Q_{10} que calcula o aumento da velocidade de reação com a temperatura. Todas as amostras apresentou um Q_{10} maior que 1, confirmando a degradação dos carotenoides com o aumento de 10 °C na temperatura. As partículas encapsuladas com dextrina foram altamente influenciadas pela temperatura, no qual as partículas armazenadas em ambientes com 43 % UR, em temperatura de 25 °C por exemplo, apresentaram vida-de-prateleira de aproximadamente 18 vezes mais longa do que a 35 °C.

Tabela 4.16 - Valores de Q_{10} obtidos na análise de carotenoides para as amostras atomizadas e estocadas em diferentes A_w 's.

Agente Carreador	A_w	Q_{10}
Goma arábica	0,23	1,67
	0,43	1,14
Maltodextrina	0,23	1,35
	0,43	1,16
Dextrina	0,23	2,59
	0,43	17,92

4.1.6.3 Cor

A diferença do padrão de cor (ΔE^*) é calculada através dos parâmetros L^* , a^* e b^* da amostra e de um padrão estabelecido como comparação (HUNTERLAB, 1996). Neste caso, foi utilizado os valores do tempo zero de armazenamento como padrão.

Na Figura 4.19 estão mostrados os valores de degradação de cor através da diferença total de cor para as partículas de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina. A ΔE^* sofreu influência da temperatura e da atividade de água, para todos os encapsulantes utilizados. Para todas as amostras, o ambiente que conservou melhor a diferença total de cor foi na temperatura de 25 °C e 0,23 de atividade de água. No entanto, os demais ambientes se mantiveram praticamente iguais para todos os encapsulantes. O mesmo fato foi observado para a degradação dos carotenoides totais. As mudanças de cor ocorrem devido a um grande número de diferentes reações que geralmente alteram a cor natural do

alimento, como reações de oxidação de carotenoides ou de co-oxidação de lipídeos que causam perdas na cor, assim como reações enzimáticas e não-enzimáticas que podem escurecer o alimento.

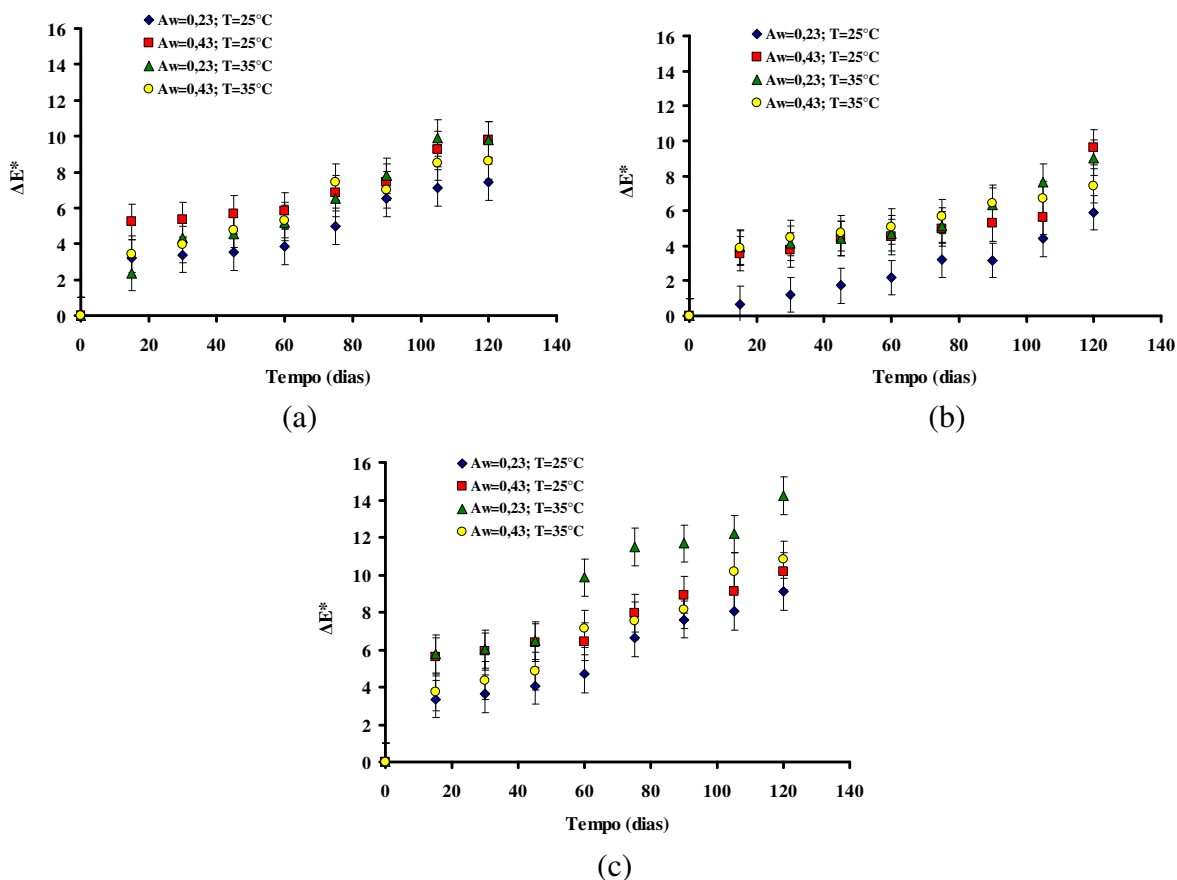


Figura 4.19 - Cinética de degradação do parâmetro de ΔE^* nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Os valores dos parâmetros cinéticos de ΔE^* na estabilidade da polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina estão mostrados na Tabela 4.17. Foi utilizado o tipo de reação de primeira ordem por apresentarem os melhores valores de R^2 . O tempo de meia-vida da estabilidade de cor pelo ΔE^* ($t_{1/2}$) foi determinado como o tempo no qual a diferença total de cor presente nas amostras dobrou. Assim como o que ocorreu com os carotenoides totais, as partículas encapsuladas com maltodextrina resultaram em um efeito mais protetor do que as partículas com goma arábica ou dextrina.

Tabela 4.17 - Parâmetros cinéticos da ΔE^* dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	1 ^a	0,0090	77	0,936
		0,43	1 ^a	0,0060	116	0,933
	35	0,23	1 ^a	0,0120	58	0,931
		0,43	1 ^a	0,0090	77	0,947
Maltodextrina	25	0,23	1 ^a	0,0189	37	0,962
		0,43	1 ^a	0,0076	91	0,822
	35	0,23	1 ^a	0,0080	87	0,936
		0,43	1 ^a	0,0061	114	0,991
Dextrina	25	0,23	1 ^a	0,0127	55	0,974
		0,43	1 ^a	0,0060	116	0,958
	35	0,23	1 ^a	0,0106	75	0,965
		0,43	1 ^a	0,0093	65	0,915

O croma é a intensidade e a pureza da cor, independente do quão clara ou escura é a cor. Uma cor com alto valor de croma parece luminosa ou concentrada, enquanto uma cor de baixo croma parece pálida, acinzentada ou diluída. Na Figura 4.20 encontram-se os gráficos de intensidade da cor dos pós de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina, durante a estocagem. Como o croma é dependente de a^* e b^* na mesma intensidade, verificou-se que estes resultados sofreram mais influência da cor amarela que da cor vermelha, o que já era esperado, visto que a polpa de pequi apresenta cor amarela.

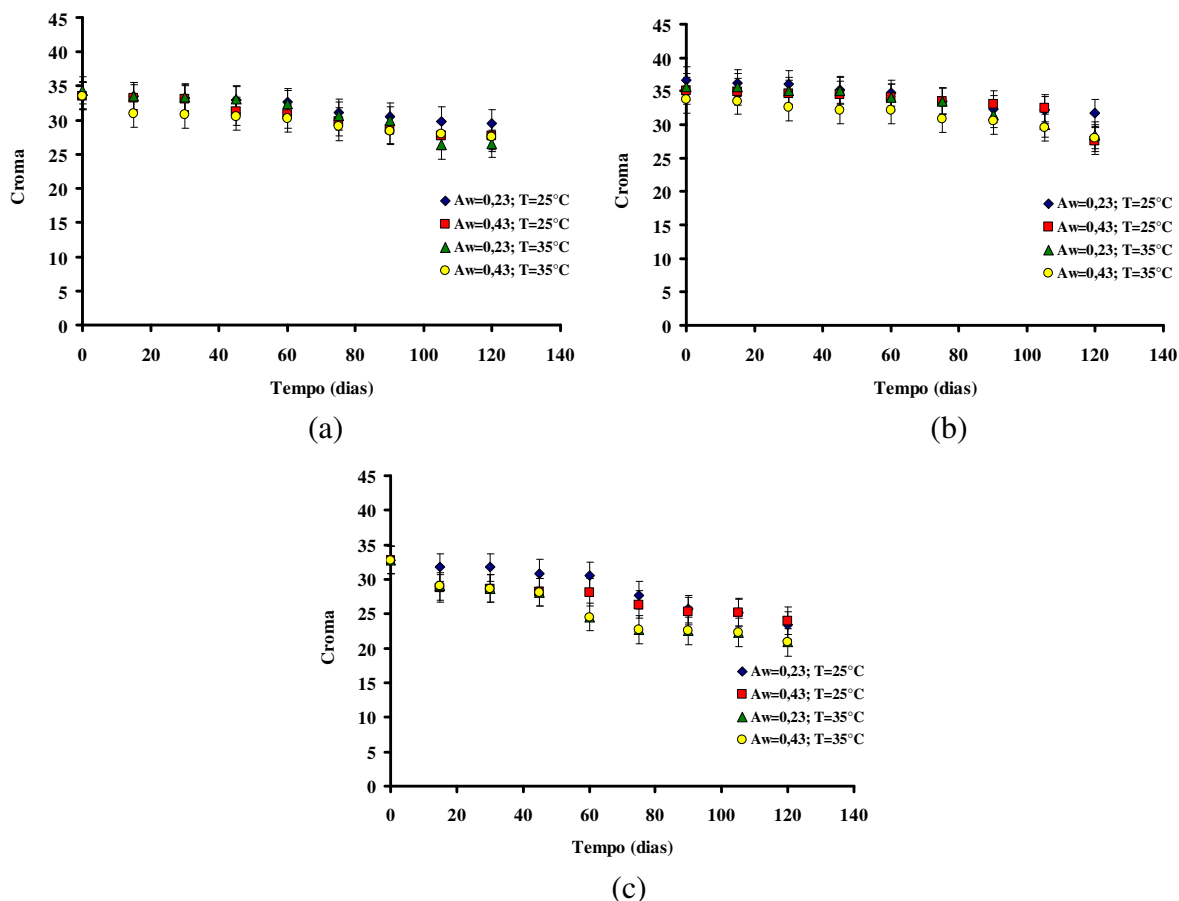


Figura 4.20 - Cinética de degradação do parâmetro de cor croma nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Na Tabela 4.18 estão apresentados os parâmetros cinéticos de degradação do croma durante a estocagem. Os melhores valores de R^2 foram obtidos para as reações de 1ª ordem. O $t_{1/2}$ foi determinado como o tempo no qual a intensidade da cor das partículas de polpa de pequi caiu pela metade. Não houve uma distinção objetiva entre os tratamentos para todos os encapsulantes utilizados, sendo que as partículas com goma arábica mostrou que conservou melhor a intensidade da cor.

Tabela 4.18 - Parâmetros cinéticos de cor C^* dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	1 ^a	0,0010	693	0,936
		0,43	1 ^a	0,0010	693	0,968
	35	0,23	1 ^a	0,0020	347	0,871
		0,43	1 ^a	0,0010	693	0,934
Maltodextrina	25	0,23	1 ^a	0,0013	533	0,966
		0,43	1 ^a	0,0015	462	0,965
	35	0,23	1 ^a	0,0019	365	0,875
		0,43	1 ^a	0,0014	495	0,933
Dextrina	25	0,23	1 ^a	0,0029	239	0,926
		0,43	1 ^a	0,0022	315	0,908
	35	0,23	1 ^a	0,0037	187	0,943
		0,43	1 ^a	0,0037	187	0,943

O ângulo de tom ou ângulo de tonalidade ou ângulo hue (h°) é o atributo que normalmente se identifica com o nome da cor como vermelho (0°), amarelo (90°), verde (180°) e azul (270°). Na Figura 4.21 estão mostrados o ângulo de tonalidade obtido para as partículas de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina. Como pode ser observado, o ângulo de tonalidade das cápsulas tem predominância de cor amarela.

A temperatura e a atividade de água influenciaram a estabilidade do ângulo de tom dos pós de polpa de pequi. Para todas as amostras, foi na temperatura de 25°C e 0,23 de atividade de água que houve o menor processo de perda da cor amarela. Por outro lado, a maior perda dessa cor ocorreu nos ambiente de temperatura de 35°C e 0,43 de atividade de água. Os demais tratamentos mantiveram-se muito parecidos em todos os pontos.

Os pós com goma arábica e maltodextrina mantiveram comportamento parecidos para todos os tratamentos utilizados. Enquanto que, para os pós com dextrina o tratamento com

temperatura de 35 °C e atividade de 0,43 mostrou um decaimento muito grande da cor amarela em comparação aos demais tratamentos.

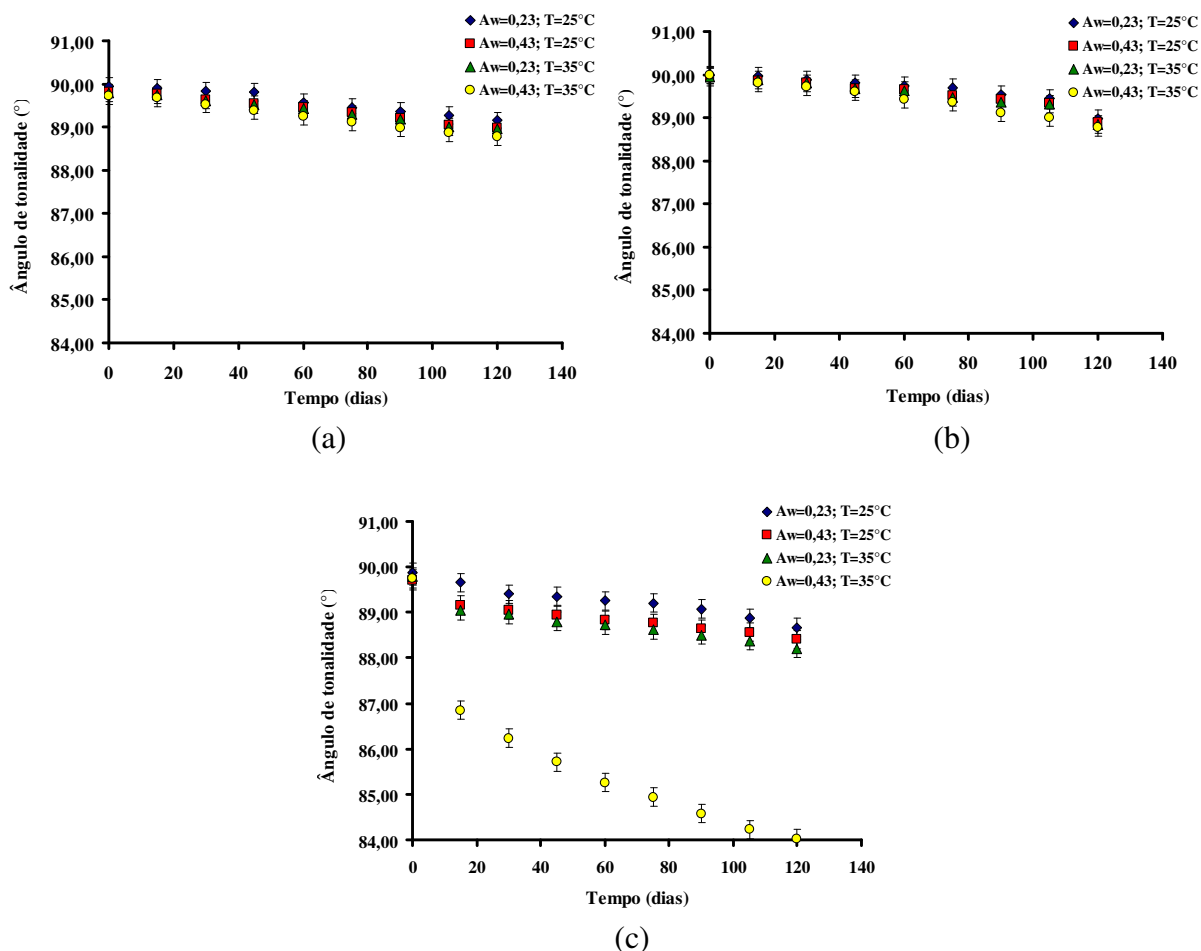


Figura 4.21 - Cinética de degradação do parâmetro de cor h° nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Na Tabela 4.19 estão apresentados os parâmetros cinéticos do ângulo de tom dos pós de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina. Assim como a ΔE^* e o croma, o tipo de reação escolhida foi de 1ª ordem por apresentar melhor coeficiente de determinação.

Em relação ao $t_{1/2}$ encontrados através da estabilidade do ângulo de tom, determinado como o tempo no qual o h° presente nas amostras caiu pela metade, as partículas encapsuladas

com dextrina resultaram em um efeito menos protetor do que as partículas com goma arábica ou maltodextrina, para todos os ambientes estudados.

As cápsulas de polpa de pequi com dextrina armazenados a 35 °C e 0,43 de temperatura e atividade de água, respectivamente, apresentaram menor tempo em dias para que as cápsulas perdessem a cor amarela. O mesmo comportamento foi observado para a análise de carotenoides totais.

Tabela 4.19 - Parâmetros cinéticos de cor h° dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	1 ^a	0,0001	8663	0,968
		0,43	1 ^a	0,0001	8663	0,990
	35	0,23	1 ^a	0,0001	8663	0,990
		0,43	1 ^a	0,0001	7700	0,994
Maltodextrina	25	0,23	1 ^a	0,0001	8663	0,842
		0,43	1 ^a	0,0001	8663	0,881
	35	0,23	1 ^a	0,0001	7700	0,906
		0,43	1 ^a	0,0001	6930	0,985
Dextrina	25	0,23	1 ^a	0,0001	6930	0,963
		0,43	1 ^a	0,0001	6930	0,895
	35	0,23	1 ^a	0,0001	6930	0,862
		0,43	1 ^a	0,0004	1733	0,818

Na Tabela 4.20 estão os valores de Q_{10} para os parâmetros de cor da polpa de pequi microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina. Os pós com maltodextrina apresentaram menores valores de Q_{10} para a ΔE^* nas duas umidades relativas estudadas (23 e 43 %). Já para o croma, o fator Q_{10} , que foi maior que 1 para todas as amostras, confirmando a diminuição na intensidade de cor amarela para uma temperatura 10 °C maior. Por outro lado, em relação ao ângulo de tom, os pós de polpa de pequi com dextrina armazenados a 0,43 de

atividade de água, apresentou maior valor de Q_{10} . Isto significa que a vida-de-prateleira a 25 °C destas partículas é 4 vezes mais longa que a 35 °C.

Tabela 4.20 - Valores de Q_{10} para os parâmetros de cor dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, estocadas em diferentes A_w 's.

Agente Carreador	A_w	Q_{10}		
		ΔE^*	C^*	h°
Goma arábica	0,23	1,33	2,00	1,00
	0,43	1,50	1,00	1,13
Maltodextrina	0,23	0,42	1,46	1,13
	0,43	0,80	0,93	1,25
Dextrina	0,23	0,73	1,28	1,00
	0,43	1,77	1,68	4,00

4.1.6.4 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante determinada pelos métodos de captura dos radicais livres (DPPH) e habilidade de redução do ferro (FRAP) foi medida ao longo dos 120 dias de estocagem. Os resultados obtidos para as partículas de polpa de pequi produzidas com os diferentes agentes carreadores estão apresentados nas Figuras 4.22 e 4.23.

Todas as amostras foram capazes de sequestrar o radical DPPH e reduzir o Fe^{+3} . Os resultados obtidos para capacidade antioxidante das amostras, por ambos os métodos, são atribuídos ao diferente conteúdo dos compostos bioativos (polifenóis e carotenoides) em cada amostra e à interação de cada componente presente neste com o mecanismo de reação envolvido em cada método. O método FRAP detecta compostos com potencial redox menores que 0,7 V (o potencial redox Fe^{3+} -TPTZ), atua mediante um mecanismo de transferência simples de elétrons, porém possui reduzida capacidade de detectar compostos que agem por transferência de hidrogênio. Entretanto o método DPPH detecta os compostos que podem atuar tanto por redução direta, via transferência de elétrons, quanto por captura de radicais via transferência de átomos de hidrogênio (PRIOR et al., 2005). Assim se faz necessária a

utilização de mais de um método para medir a capacidade antioxidante em sistemas distintos e confirmar o potencial antioxidante das cápsulas de polpa de pequi.

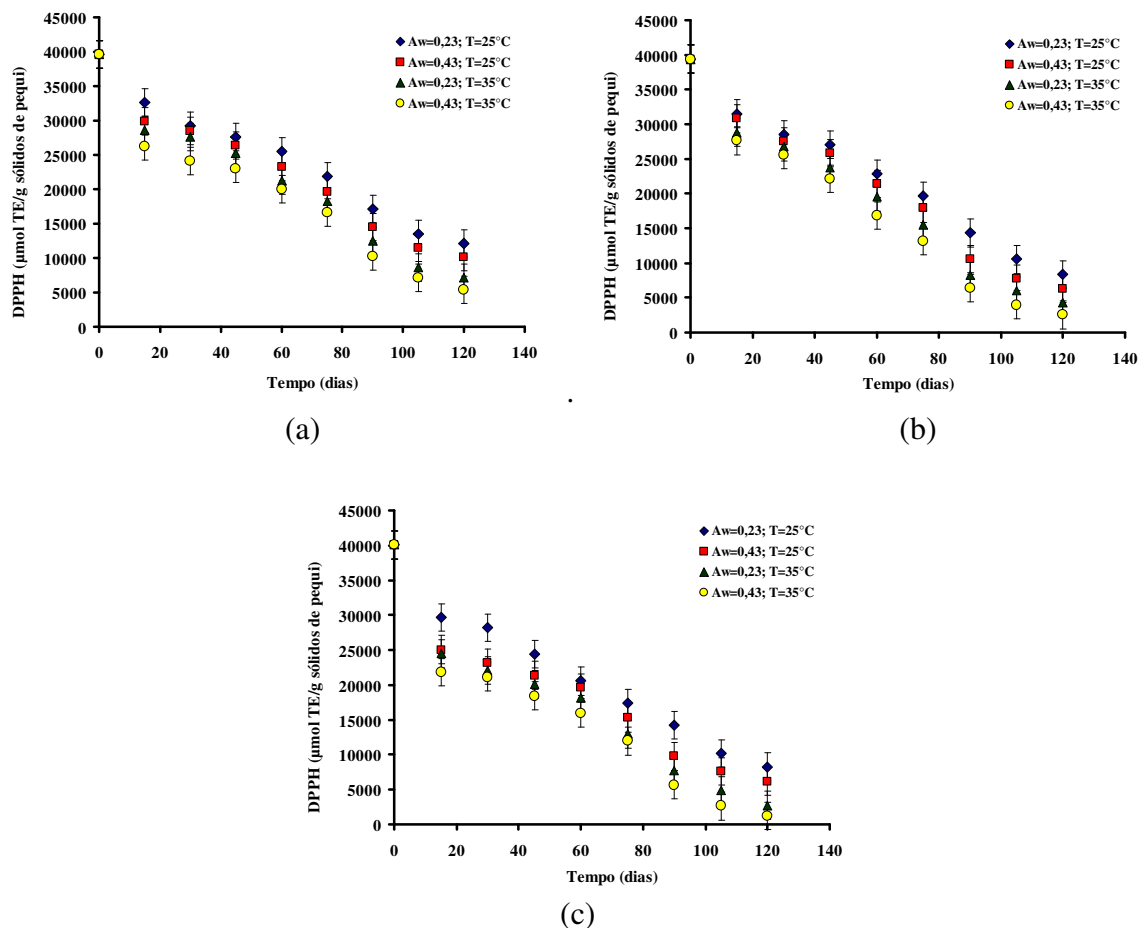


Figura 4.22 - Cinética de degradação dos antioxidantes pelo método DPPH nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Houve uma perda dos antioxidantes pelo método DPPH para todas as amostras e em todos os ambientes estudados. Porém, pelo método FRAP seguiu a mesma tendência que a apresentada pelos carotenoides, no qual a atividade antioxidante apresentou um maior decréscimo nos primeiros 45 dias de estocagem, confirmando a relação existente entre o teor de carotenoides e a atividade antioxidante presente nos alimentos que contêm estes pigmentos.

A temperatura e a atividade de água mostraram influência significativa sobre a atividade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP, para todas as amostras. A A_w e a

temperatura apresentou um efeito negativo sobre a atividade antioxidante, o que provavelmente está relacionado à maior degradação de carotenoides ocorrida nessas condições. Fang e Bhandari (2011) estudando pós de *bayberry* por *spray drying* afirmaram que quanto maior a temperatura e a A_w de armazenamento, menor a capacidade antioxidante retida, que foi refletido pela queda dos polifenóis totais e antocianinas presente nos pós de *bayberry*.

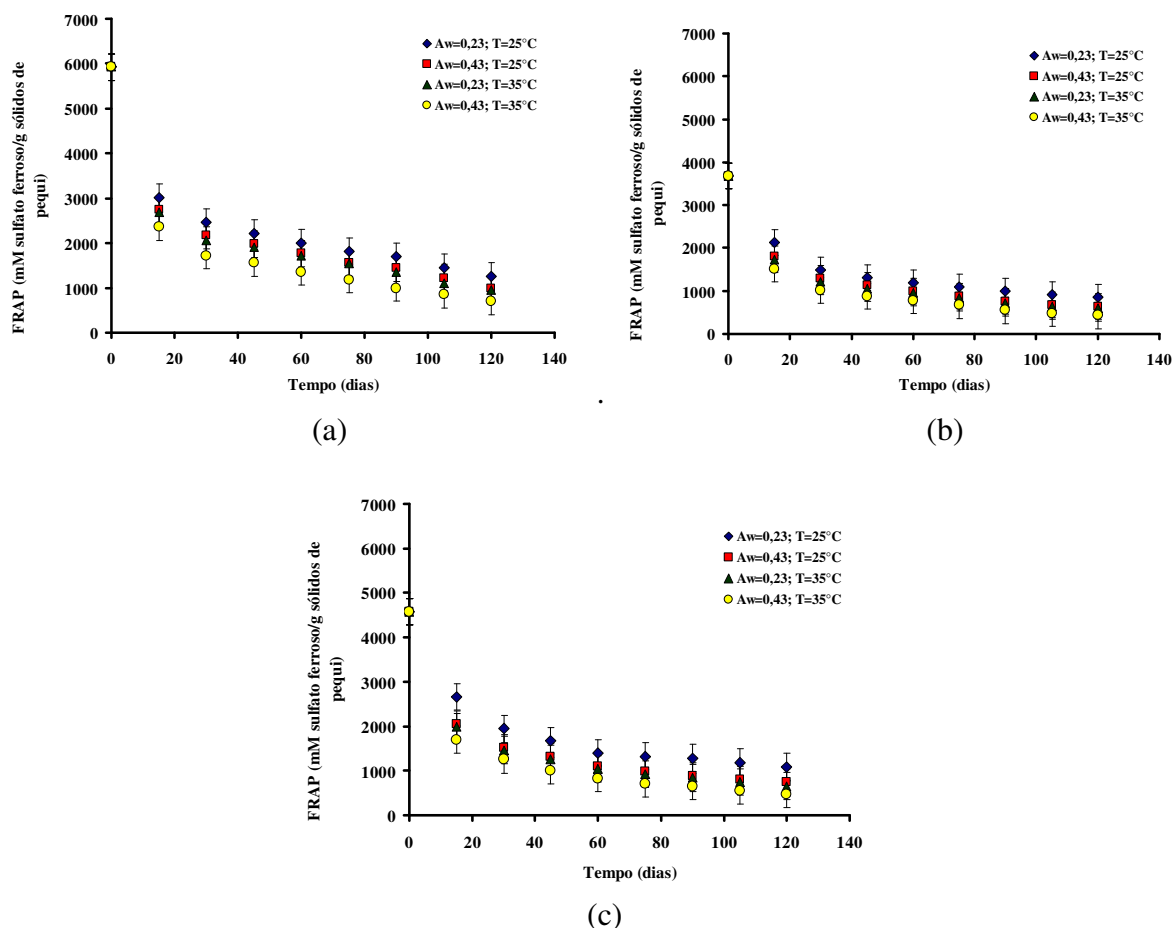


Figura 4.23 - Cinética de degradação dos antioxidantes pelo método FRAP nas partículas de polpa de pequi, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Tonon et al. (2010) verificaram que a influência da temperatura sobre a taxa de degradação das antocianinas foi maior para as amostras estocadas na umidade relativa mais alta. Isso indica que a atividade de água também exerce influência sobre a degradação das

antocianinas no suco de açaí em pó. Quanto maior a quantidade de água, maior a mobilidade molecular dentro do alimento, o que facilita as reações físico-químicas de degradação.

O ambiente que conservou melhor os antioxidantes foi a 25 °C e 0,23 de temperatura e atividade de água, respectivamente, o que confirma, de acordo com todas as análises realizadas, que este ambiente é melhor para armazenar os pós de polpa de pequi.

Os parâmetros cinéticos da estabilidade dos antioxidantes durante 120 dias de estocagem para cápsulas de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina estão apresentados nas Tabelas 4.21 e 4.22. O tipo de reação escolhido foi aquele que apresentou melhores coeficientes de determinação. Para o método de captura de radicais livres (DPPH) das partículas com goma arábica e maltodextrina foram escolhidas reações de ordem zero, enquanto que para as partículas com dextrina, os melhores R^2 foram obtidos em reações de 1ª ordem. Já para o método de redução de ferro (FRAP), foram utilizadas, para todas as amostras, reações cinéticas de 2ª ordem. O tempo de meia-vida da atividade antioxidante ($t_{1/2}$) foi determinado como o tempo no qual a atividade antioxidante presente nas amostras caiu pela metade. Pelo método da captura dos radicais livres (DPPH) e pela habilidade de redução do ferro (FRAP), as partículas que melhor capturaram os radicais livres e reduziram o ferro foram as com goma arábica e maltodextrina.

Tabela 4.21 - Parâmetros cinéticos da degradação dos antioxidantes pelo método de DPPH dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	Zero	219,12	85,55	0,978
		0,43	Zero	230,98	78,92	0,965
	35	0,23	Zero	252,95	71,49	0,964
		0,43	Zero	254,55	67,62	0,936
Maltodextrina	25	0,23	Zero	247,46	75,40	0,983
		0,43	Zero	270,90	68,43	0,977
	35	0,23	Zero	281,96	63,95	0,971
		0,43	Zero	295,24	59,64	0,966
Dextrina	25	0,23	1 ^a	0,0125	55,00	0,976
		0,43	1 ^a	0,0146	47,00	0,953
	35	0,23	1 ^a	0,0201	34,00	0,926
		0,43	1 ^a	0,0260	27,00	0,888

Tabela 4.22 - Parâmetros cinéticos da degradação dos antioxidantes pelo método de FRAP dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	2 ^a	$5,0 \times 10^{-6}$	62,00	0,943
		0,43	2 ^a	$6,0 \times 10^{-6}$	37,67	0,957
	35	0,23	2 ^a	$6,0 \times 10^{-6}$	37,33	0,961
		0,43	2 ^a	$9,0 \times 10^{-6}$	24,67	0,957
Maltodextrina	25	0,23	2 ^a	$4,0 \times 10^{-6}$	57,25	0,964
		0,43	2 ^a	$3,8 \times 10^{-4}$	37,70	0,984
	35	0,23	2 ^a	$3,9 \times 10^{-4}$	35,27	0,982
		0,43	2 ^a	$3,8 \times 10^{-4}$	23,44	0,988
Dextrina	25	0,23	2 ^a	$7,0 \times 10^{-6}$	54,29	0,961
		0,43	2 ^a	$9,0 \times 10^{-6}$	36,78	0,979
	35	0,23	2 ^a	$1,0 \times 10^{-5}$	31,80	0,986
		0,43	2 ^a	$1,5 \times 10^{-5}$	20,73	0,992

O aumento da temperatura de estocagem levou a uma degradação mais rápida dos antioxidantes. O aumento da velocidade de reação com a temperatura pode ser observado no cálculo do fator Q_{10} (Tabela 4.23), que foi maior que 1 para todas as amostras, confirmando o aumento na degradação dos antioxidantes para uma temperatura 10 °C maior.

No início, as cápsulas de polpa de pequi encapsuladas com dextrina apresentaram os melhores valores em todas as análises estudadas. Porém, quando foram submetidos ao armazenamento, estas cápsulas apresentaram as piores condições de conservação dos componentes funcionais da polpa de pequi, ou seja, a dextrina é um encapsulante que não é capaz de proteger os componentes presente nas cápsulas de polpa de pequi contra os mecanismos de degradação como, por exemplo, reações de oxidação dos carotenoides, co-oxidação dos lipídeos, causando odor desagradável, entre outros fatos.

Tabela 4.23 - Valores de Q_{10} para os parâmetros de antioxidantes dos pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, estocadas em diferentes A_w 's.

Agente Carreador	A_w	Q_{10}	
		DPPH	FRAP
Goma arábica	0,23	1,15	1,50
	0,43	1,10	1,50
Maltodextrina	0,23	1,14	1,57
	0,43	1,09	1,60
Dextrina	0,23	1,61	2,00
	0,43	1,78	1,67

4.2 Leite de coco babaçu

4.2.1 Caracterização físico-química

A composição físico-química do leite de coco babaçu utilizado nos ensaios de secagem e da amêndoa, farinha e resíduos da amêndoa de coco babaçu estão apresentados na Tabela 4.24. Os dados correspondem à média de, no mínimo, cinco determinações, juntamente com seu desvio padrão.

Através desta tabela, pode-se observar que a amêndoa de coco babaçu apresentou valores majoritários de lipídeos, proteínas e fibras em relação aos seus derivados. O alto teor de lipídeos e proteínas e a alta quantidade de fibras podem influenciar as etapas do processo subsequentes de preparo do leite de coco babaçu, pois maior manipulação é necessária para que estes constituintes sejam eliminados ou reduzidos do leite de coco babaçu.

O nível de proteína foi reduzido perante o processamento das amêndoas, pois a maior porcentagem de proteínas está localizada na película marrom que recobre a amêndoa. Por isso, da etapa de descascamento até a preparação do leite de coco babaçu, o nível de proteína caiu de 12 para 2 %, estando dentro dos níveis esperados de proteínas para produtos considerados leite.

Tabela 4.24 - Composição físico-química do leite de coco, amêndoa, farinha e resíduo de babaçu.

Componentes	Leite de coco	Amêndoa	Subprodutos	
			Farinha	Película marrom
Umidade (% base úmida)	78,31±0,001	6,14±0,002	44,30±0,001	11,13±0,01
Proteínas (%)	2,00±0,02	12,91±0,04	2,21±0,08	8,69±0,07
Lipídeos (%)	18,97±0,05	54,68±0,77	44,54±0,42	30,87±0,51
Cinzas (%)	0,27±0,0001	1,47±0,0002	0,77±0,001	1,88±0,003
Carboidratos Totais (%)	0,45±0,05	24,80±2,00	8,18±0,44	47,43±0,66
Fibra alimentar (%)	-	39,00±0,64	14,92±0,39	11,03±0,10
Açúcares Totais (%)	3,65±0,29	24,23±0,51	5,94±0,45	9,31±0,25
Açúcares Redutores (%)	2,61±0,14	9,69±0,21	1,72±0,18	5,72±0,12
Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	4,13±0,18	-	-	-
Acidez Titulável Total (%)	0,61±0,06	1,30±0,02	0,46±0,06	1,54±0,07
pH	6,60±0,21	-	-	-

Para o leite de coco babaçu, pode-se observar que os componentes predominantes são umidade e gordura com 78,31 % e 18,97 %, respectivamente.

Em estudo realizado por Tavares et al. (1996) para avaliar as características físico-químicas de leite de coco comercializado no Brasil, o conteúdo de gorduras variou entre 17 e 28 %. Em princípio para efeito de processamento térmico, os componentes mais importantes seriam as proteínas e a gordura, devido aos problemas de coagulação e viscosidade.

O pH de 6,60 está perto da neutralidade. Devido a esta característica, esse produto enquadra-se na categoria dos produtos denominados de baixa acidez. Portanto, este produto tem característica perecível que necessita de outros processos para manter sua conservação.

Arévalo-Pinedo et al. (2007) encontraram para o leite de coco babaçu valores de 78 % de umidade, 23 % de gorduras, 2,2 % de proteínas, 3,5 % de açúcares totais, 3,0 % de açúcares

redutores, 0,33 % de cinzas e pH de 6,45. Estes valores foram similares aos encontrados neste trabalho.

4.2.2 Secagem por aspersão

De acordo com que está descrito no item 3.4.1.2, a secagem do leite de coco babaçu foi realizada de acordo com um delineamento composto central rotacional 2^2 completo, com 4 pontos fatoriais, 4 pontos axiais e 3 pontos centrais, totalizando 11 ensaios. Estes planejamentos tiveram como objetivo avaliar a influência das variáveis: temperatura de ar de entrada no secador e concentração de agente carreador (goma arábica, maltodextrina e dextrina), sobre as respostas rendimento do processo, umidade, higroscopicidade, atividade de água e oxidação lipídica. Os dados de temperatura de saída (T_s), temperatura ambiente (T_a) e umidade relativa (UR) de cada ensaio dos planejamentos experimentais foram monitoradas em intervalos de cinco em cinco minutos. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 4.25 a 4.27. As respostas dos planejamentos experimentais foram escolhidas por apresentar importância para processamento, armazenamento e embalagem do leite de coco babaçu.

Os níveis escolhidos para os planejamentos com leite de coco babaçu foram selecionados com base nos testes preliminares apresentados no Apêndice A. Primeiramente foram realizados 10 testes utilizando leite sem concentrar ($^{\circ}\text{Brix} = 4$) e concentrado ($^{\circ}\text{Brix} = 12$) com o objetivo de formação de pó. Com isto, percebeu-se que a necessidade de utilização de um homogeneizador tipo “Turrax” devido a quantidade de gordura presente no leite de coco babaçu (cerca de 19 %).

O amido de milho simples também foi testado como encapsulante, porém não houve formação de pó, apesar de ter utilizado um homogeneizador “Turrax” com velocidade de rotação de 14.000 rpm. Isto pode ter ocorrido devido este carreador não possui propriedades encapsulantes suficientes para englobar as partículas de leite de coco babaçu.

Com os resultados destes 10 testes foram realizados dois planejamentos experimentais delineamento composto central rotacional 2^3 completo, com 8 pontos fatoriais, 6 pontos axiais e 3 pontos centrais, totalizando 17 ensaios. Estes planejamentos tiveram como objetivo avaliar a influência das variáveis: temperatura do ar de entrada no secador, vazão

mássica de alimentação e concentração de agente carreador (goma arábica e maltodextrina), sobre as respostas: rendimento do processo, umidade e higroscopicidade. Com estes resultados foi verificado que a vazão mássica de alimentação não influenciava significativamente as respostas e portanto foi fixada em 0,20 kg/h.

Foram testados ainda a utilização de surfactantes como Span 80, Span 85, *Tween* 20 e *Tween* 80. Porém, o uso destes surfactantes para o leite de coco babaçu não apresentou formação de pó.

Nas Figuras 4.24 a 4.26, estão apresentadas as imagens com os 11 pós dos ensaios de cada planejamento experimental.

Tabela 4.25 - Respostas do planejamento experimental para o leite de coco babaçu em pó utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Ensaio	Variáveis dependentes					Variáveis monitoradas		
	Umidade (%)	Higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos)	Rendimento (%)	A _w	Oxidação lipídica (meq peróxido/kg de óleo)	T _s (°C)	T _a (°C)	UR (%)
1	1,78±0,03	8,31±0,01	25,83	0,23±0,02	0,022±0,06	130,0±0,5	25,5±0,2	60,0±0,1
2	1,69±0,01	8,37±0,02	26,16	0,17±0,04	0,028±0,01	152,0±0,4	26,3±0,4	60,0±0,2
3	0,52±0,02	8,94±0,01	25,00	0,21±0,01	0,020±0,05	127,0±0,1	26,2±0,2	60,0±0,2
4	0,62±0,04	9,86±0,01	22,35	0,15±0,01	0,053±0,01	154,0±0,3	26,5±0,3	60,0±0,3
5	0,92±0,03	9,62±0,01	30,19	0,15±0,03	0,012±0,03	123,0±0,5	26,5±0,4	60,0±0,1
6	0,72±0,02	9,46±0,04	27,01	0,14±0,02	0,064±0,04	155,0±0,1	25,9±0,6	62,0±0,3
7	2,39±0,06	6,98±0,01	21,67	0,58±0,02	0,043±0,01	143,0±0,3	23,7±0,2	70,0±0,4
8	1,25±0,01	9,45±0,01	20,33	0,25±0,03	0,049±0,03	135,0±0,2	24,3±0,3	66,0±0,2
9	0,85±0,01	9,00±0,01	27,82	0,20±0,01	0,048±0,01	132,0±0,2	24,6±0,8	66,0±0,1
10	0,93±0,01	9,10±0,01	28,01	0,20±0,01	0,047±0,04	127,0±0,1	25,0±0,4	67,0±0,3
11	0,85±0,01	9,06±0,02	28,32	0,21±0,02	0,051±0,01	128,0±0,4	25,3±0,7	65,0±0,3

Tabela 4.26 - Respostas do planejamento experimental para o leite de coco babaçu em pó utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Ensaio	Variáveis dependentes					Variáveis monitoradas		
	Umidade (%)	Higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos)	Rendimento (%)	A _w	Oxidação lipídica (meq peróxido/kg de óleo)	T _s (°C)	T _a (°C)	UR (%)
1	1,58±0,02	9,33±0,03	32,24	0,08±0,01	0,018±0,05	134,0±0,3	31,2±0,5	32,0±0,1
2	1,59±0,01	9,15±0,01	29,16	0,12±0,01	0,029±0,01	163,0±0,4	27,3±0,9	47,0±1,3
3	0,51±0,01	10,01±0,04	26,67	0,11±0,03	0,014±0,05	134,0±1,3	27,8±0,3	47,0±1,1
4	0,43±0,01	10,16±0,04	28,74	0,11±0,02	0,037±0,01	162,0±1,2	29,5±0,1	43,0±0,5
5	0,67±0,02	10,01±0,02	34,71	0,05±0,01	0,009±0,03	128,0±0,5	30,0±0,1	39,5±1,3
6	0,64±0,04	10,11±0,03	27,62	0,07±0,03	0,067±0,03	168,0±1,1	31,0±0,4	34,0±0,1
7	2,19±0,02	10,00±0,04	29,76	0,10±0,05	0,045±0,01	148,0±1,0	31,6±0,1	31,0±1,1
8	0,60±0,01	10,26±0,01	28,75	0,08±0,01	0,046±0,01	149,0±0,9	32,1±0,7	30,0±1,3
9	1,13±0,01	10,16±0,02	34,51	0,09±0,02	0,043±0,01	146,0±0,2	31,0±0,6	41,0±1,4
10	1,11±0,01	10,17±0,02	34,69	0,09±0,01	0,045±0,01	148,0±0,3	29,9±0,3	42,0±1,0
11	1,13±0,03	10,19±0,01	34,28	0,10±0,02	0,045±0,01	147,0±0,8	25,9±0,4	51,0±1,5

Tabela 4.27 - Respostas do planejamento experimental para o leite de coco babaçu em pó utilizando dextrina como agente encapsulante.

Ensaio	Variáveis dependentes					Variáveis monitoradas		
	Umidade (%)	Higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos)	Rendimento (%)	A _w	Oxidação lipídica (meq peróxido/kg de óleo)	T _s (°C)	T _a (°C)	UR (%)
1	1,27±0,02	8,03±0,01	47,68	0,09±0,01	0,024±0,06	133,0±0,3	26,8±0,5	51,0±2,1
2	1,42±0,02	8,14±0,04	37,17	0,09±0,01	0,043±0,02	163,0±6,6	27,9±0,9	50,0±1,3
3	1,01±0,06	7,94±0,01	35,23	0,17±0,02	0,016±0,01	136,0±1,6	29,0±0,3	44,0±1,2
4	2,06±0,03	8,06±0,01	25,86	0,17±0,03	0,033±0,01	163,0±1,9	26,2±0,1	49,0±2,0
5	1,68±0,01	7,90±0,05	40,37	0,13±0,01	0,040±0,02	126,0±0,5	26,7±0,6	50,0±1,3
6	1,85±0,01	7,95±0,01	33,87	0,12±0,04	0,072±0,02	166,0±1,2	27,6±0,4	47,5±2,1
7	2,65±0,08	7,73±0,01	40,41	0,07±0,01	0,051±0,08	144,0±1,0	28,4±0,1	45,0±1,1
8	1,88±0,02	8,47±0,05	31,34	0,15±0,02	0,055±0,04	146,0±0,9	30,0±0,7	43,0±2,3
9	1,52±0,01	8,30±0,03	30,83	0,09±0,01	0,047±0,07	144,0±0,2	30,7±1,0	38,0±1,4
10	1,49±0,01	8,05±0,05	30,20	0,10±0,01	0,048±0,03	141,0±0,3	28,8±0,3	50,0±1,0
11	1,50±0,01	8,14±0,05	29,86	0,10±0,02	0,056±0,06	139,0±0,8	28,0±0,4	51,0±1,6

De acordo com a Figura 4.24, na qual são mostrados o leite de babaçu microencapsulado com goma arábica, o ensaio 7 ($T_{ent} = 195\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_{GA} = 10\%$) apresentou-se pegajoso e grudento como se não houvesse encapsulado totalmente as partículas de leite de coco babaçu por haver uma baixa quantidade de agente encapsulante para esse tipo de produto. No ensaio 7 ($T_{ent} = 195\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_M = 20\%$) da Figura 4.25 aconteceu o mesmo comportamento para o leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.

Como mostrado na Figura 4.26, os pós encapsulados com dextrina apresentaram visualmente melhor preservação da cor branca característico de leite de coco quando comparados com os pós obtidos nos planejamentos experimentais com goma arábica e maltodextrina.



Figura 4.24 - Pós dos 11 ensaios de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica.



Figura 4.25 - Pós dos 11 ensaios de leite de coco babaçu microencapsulado com maltodextrina.



Figura 4.26 - Pós dos 11 ensaios de leite de coco babaçu microencapsulado com dextrina.

Para a análise estatística, foram calculados os efeitos das variáveis independentes sobre as respostas estudadas, bem como o erro, o coeficiente t e a significância estatística (p). Após a eliminação dos fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste a um nível de significância de 10 %, através de uma Análise de Variância (ANOVA), utilizando o teste F para cada planejamento experimental estudado. Estes resultados são encontrados no Apêndice B.

4.2.2.1 Umidade dos pós de leite de coco babaçu

A umidade dos pós é uma propriedade muito importante, pois está relacionada com a eficiência de secagem.

As umidades dos pós de leite de coco babaçu com goma arábica, maltodextrina e dextrina como agentes encapsulantes, como pode ser observado nas Tabelas 4.25, 4.26 e 4.27, apresentaram valores bem inferiores ao padrão de umidade estabelecido para esse tipo de produto que é de 3,5 % (GUERRA et al., 2005). Valores próximos foram relatados por Quek et al. (2007), Tonon et al. (2009a,b,c), Saénz et al. (2009) e Ferrari et al. (2012a), trabalhando com secagem em *spray dryer* de melancia, açaí, pêra e amora em pó, respectivamente.

De acordo com a Tabela B.31 (Apêndice B), o único fator que apresentou influência significativa sobre a umidade para os pós de leite de coco babaçu foi a concentração de goma arábica. Por outro lado, todos os parâmetros estudados foram significativos para esta resposta com maltodextrina (Tabela B.33, Apêndice B). Para a umidade dos pós de leite de coco babaçu com dextrina, os parâmetros estudados não apresentaram significância ($p \leq 0,10$) como pode ser visualizado na Tabela B.35 (Apêndice B). Isto indica que para qualquer ensaio dentro da faixa em estudo para temperatura de entrada e concentração de dextrina, será obtido um produto com umidade média igual a 1,5 % (Tabela B35, Apêndice B).

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 os planejamentos experimentais com goma arábica e maltodextrina (Tabelas B.32 e B.34 do Apêndice B).

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado para os pós de leite de coco babaçu encapsulados com goma arábica foi de aproximadamente 0,95, indicando que o modelo explicou 94,62 % da variação dos dados observados. Para os pós com maltodextrina como agente encapsulante, apresentaram coeficiente de determinação (R^2) próximo de 1 indicando que o modelo explicou 99,99 % da variação dos dados observados.

Os modelos codificados propostos para representarem a umidade das partículas resultantes do processo de secagem do leite de coco babaçu com goma arábica e maltodextrina como agente encapsulantes, dentro dos limites de temperatura e concentrações de agentes estudados, são descritos pela Equação 4.7 e 4.8, respectivamente.

$$Umidade [\%] = 0,81 - 0,49 C_{GA} + 0,45 C_{GA}^2 \quad [4.7]$$

$$Umidade [\%] = 1,12 - 0,01 T_{ent} - 0,23 T_{ent}^2 - 0,56 C_M + 0,14 C_M^2 - 0,02 T_{ent} \times C_M \quad [4.8]$$

Onde: T_{ent} , C_M e C_{GA} representam as variáveis temperatura do ar de entrada, concentração de maltodextrina e concentração de goma arábica.

Os modelos apresentaram regressão significativa ao nível de 90 % de confiança ($F_{calculado} > F_{tabelado}$) e falta de ajuste em relação ao erro puro não significativa no mesmo nível de confiança ($F_{calculado} < F_{tabelado}$). Portanto, o modelo ajustado para umidade dos pós resultantes da secagem do leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina em *spray dryer* foi considerado preditivo. Para os pós com goma arábica, o modelo ajustado foi considerado preditivo, mas com falta de ajuste em relação ao erro puro ($F_{calculado}$ superior ao $F_{tabelado}$). Isso ocorreu devido ao fato de a média quadrática (QM) do erro puro apresentar um valor muito inferior à QM da falta de ajuste (devido à boa repetibilidade dos ensaios nos pontos centrais). Isso faz com que a razão entre eles resulte num valor muito alto.

As Figura 4.27 e 4.27 mostram as superfícies de resposta e curvas de contorno geradas através dos modelos propostos.

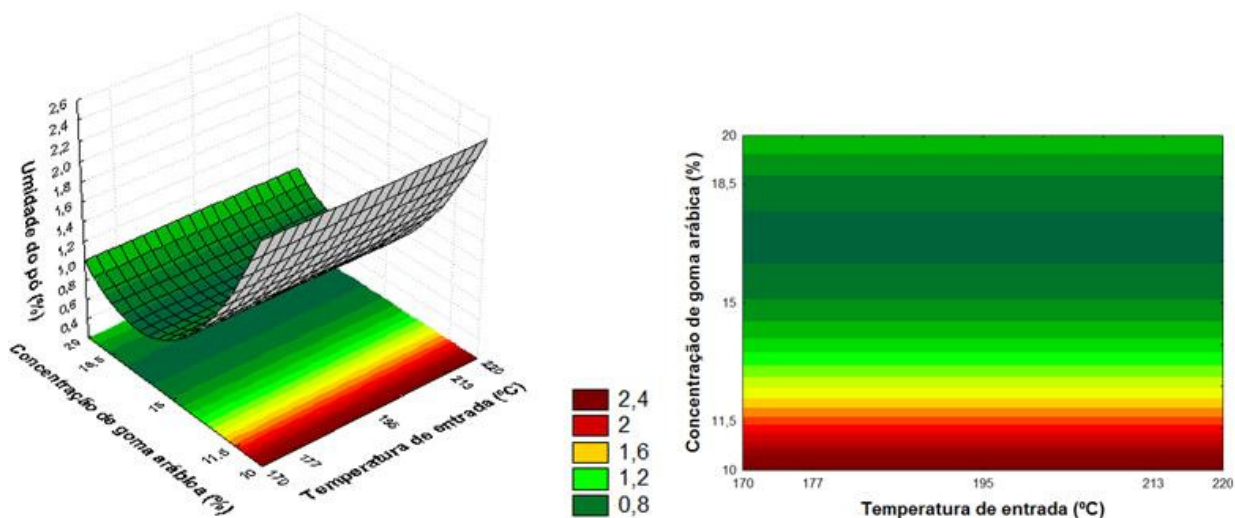


Figura 4.27 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta umidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com goma arábica.

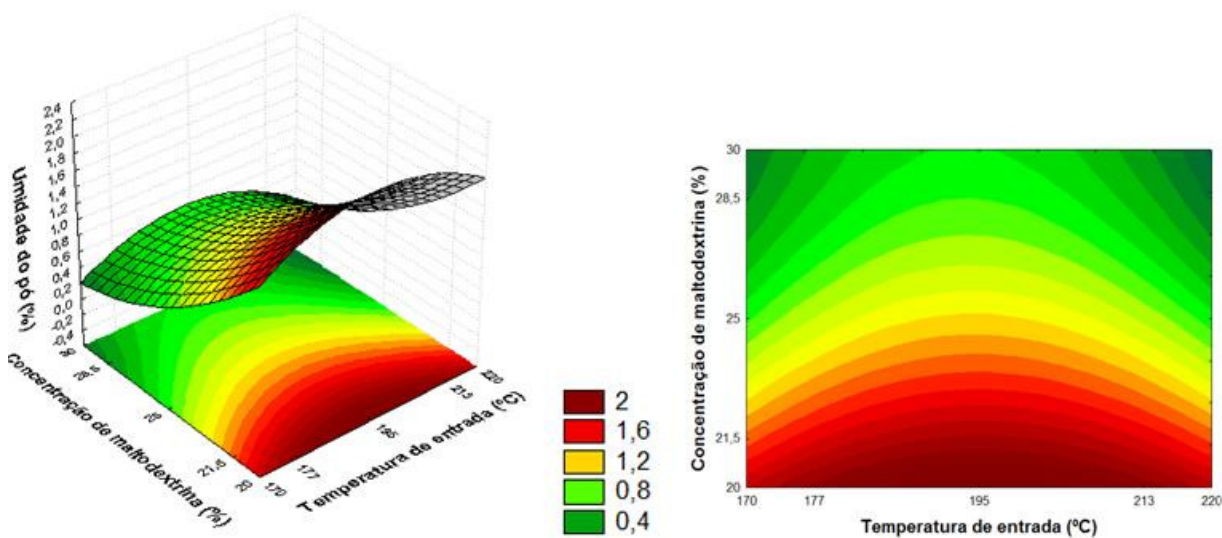


Figura 4.28 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta umidade (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com maltodextrina.

De acordo com a Figura 4.27, a concentração de goma arábica foi a variável que mais influenciou a umidade do leite de babaçu em pó, sendo que os menores valores de umidade foram obtidos quando se utilizaram as maiores concentrações de goma arábica. Entretanto, para produto com maltodextrina (Figura 4.28), os menores valores de umidade para os pós

encontram-se nos mais altos valores de concentração de agente carreador e nos pontos axiais da temperatura do ar de entrada no secador.

A adição de goma arábica ou maltodextrina para a solução de alimentação antes da secagem em *spray dryer* aumentou o conteúdo de sólidos totais e reduziu a quantidade total de água disponível para a evaporação. Em estudos da umidade dos pós secos em *spray dryer* com abacaxi, purê de batata doce, fruta de Gac e extrato de *Morinda citrifolia* L., Abadio et al. (2004), Grabowski et al. (2010), Kha et al. (2010) e Krishnaiah et al. (2012), respectivamente, observaram a diminuição na umidade com o aumento da concentração de maltodextrina. Gong et al. (2007), secando suco de *bayberry* em *spray dryer*, relataram que a concentração de agente encapsulante tem um efeito importante sobre a umidade.

Uma concentração elevada de maltodextrina, por exemplo, melhorou a eficiência de secagem, enquanto que uma concentração mais baixa, não foi suficiente para secar o leite de coco babaçu, resultando em pó com umidade mais elevada. Este mesmo comportamento pode ser visualizado nas Figuras 4.24 e 4.25, no qual os pós com baixa concentração de goma arábica ou maltodextrina apresentaram umidades mais elevadas. No entanto, se a percentagem de maltodextrina ou goma arábica é demasiadamente elevada, o pó produzido terá uma qualidade mais baixa, porque os componentes químicos a partir do leite de coco babaçu serão diluídos. Estes resultados também são consistentes com outros trabalhos (Quek et al., 2007, Krishnaiah et al., 2012). Outra possibilidade está relacionada com a capacidade evaporativa de cada tipo de equipamento *spray dryer*.

4.2.2.2 Atividade de água dos pós de leite de coco babaçu

Os resultados experimentais obtidos para a atividade de água dos pós de leite de coco babaçu usando goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente carreador encontram-se apresentados nas Tabelas 4.25, 4.26 e 4.27. Os valores dos ensaios experimentais de atividade de água para os pós com goma arábica variaram de 0,14 a 0,58. Para os pós com maltodextrina, 0,05 a 0,12 e 0,07 a 0,17 com dextrina. Apenas para o ensaio 7 ($T_{\text{ent}} = 195\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_{\text{GA}} = 10\%$) do planejamento experimental com goma arábica obteve-se valor de atividade de água acima de 0,3. Segundo Fennema (1996), isso reflete um fato negativo, pois atividade de

água com valor até 0,3 mantêm a estabilidade dos pós, porque representa menos água livre disponível para o crescimento de microrganismo e reações bioquímicas. Ela também está relacionada com umidade das amostras.

A atividade de água presente na matriz também pode afetar a estabilidade oxidativa dos lipídeos. Segundo Silva et al. (1999), dados experimentais permitiram verificar que as velocidades mais baixas do processo de oxidação dos lipídeos foram observadas para valores de atividade de água compreendidos entre 0,2 a 0,3. A velocidade de oxidação aumenta para valores inferiores e muito próximos de zero (estado de desidratação), ou superiores. O primeiro caso pode explicar-se pela formação de canais na matriz como resultado da eliminação de água, através dos quais é favorecida a migração do oxigênio. O segundo resulta provavelmente do favorecimento de reações de oxidação enzimática e da capacidade de mobilização de metais de transição (pró-oxidantes) pela água.

Valores semelhantes de atividade de água foram obtidos por Quek et al. (2007) e Tonon et al. (2011a) para a secagem por aspersão de pós de melancia e açaí, respectivamente.

Tonon et al. (2011a) relataram que partículas produzidas com maltodextrina apresentaram valores mais elevados de atividade de água do que goma arábica. Este fato não foi comprovado neste trabalho, pois partículas produzidas com maltodextrina e dextrina tiveram valores menores de atividade de água comparada com as partículas com goma arábica. Porém, a concentração de goma arábica utilizada neste trabalho foi inferior às demais concentrações de maltodextrina ou dextrina.

Nas Tabelas B.36, B.38 e B.39 do Apêndice B, estão explícitos os efeitos dos parâmetros estudados nos planejamentos experimentais. Para os pós com goma arábica, apenas o efeito da concentração quadrática apresentou-se estatisticamente significativo ao nível de 90 % de confiança. Para os pós com maltodextrina, a atividade de água dos pós não foi influenciada por nenhuma das duas variáveis estudadas (T_{ent} e C_M). Para os pós com dextrina, os efeitos da concentração de dextrina linear e temperatura de entrada quadrática influenciaram estatisticamente a resposta, sendo estes efeitos positivos.

Com a retirada dos efeitos não significativos ao nível de 10 % de significância foram realizadas as ANOVA que estão apresentadas nas Tabelas B.37 e B.40 do Apêndice B. Na Análise de Variância obtida para a atividade de água com goma arábica e dextrina, o $F_{calculado}$ da regressão foi maior que o $F_{tabelado}$, ou seja, o modelo é considerado preditivo.

Coeficiente de determinação (R^2) para os modelos ajustados para a resposta atividade de água com goma arábica foi de 61,46 %. Este valor de R^2 foi considerado muito baixo e com isto não foi possível obter modelo e nem superfície de resposta. Em contrapartida, o R^2 para os pós com dextrina foi de 94,06 %, sendo possível retirar modelo e superfície. A equação do modelo está apresentada abaixo.

$$\text{Atividade de água} = 0,10 + 0,02 T_{ent}^2 + 0,03 C_D + 0,01 C_D^2 \quad [4.9]$$

Onde: T_{ent} e C_D representam as variáveis temperatura do ar de entrada e concentração de dextrina.

Na Figura 4.29, encontram-se a superfície de resposta e curva de contorno para a resposta atividade de água dos pós de leite de coco babaçu com dextrina. Os valores mais baixos de atividade de água foram encontrados por volta do ponto central da variável independente temperatura de entrada no secador e nas menores faixas de concentração de agente encapsulante.

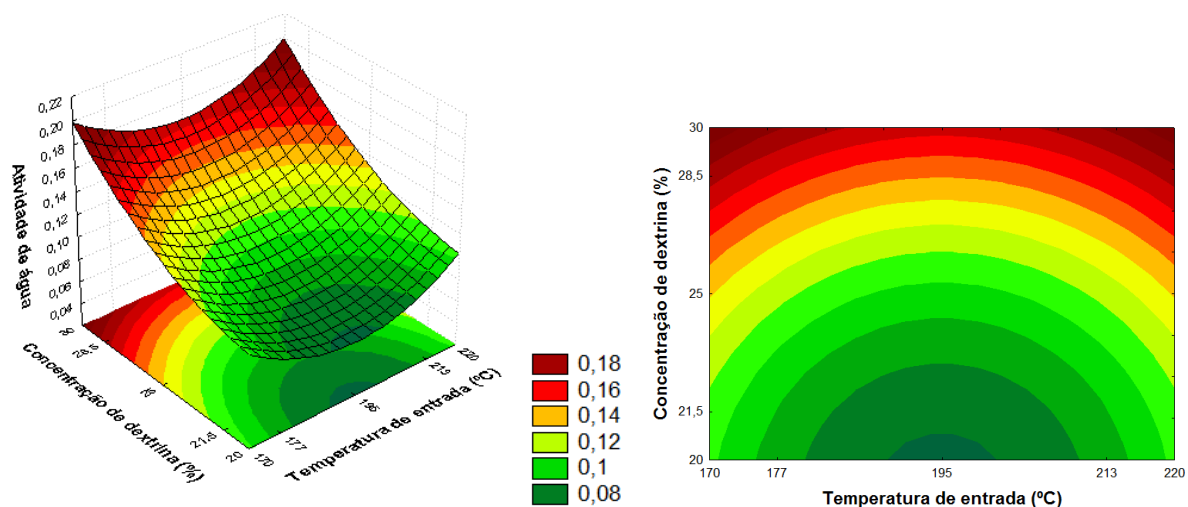


Figura 4.29 - Superfície de resposta e curva de contorno para a atividade de água dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com dextrina.

4.2.2.3 Higroscopicidade dos pós de leite de coco babaçu

Os valores de higroscopicidade das partículas para todos os ensaios dos planejamentos experimentais com goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente carreador, variaram de 6,98 a 9,86 g água adsorvida/100 g sólidos, 9,15 a 10,26 g água adsorvida/100 g sólidos e 7,73 a 8,47 g água adsorvida/100 g sólidos, respectivamente.

Apenas o efeito da concentração de maltodextrina apresentou-se efeito linear positivo e significativo em relação à higroscopicidade dos pós, ou seja, com um aumento deste parâmetro haverá um aumento da resposta higroscopicidade dos pós. Em relação à concentração de goma arábica, seu parâmetro quadrático teve efeito negativo significativo, indicando a existência de um ponto máximo da resposta analisada, ou seja, há um aumento da resposta até uma determinada concentração de goma arábica (Tabelas B.41 e B.43 do Apêndice B). Para os pós com dextrina como agente carreador, os parâmetros estudados não apresentaram significância ($p \leq 0,10$) para a variável dependente, indicando que, para qualquer ensaio realizado dentro da faixa em estudo para temperatura do ar de entrada e concentração de dextrina, resultará na formação de produtos com valores médios de higroscopicidade igual a 8,2 g água adsorvida/100g de sólidos (Tabela B.45 do Apêndice B).

Para os pós de leite de coco babaçu com goma arábica ou maltodextrina como agente carreador, à medida que a concentração de agente carreador aumenta, a higroscopicidade dos pós diminui, devido à baixa higroscopicidade da goma arábica ou maltodextrina, confirmando a sua eficiência como agente carreador durante a secagem em *spray dryer*. Entretanto, quando a concentração de agente carreador é demasiadamente elevada, o pó resultante tem uma qualidade inferior, porque os sólidos presentes no produto são diluídos.

Os valores de higroscopicidade dos pós obtidos foram inversamente proporcionais aos valores de umidade dos pós, ou seja, produtos com uma menor umidade foram mais higroscópicos. Esta mesma observação foi também feita por Tonon et al. (2008) e Ferrari et al. (2012b) em polpa de açaí e amora secas em *spray dryer*, respectivamente. De acordo com os autores, os pós com umidade inferior tem a maior capacidade para absorver a umidade do ambiente, o que está relacionado com o maior gradiente de concentração de água entre o produto e o ar circundante. Rodríguez-Hernández et al. (2005) na secagem por aspersão de

suco de pêra, observaram que os pós produzidos com uma maior concentração de maltodextrina foram os menos higroscópicos.

Extraindo os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e da falta de ajuste em relação a 10 % de significância, através do teste F, na ANOVA para os pós com goma arábica e maltodextrina, respectivamente (Tabelas B.42 e B.44 do Apêndice B).

O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado para os pós de leite de coco babaçu encapsulados com goma arábica foi de 84,36 % da variação dos dados observados, indicando que se pode tirar modelo e superfícies de resposta. Em contrapartida, o R^2 para os pós com maltodextrina, foi de 39,23 %. Com isto, não poderá ser obtido um modelo preditivo e nem superfície de resposta para esta variável dependente.

O modelo codificado proposto para representar a higroscopicidade dos pós obtidos no processo de secagem do leite de coco babaçu com goma arábica, dentro dos limites de temperatura do ar de entrada no secador e concentração de agente estudado, é apresentado na Equação 4.10.

$$\text{Higroscopicidade [g/100g]} = 9,28 + 0,70 C_{GA} - 0,49 C_{GA}^2 \quad [4.10]$$

Onde: C_{GA} representa a variável concentração de goma arábica.

A regressão e a falta de ajuste do modelo apresentaram-se significativas ao nível de 10 % de significância ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Sendo assim, o modelo ajustado para a higroscopicidade foi considerado preditivo, porém com falta de ajuste.

Na Figura 4.30 estão apresentadas a superfície de resposta e curva de contorno para a variável dependente higroscopicidade dos pós de leite de coco babaçu utilizando goma arábica como encapsulante das partículas.

De acordo com a figura, percebe-se que os valores com menor higroscopicidade se situam na região de menor concentração de goma arábica.

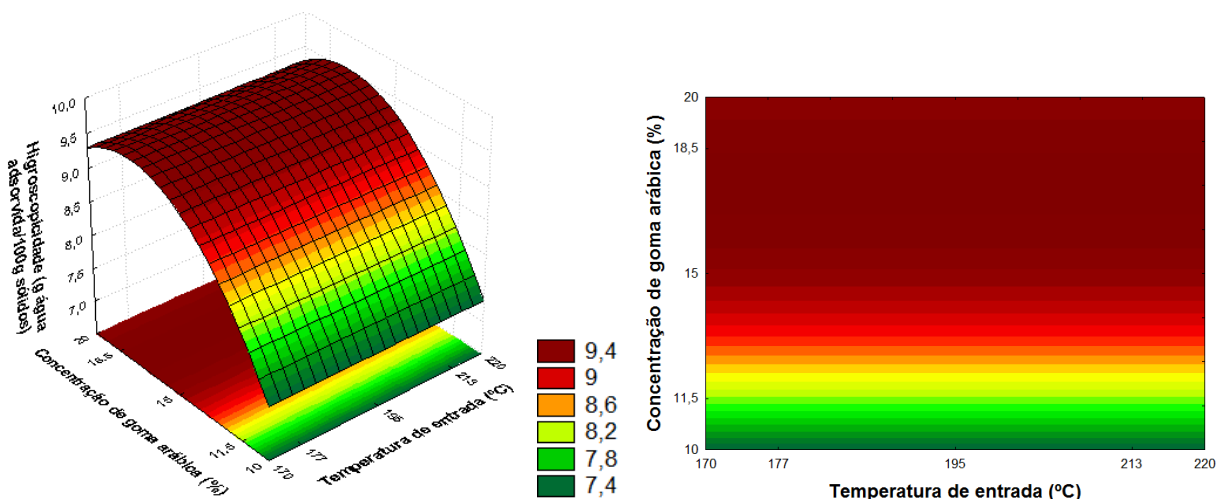


Figura 4.30 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta higroscopicidade (g água adsorvida/100 g sólidos) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com goma arábica.

4.2.2.4 Rendimento do processo de secagem dos pós de leite de coco babaçu

Pelos dados reportados nas Tabelas 4.25 a 4.27, os valores experimentais para a variável rendimento do processo de secagem do leite de coco babaçu em *spray dryer* usando goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente de encapsulação oscilaram, respectivamente, entre 21,7 a 30,2 %, 26,7 a 34,7 % e 25,9 a 47,7 %. Os pós com dextrina apresentaram valores de rendimento máximo superior aos demais encapsulantes, indicando que a dextrina, para o leite de coco babaçu, apresentou propriedades melhores de encapsulação.

O rendimento final dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica foi influenciado significativamente ($p \leq 0,10$) pelas variáveis temperatura do ar de entrada linear, concentração de agente encapsulante nos termos linear e quadrático e interação entre eles, apresentando efeito negativo sobre o rendimento. Para os pós encapsulados com maltodextrina, apenas a concentração de agente e a interação não influenciaram a resposta. Por outro lado, para os pós encapsulados com dextrina, apenas o termo de interação não foi estatisticamente significativo. Os demais efeitos foram significativos, dos quais os termos lineares para os parâmetros de temperatura de entrada no secador e concentração de dextrina

foram negativos e os termos quadráticos destes mesmos parâmetros se apresentaram positivos (Tabelas B.46, B.48 e B.50 do Apêndice B).

Retirando os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e não significância da falta de ajuste em relação a 90 % de confiança, através do teste F, nas Análises de Variâncias (Tabelas B.47, B.49 e B.51 do Apêndice B).

Os coeficientes de determinação (R^2) para os modelos ajustados para os pós de leite de coco babaçu com goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente carreador, foram de 97,86 %, 70,80 % e 92,27 %, respectivamente, da variação dos dados observados. Portanto, foram obtidos os modelos preditivos, bem como suas respectivas superfícies de resposta.

O modelo para os pós com maltodextrina e dextrina apresentaram regressão e falta de ajuste significativo ao nível de 90 % de confiança ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$). Sendo assim, os modelos ajustados foram considerados preditivos, porém com falta de ajuste. Já para os pós com goma arábica, o modelo apresentou regressão significativa ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$) e falta de ajuste não significativa no mesmo nível de confiança ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$). Portanto, o modelo foi considerado preditivo. Nas Equações 4.11 a 4.13 estão apresentados os modelos codificados.

$$\text{Rendimento [\%]} = 28,30 - 0,81 T_{\text{ent}} - 0,78 C_{\text{GA}} - 3,61 C_{\text{GA}}^2 - 0,82 T_{\text{ent}} \times C_{\text{GA}} \quad [4.11]$$

$$\text{Rendimento [\%]} = 34,50 - 1,38 T_{\text{ent}} - 1,92 T_{\text{ent}}^2 - 2,87 C_{\text{M}}^2 \quad [4.12]$$

$$\text{Rendimento [\%]} = 30,30 - 3,63 T_{\text{ent}} + 3,41 T_{\text{ent}}^2 - 4,57 C_{\text{D}} + 2,79 C_{\text{D}}^2 \quad [4.13]$$

Onde: T_{ent} , C_{GA} , C_{M} e C_{D} representam as variáveis temperatura do ar de entrada, concentração de goma arábica, concentração de maltodextrina e concentração de dextrina.

Nas Figuras 4.31, 4.32 e 4.33 são mostradas as representações das superfícies de resposta e curvas de contorno para os rendimentos do processo de secagem do leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Como se pode observar, os maiores rendimentos para os pós com goma arábica foram obtidos por volta do ponto central da concentração de agente encapsulante. Um pequeno efeito da temperatura de entrada no secador em relação à concentração de goma arábica foi

observado. Já para os pós com maltodextrina, os maiores rendimento do processo foram obtidos por volta do ponto central do parâmetro concentração de maltodextrina e entre as faixas de temperatura de entrada no secador de 180 a 198 °C, aproximadamente. Por outro lado, os maiores rendimento do processo dos pós com dextrina foram obtidos nos pontos menores dos parâmetros concentração de dextrina e temperatura de entrada no secador.

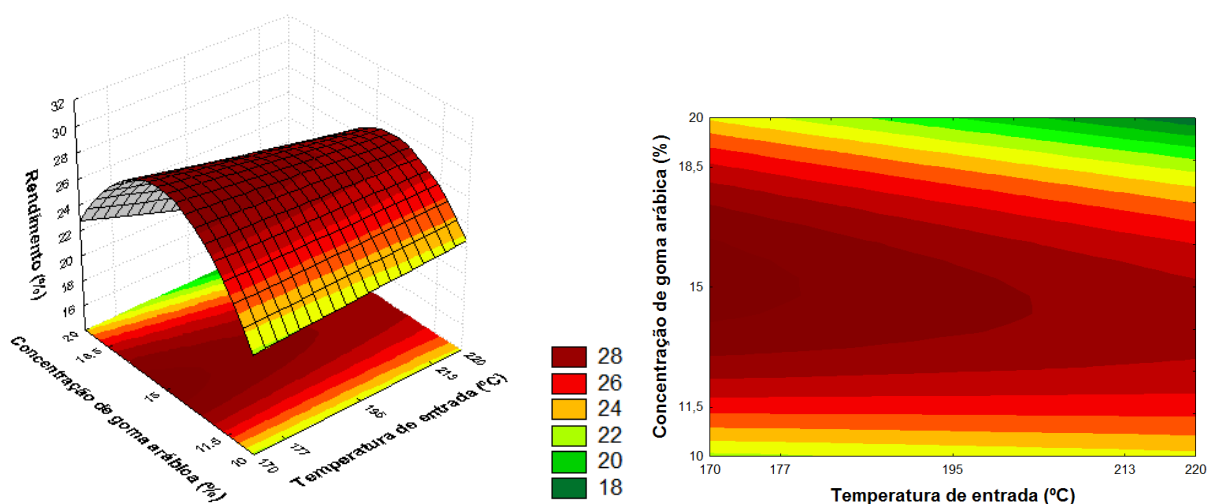


Figura 4.31 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com goma arábica.

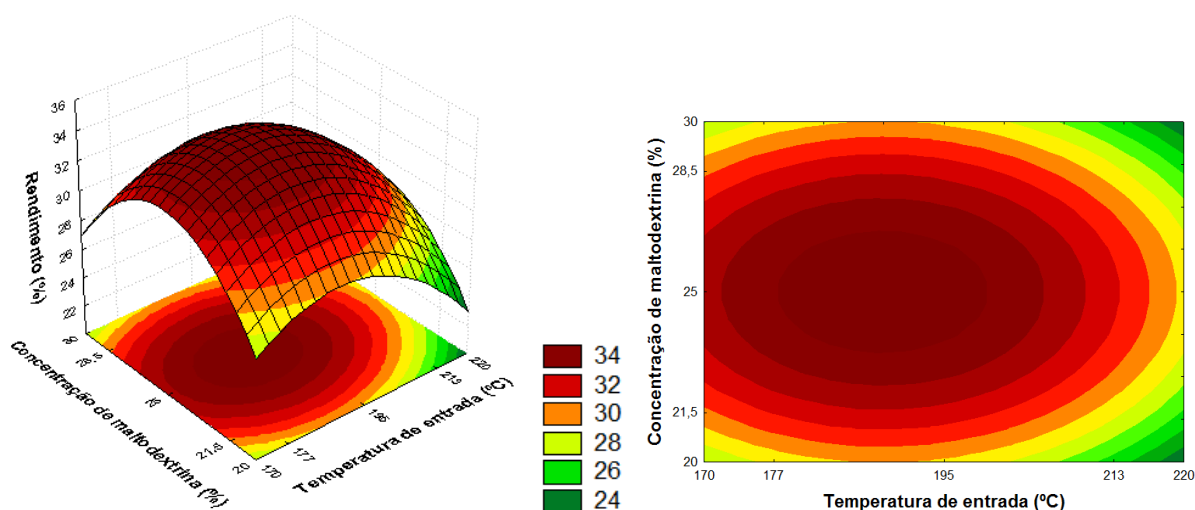


Figura 4.32 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com maltodextrina.

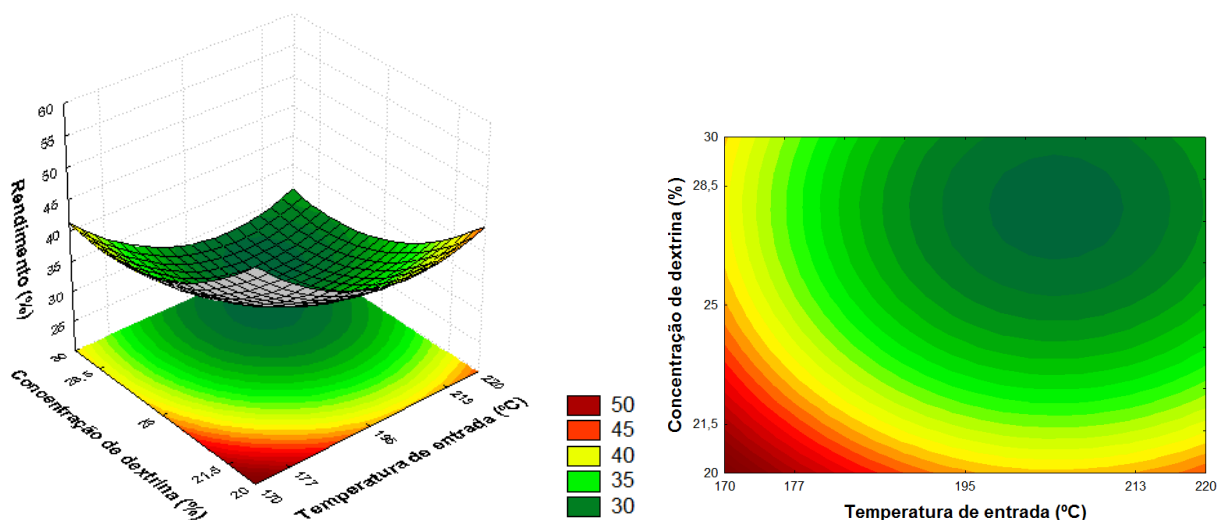


Figura 4.33 - Superfície de resposta e curva de contorno para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulados com dextrina.

4.2.2.5 Oxidação lipídica dos pós de leite de coco babaçu

A oxidação lipídica para os pós de leite de coco babaçu utilizando goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente carreador oscilaram de 0,012 a 0,064 meq de peróxido/kg de óleo, 0,009 a 0,067 meq de peróxidos/kg de óleo e 0,016 a 0,072 meq de peróxido/kg de óleo, respectivamente.

Tonon et al. (2011b) encontraram valores de oxidação lipídica variando de 0,017 a 0,106 meq peróxido/kg de óleo, em secagem de óleo de linhaça encapsulada com goma arábica. Esses valores foram muito parecidos com os obtidos neste trabalho, para todos os encapsulantes estudados.

Para os pós obtidos no planejamento experimental com goma arábica, a oxidação lipídica foi influenciada apenas pela temperatura do ar de entrada no secador, apresentando efeito positivo, indicando que maiores temperatura de entrada no secador tiveram maiores valores de oxidação lipídica dos pós. O mesmo comportamento foi verificado para pós com maltodextrina. Já para os pós com dextrina, a oxidação lipídica não foi influenciada por nenhum dos parâmetros de estudo, indicando que estatisticamente todos os ensaios do

planejamento experimental resultaram em um produto com valor médio de oxidação lipídica igual a 0,05 meq peróxido/kg óleo) (Tabelas B.52, B.54 e B.56 do Apêndice B).

Com a retirada dos efeitos não significativos ao nível foram realizadas as ANOVA que estão apresentadas nas Tabelas B.53 e B.55 do Apêndice B. Em ambas as ANOVA obtidas, o $F_{\text{calculado}}$ da regressão e falta de ajuste foram maiores que o F_{tabelado} , ou seja, os modelos são considerados preditivos, mas com falta de ajuste.

O coeficiente de determinação (R^2) para os modelos ajustados para as respostas oxidação lipídica dos pós com goma arábica e maltodextrina foram de aproximadamente 0,58 e 0,56, respectivamente. Esses valores de R^2 foram considerados muito baixos e com isto não foi possível obter os modelos e superfícies de respostas. Isto provavelmente ocorreu porque os efeitos foram pequenos na faixa estudada.

4.2.3 Otimização do processo e validação

Foi realizada uma comprovação dos pontos dos parâmetros escolhidos como otimização em relação às variáveis dependentes estudadas. O maior rendimento do processo de secagem e menor oxidação lipídica do produto foram escolhidos como critérios para o leite de coco babaçu.

Para o pó otimizado obtido com leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica foram escolhidos os seguintes parâmetros: $T_{\text{ent}} = 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_{\text{GA}} = 15\%$, referente ao ensaio 5 do planejamento experimental. Para o pó microencapsulado com maltodextrina, os parâmetros utilizados foram: $T_{\text{ent}} = 188\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_{\text{M}} = 25\%$. Por outro lado, o pó escolhido quando se utilizou dextrina como agente microencapsulante, os parâmetros escolhidos foram: $T_{\text{ent}} = 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_{\text{D}} = 20\%$.

Na Tabela 4.28, encontram-se os valores obtidos dos ensaios de otimização para as respostas: umidade, higroscopicidade, rendimento do processo, atividade de água e oxidação lipídica para o leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

De acordo com as respostas obtidas na validação dos planejamentos experimentais, observam-se repetições ao ensaio escolhido para o pó de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica.

A umidade dos pós de leite de coco babaçu, para todos encapsulantes utilizados, variou de 0,62 a 1,62 % (maltodextrina e dextrina, respectivamente). A umidade com goma teve valor intermediário em relação a estes (Tabela 4.28). Esses valores estão dentro dos valores estabelecidos na legislação para esse tipo de produto que é de 3,5 % (GUERRA et al., 2005).

Tabela 4.28 - Valores experimentais para as análises realizadas nos pós produzidos nas condições selecionadas pelos planejamentos experimentais para o leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Respostas	Agente Carreador		
	Goma arábica ($T_{ent} = 170\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_{GA} = 15\%$)	Maltodextrina ($T_{ent} = 188\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_M = 25\%$)	Dextrina ($T_{ent} = 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_D = 20\%$)
Umidade (%)	0,93±0,02 ^b	0,62±0,01 ^a	1,62±0,01 ^c
Higroscopicidade **	9,67±0,01 ^b	10,02±0,01 ^c	7,95±0,01 ^a
Rendimento (%)	30,78	32,20	41,51
A _w	0,13±0,01 ^b	0,11±0,01 ^a	0,12±0,01 ^{ab}
Oxidação lipídica **	0,012±0,01 ^a	0,021±0,02 ^b	0,031±0,03 ^c

* - Higroscopicidade é expresso em (g água adsorvida/100g sólidos); ** - Oxidação lipídica é expresso em (meq de peróxidos/Kg de óleo); - Médias com a mesma letra em cada linha indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Um menor valor de umidade pode ser explicado pelo aumento de temperatura e concentração de agente encapsulante. Segundo Kha et al., (2010), 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, promovendo grande força motriz para a evaporação de umidade. Este comportamento também foi observado por Barbosa (2010) estudando suco de misturas de frutas em *spray dryer*, em que a umidade do pó reduziu significativamente com o aumento da temperatura do ar de entrada no secador de 150 °C para 160 °C.

Tonon et al. (2008) observaram influência significativa da temperatura do ar de entrada no secador sobre a umidade de suco de açaí em pó obtido por *spray dryer*. Neste

estudo, os autores obtiveram pós com umidade na faixa de 0,64 a 2,89 % utilizando-se temperaturas para o ar de entrada no secador de 138 °C a 202 °C. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por Quek et al. (2007), no qual mostraram que a umidade de suco de melancia em pó obtido por *spray dryer*, utilizando-se temperatura de ar de entrada no secador igual a 155 °C, foi reduzida significativamente (2,29 a 1,55 %) quando a concentração de maltodextrina aumentou de 3 para 5 %.

Segundo Quek et al. (2007), em um sistema de *spray drying*, o teor de água 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 de umidade do pó. Dessa forma, pós com baixa umidade podem ser obtidos pelo incremento na porcentagem de maltodextrinas adicionada. Entretanto, se esta proporção for muito alta, o pó produzido poderá ser de baixa qualidade em função da diluição dos nutrientes inicialmente presentes. Horuz et al. (2012), em seu trabalho com suco de romã secos em *spray dryer*, observaram que o aumento da maltodextrina causou uma diminuição significativa na umidade do pó, devido ao aumento no teor de sólidos da mistura e, consequentemente, os sólidos de maltodextrina diminuíram a água livre.

A higroscopicidade dos pós de leite de coco babaçu para todos os encapsulantes estudados variou de 7,75 a 10,02 % (Tabela 4.28). Estes resultados foram inferiores aos obtidos por Tonon (2009) em polpa de açaí em pó, utilizando maltodextrina como agente carreador. No estudo, a higroscopicidade dos pós variou de 12,48 a 15,79 %, o que pode ser atribuído à concentração de maltodextrina utilizada (10 a 30 %), visto que a maltodextrina é um material que apresenta baixa higroscopicidade. Machado (2010), secando polpa de tomate em *spray dryer* com maltodextrina, encontrou valores de higroscopicidade muito superior ao obtido neste trabalho (15,7 a 24,2 %).

Durante a análise de higroscopicidade, foram observadas mudanças nas características físicas dos pós. Após 48 horas, as amostras com goma arábica e maltodextrina, começaram a formar aglomerados e, após 7 dias, as amostras ganharam mais umidade, mas não apresentaram visualmente nenhum tipo contaminação por fungos (Figura 4.34). O pó com dextrina apresentou aglomeração somente a partir do 7º dia de armazenamento.

Agente carreador	Dia de análises			
	1º	3º	5º	7º
Goma arábica				
Maltodextrina				
Dextrina				

Figura 4.34 - Mudanças visuais causadas pela absorção de água ao longo do tempo nos pós obtidos a partir de leite de coco com goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente microencapsulante (temperatura ambiente, umidade relativa de 75,3 %).

Os pós de leite de coco babaçu encapsulados com dextrina obteve o maior valor de rendimento do processo (41,50 %), quando comparados com os pós com goma arábica (30,78 %) ou maltodextrina (32,20 %). Resultados próximos foram encontrados por Tonon (2009), utilizando suco de açaí encapsulado com maltodextrina em *spray dryer*.

O rendimento de um processo de *spray drying* é afetado altamente pela quantidade de material que fica depositado no interior do secador (WANG e LANGRISH, 2009). Com a utilização de goma arábica e maltodextrina como agentes carreadores havia uma grande aderência das partículas no interior da câmara, quanto à deposição do pó no sistema que conecta a câmara ao ciclone e no próprio ciclone. Isto também foi visível quando se utilizou dextrina, porém em pouca quantidade.

Outra possibilidade de perda de rendimento no processo de secagem em *spray drying* se refere às dimensões da câmara de secagem. Segundo Truong et al. (2005), teoricamente,

não haveria problemas de deposição de material se a câmara do secador fosse suficientemente grande. Porém, neste trabalho foi utilizado um secador de escala laboratorial que possui uma câmara com dimensões que não garantem que as partículas estejam totalmente secas ao colidir na parede, ocasionado depósito de material molhando, diminuindo assim o rendimento do processo de secagem (MACHADO, 2010).

A atividade de água influencia no comportamento microbiológico. De modo geral, as bactérias são mais exigentes quanto à disponibilidade de água que os bolores e leveduras (BRASEQ, 2006). A partir do conhecimento de atividade de água pode-se propor, também sistemas adequados de embalagem para um produto.

As amostras de leite de coco babaçu em pó produzidas por atomização utilizando goma arábica, maltodextrina e dextrina apresentaram valores de atividade de água igual a 0,13; 0,11 e 0,12, respectivamente (Tabela 4.28). Em produtos alimentícios a vida de prateleira está relacionada diretamente não só a fatores como temperatura, exposição à luz e oxigênio, como também à atividade de água. Em geral, valores inferiores a 0,6 inibem diversas reações indesejáveis como de Maillard, ação de enzimas e desenvolvimento de microrganismos (FELLOWS, 2000). Os resultados obtidos indicaram que o valor de atividade de água para as amostras de leite de coco babaçu em pó foi compatível com os de produtos desidratados e abaixo do valor mínimo que favorece reações degradativas, como o trabalho de Costa et al. (2009), que também encontrou valores de atividade de água inferiores para microcápsulas de óleo de pequi. Porém, a atividade de água contida na matriz alimentícia também pode afetar a estabilidade oxidativa dos lipídeos e, a velocidade de oxidação aumenta para valores inferiores (A_w entre 0,2 a 0,3) e muito próximos de zero (estado de desidratação), ou superiores (SILVA et al., 1999).

O valor médio de oxidação lipídica para os pós de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina ou dextrina variou de 0,012 a 0,031 (Tabela 4.28). As amostras encapsuladas com goma arábica e dextrina obtiveram o maior e menor valor de oxidação lipídica, apesar de serem produzidas na mesma temperatura de entrada no secador. Isto indica que o tipo e a quantidade de agente encapsulante também influencia no valor da oxidação lipídica, mostrando que não houve uma boa eficiência de encapsulação para a amostra com dextrina. As cápsulas de leite de coco babaçu não bem

encapsuladas, quando em contato com o oxigênio, são muito mais suscetíveis à oxidação lipídica do que as cápsulas bem encapsuladas.

Tonon et al. (2011b), estudando a influência da composição de emulsão e temperatura de entrada de ar no secador na microencapsulação de óleo de linhaça por atomização, encontraram valores oscilando de 0,017 a 0,106 meq de peróxido/kg de óleo utilizando 20 % de goma arábica, temperatura de entrada de ar no secador de 170 °C e 20 e 30 % de concentração de óleo de linhaça.

A temperatura também é um fator muito importante no índice de peróxidos. O uso de temperaturas de entrada de ar no secador mais elevadas fornece mais energia disponível para o processo de oxidação lipídica, que ocorre mais intensamente, favorecendo a formação de peróxidos. Thomsen et al. (2005) notaram uma forte dependência da temperatura para a deterioração da qualidade de leite em pó, confirmando uma dependência tipo Arrhenius da oxidação lipídica na temperatura. Já Serfert et al. (2009), estudando o conteúdo de hidroperóxidos em óleo de peixe microencapsulado, encontraram valores três vezes maiores para o pó produzido com temperatura do ar de entrada no secador de 210 °C quando comparado com o produzido com 160 °C de temperatura. Segundo Tonon et al. (2011b), temperaturas de entrada de ar inferior a 140 °C podem não ser suficientes para a secagem das gotas, levando a um encapsulamento ineficiente, enquanto temperaturas superiores a 170 °C aceleram a oxidação lipídica da reação.

4.2.4 Caracterização do leite de coco babaçu em pó obtido na condição ótima

4.2.4.1 Densidade aparente, Densidade absoluta e Porosidade

Além das respostas obtidas com a repetição dos ensaios otimizados, foram realizados ainda as seguintes análises: densidade aparente, densidade absoluta, porosidade, distribuição do tamanho de partícula, molhabilidade, microscopia eletrônica de varredura, condições críticas de estocagem como isoterma de sorção e temperatura de transição vítrea e estudo da

estabilidade através das análises de cor, carotenoides totais, oxidação lipídica e atividade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP.

Na Tabela 4.29 são apresentadas a densidade aparente, densidade absoluta e porosidade das partículas de leite de coco babaçu microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

As amostras produzidas com maltodextrina foram as que apresentaram a maior densidade aparente, enquanto as demais amostras não mostraram diferença significativa entre si (Tabela 4.29). Machado (2010) e Horuz et al. (2012) encontraram valores de densidade aparente entre 0,32 a 0,42 g/mL e 0,35 a 0,47 g/mL para pós de polpa de tomate e suco de romã, respectivamente, obtidos na secagem por atomização utilizando maltodextrina como agente carreador. Estes valores foram parecidos com os obtidos neste trabalho.

Segundo Barbosa-Cánovas e Juliano (2005), a densidade aparente considera o volume do material e todos os poros internos e externos da partícula, sendo que estas características são dependentes das condições de secagem aplicadas. Diferentes condições do processo de secagem por atomização resultam em pós com microestruturas diferentes.

Tabela 4.29 - Densidade aparente, densidade absoluta e porosidade dos pós de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.

Agente carreador	Densidade aparente (g/mL)	Densidade absoluta (g/mL)	Porosidade
Goma arábica	0,39±0,003 ^a	1,16±0,01 ^a	0,66±0,00 ^b
Maltodextrina	0,43±0,003 ^b	1,25±0,01 ^b	0,65±0,00 ^a
Dextrina	0,39±0,003 ^a	1,22±0,01 ^b	0,67±0,01 ^b

- Médias com a mesma letra em cada coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Goula e Adamopoulos (2008b) explicam que um aumento na concentração de agente carreador pode causar aumento no volume de ar preso no interior das partículas. Partículas atomizadas, que utilizam material de parede, geralmente apresentam bolhas, que podem ocorrer como resultado da dessorção de ar que estava inicialmente presente no líquido de

alimentação ou que foi absorvido durante a atomização. Geralmente um aumento no volume de ar causa diminuição da densidade da partícula, que por sua vez leva à diminuição da densidade aparente.

A temperatura do ar de entrada no secador também é um fator que afeta consideravelmente a densidade aparente das partículas. Aumentando a temperatura aumenta também a densidade aparente dos pós (caso dos pós com maltodextrina - $T_{ent} = 188\text{ }^{\circ}\text{C}$). Este comportamento também foi observado por Horuz et al. (2012) e Goula e Adamopoulos (2012) em estudo com secagem por atomização de suco de romã e licopeno, respectivamente, utilizando maltodextrina como carreador. A umidade do pó está relacionada efetivamente com este fato. Com a maior umidade do pó as partículas tendem a ficar mais juntas, deixando mais interfaces entre elas, o que resulta em maior volume da partícula e, portanto, menor densidade aparente da partícula (HORUZ et al., 2012; GOULA e ADAMOPOULOS 2012).

Segundo Walton (2000), o aumento na temperatura do ar de entrada geralmente produz um decréscimo no volume da densidade da partícula e existe uma tendência para a formação de partículas ocas. Resultados contraditórios com os obtidos neste trabalho, relataram que os pós secos por aspersão com maior umidade tendem a ter um maior volume e peso, por causa da presença da água, que é consideravelmente mais denso do que o sólido seco, ou seja, com o aumento de umidade houve também um aumento no valor da densidade aparente das partículas (GOULA et al., 2004; CHEGINI e GHOBADIAN, 2005; CAI e CORKE, 2008; KHA et al., 2010; FERRARI et al., 2012b; HORUZ et al., 2012).

Em relação à densidade absoluta, os valores obtidos para as partículas encapsuladas com os materiais de parede maltodextrina e dextrina, foram estatisticamente iguais. As partículas obtidas com goma arábica foram as que apresentaram a menor densidade absoluta.

A densidade absoluta corresponde à real densidade do sólido e não considera os espaços presentes entre as partículas, ao contrário da densidade aparente, que considera todos esses espaços.

Os valores de porosidade foram muito parecidos para todos os pós de encapsulantes utilizados que variaram de 0,65 a 0,67 % (Tabela 4.29). Essa propriedade é muito importante no caso de microcápsulas nas quais o material encapsulado é susceptível a reações de oxidação, por exemplo. O maior número de espaços vazios implica na presença de uma maior

quantidade de oxigênio, que pode provocar uma degradação mais rápida do composto protegido, como a oxidação lipídica no caso do leite de coco babaçu.

4.2.4.2 Distribuição do tamanho de partícula

A Figura 4.35 apresenta a distribuição do tamanho de partículas dos pós obtidos na secagem de leite de coco babaçu em *spray dryer*.

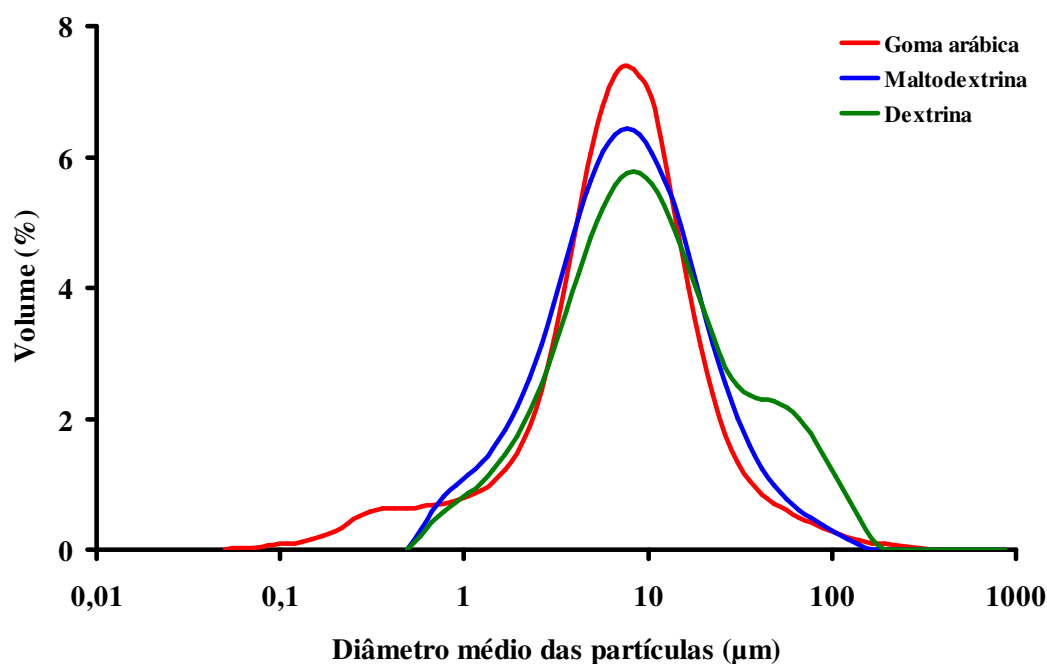


Figura 4.35 - Distribuição do tamanho de partículas dos pós selecionados de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Pode ser observado que, as partículas de leite de coco babaçu encapsulada com maltodextrina apresentaram uma distribuição unimodal enquanto que as partículas encapsuladas com goma arábica e dextrina apresentaram uma distribuição bimodal, indicando dois tamanhos de partículas predominantes (Figura 4.35).

Para os pós com goma arábica, o primeiro pico apresentou um volume de aproximadamente 0,6 % e menores diâmetros de partículas ($< 1 \mu\text{m}$). O segundo pico apresentou volume de aproximadamente 7,8 % e diâmetros entre 1 e $110 \mu\text{m}$.

Para os pós com dextrina o primeiro pico apresentou um volume de aproximadamente 6 % e diâmetros de partículas entre 0,9 a $80 \mu\text{m}$. O segundo pico apresentou volume de aproximadamente 2,5 % diâmetros entre 80 e $120 \mu\text{m}$. Já para os pós com maltodextrina, houve a presença de apenas um pico acentuado com volume de aproximadamente 6,5 % e diâmetros de partículas entre 0,8 a $110 \mu\text{m}$.

Segundo Tonon (2009), a distribuição bimodal permite maior compactação do pó no armazenamento, já que as partículas menores podem penetrar nos espaços presentes entre as partículas maiores, ocupando menor espaço.

Em relação ao diâmetro médio das partículas, $D[4,3]$, foram obtidos valores entre 10,74 a $17,77 \mu\text{m}$ (Tabela 4.30).

Tabela 4.30 - Diâmetro médio $D[4,3]$ das partículas de leite de coco babaçu microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.

Agente carreador	Diâmetro médio (μm)
Goma arábica	$10,74 \pm 0,2^a$
Maltodextrina	$11,18 \pm 0,3^b$
Dextrina	$17,77 \pm 0,2^c$

- Médias com a mesma letra na coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

O tamanho das partículas das cápsulas contendo goma arábica e maltodextrina como agente carreador, apresentaram-se bem parecidas. Já quando utilizou-se dextrina foi obtido um valor maior de tamanho de partícula. Papadakis et al. (2006), trabalhando com *spray drying* de suco de uva e maltodextrina como agente carreador, encontraram diâmetro médio de partícula semelhantes, na faixa de 5 a $20 \mu\text{m}$.

Aghbashlo et al. (2012), trabalhando com secagem por atomização de óleo de peixe, obtiveram valores de diâmetro médio de partícula entre 2,31 a $5,48 \mu\text{m}$, no qual os autores afirmaram que o tamanho das cápsulas diminuiu com o aumento da proporção de fase aquosa.

Uma maior taxa de umidade na formulação da emulsão causou um encolhimento intenso da partícula durante a secagem. Por outro lado, diminuindo a viscosidade da emulsão devido ao aumento da proporção da fase aquosa resultou em partículas atomizadas de tamanho menor. Este comportamento foi semelhante ao obtido para os pós de leite de coco babaçu com goma arábica. Masters (1991) declarou que o tamanho da gota atomizada é diretamente proporcional à viscosidade dos alimentos em constante estado de pulverização. Fato semelhante foi observado por Jinapong et al. (2008) e Tonon et al. (2011b), na secagem por atomização de leite de soja e óleo de semente de linhaça, respectivamente.

4.2.4.3 Tempo de molhabilidade

Os resultados de tempo de molhabilidade dos pós de polpa de pequi encapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina estão apresentados na Tabela 4.31.

Tabela 4.31 - Valores de tempo de molhabilidade dos pós de leite de coco babaçu microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, nas condições selecionadas.

Agente carreador	Tempo de molhabilidade (min)
Goma arábica	12,17±0,12 ^b
Maltodextrina	12,83±0,12 ^c
Dextrina	5,50±0,08 ^a

- Médias com a mesma letra na coluna indicam que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) pelo Teste de Tukey.

Segundo Tonon (2009), a molhabilidade pode ser caracterizada pela susceptibilidade das partículas em serem penetradas pela água, e está relacionada tanto à composição química do alimento, quanto aos fatores físicos, especialmente tamanho e forma das partículas e temperatura da água de reconstituição. Como observado na Tabela 4.30, o pó de leite de coco babaçu produzido com dextrina apresentou o menor valor de molhabilidade. Isto ocorreu porque estes pós apresentaram uma maior porosidade e tamanho de partícula, o que, teoricamente, resultaria em um menor tempo de molhabilidade, uma vez que há uma maior

quantidade de ar intersticial, formando “canais” que facilitam a entrada do líquido de dissolução.

Os pós de leite de coco babaçu encapsulados com goma arábica e maltodextrina apresentaram uma maior formação de grumos do que os pós com dextrina, com isto, apresentaram maior tempo de molhabilidade, por apresentarem partículas mais finas. A baixa molhabilidade dos pós muito finos se deve à sua elevada tensão superficial e a camada viscosa formada na superfície do líquido que impede o fluxo por capilaridade entre os poros intergranulares (SCHUBERT, 1993).

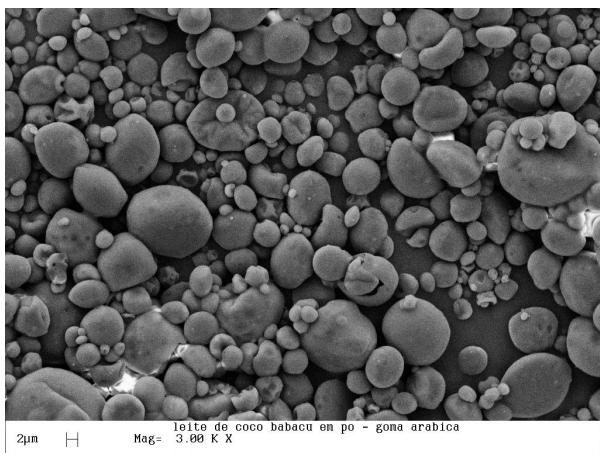
Jinapong et al. (2008), estudando a produção de leite de soja por *spray drying*, obtiveram pós com tempo de molhabilidade bem menores, variando de 1 a 5 minutos. Neste caso, não foi utilizado nenhum agente carreador durante a secagem.

As partículas de leite de coco babaçu apresentaram um tempo de molhabilidade muito alto, o que representa um aspecto negativo em relação à reconstituição do produto. Pois, para um pó com boas propriedades de reconstituição o tempo de molhabilidade deve ocorrer em questões de poucos segundos.

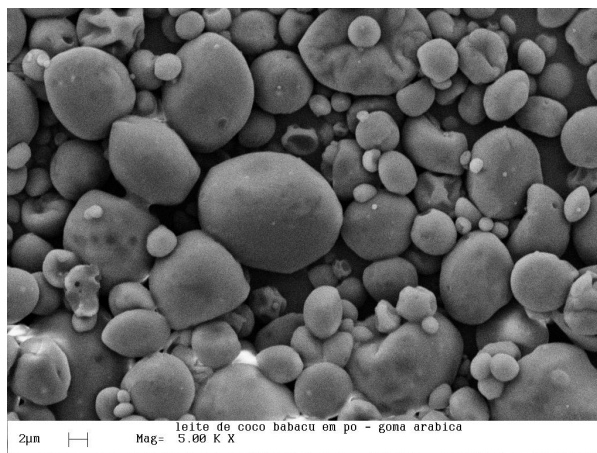
4.2.4.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Na Figura 4.36 é mostrado a representação morfológica dos pós de leite de coco babaçu secos em *spray dryer* utilizando goma arábica, maltodextrina e dextrina como agente carreador.

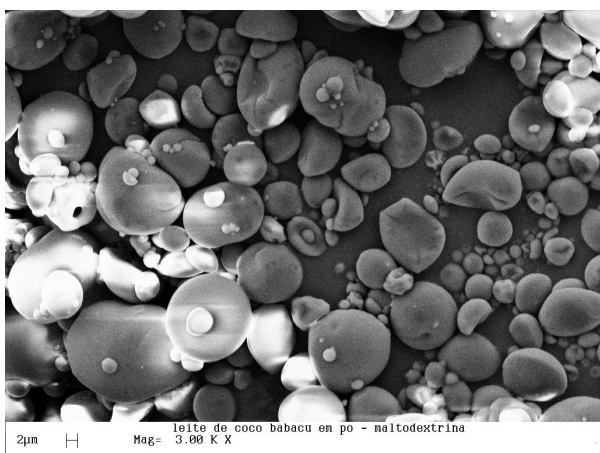
As imagens de MEV das microcápsulas das diferentes amostras apresentaram, em geral, estrutura com paredes rugosas e sem fissuras ou rachaduras aparentes com predominância de formatos irregulares, embora estruturas esféricas também estejam presentes. Isto é importante para fornecer menor permeabilidade a gases, uma melhor proteção e retenção do núcleo. Os pós apresentaram tamanhos mistos de partículas, que concorda com os resultados obtidos para a distribuição do tamanho de partícula. Dessa maneira, o processo caracterizou-se como micro, pela formação de cápsulas no tamanho de 2 µm para aumento de 3000 e 5000 vezes.



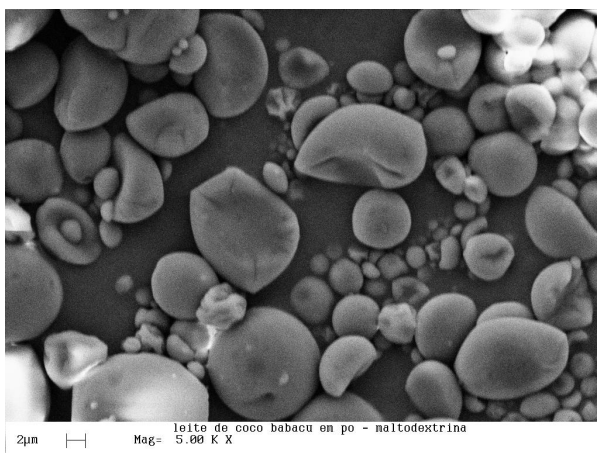
(a) 15 % goma arábica, aumento de 3000x.



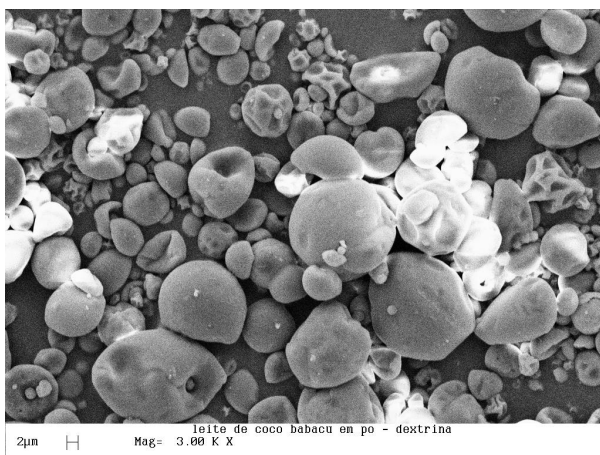
(b) 15 % goma arábica, aumento de 5000x.



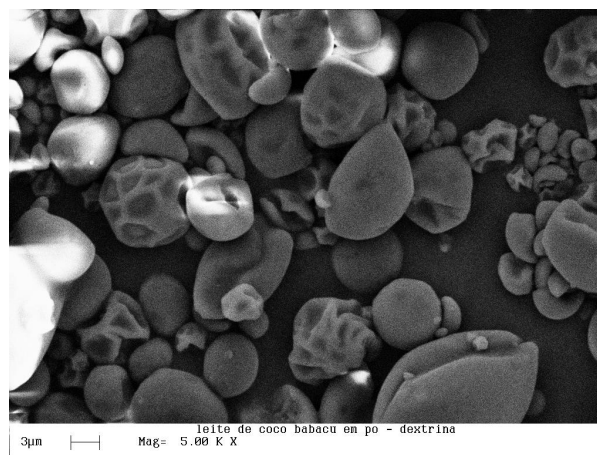
(c) 25 % maltodextrina aumento de 3000x.



(d) 25 % maltodextrina, aumento de 5000x.



(e) 20 % dextrina, aumento de 3000x.



(f) 20 % dextrina, aumento de 5000x.

Figura 4.36 - Imagens das partículas resultantes da secagem dos pós selecionados de leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Durante a evaporação, a partícula diminui gradualmente o seu tamanho e a espessura da superfície torna-se maior, formando partículas sólidas ou ocas dependendo do material. As partículas ocas são formadas pela expansão dos gases dissolvidos na solução durante a secagem, a formação de bolhas de vapor no interior das gotículas ou a incorporação de ar nas gotículas durante a atomização (SEYDEL et al., 2006). Segundo Ré (1998), a formação de partículas ocas é usualmente característica de processo de secagem em *spray drying*, que causa contração das microcápsulas durante os estágios de secagem e resfriamento. A superfície rugosa pode ser provocada pela contração da partícula quando diminui a pressão interna dos gases de evaporação.

As microscopias para o leite de coco babaçu com goma arábica como agente encapsulante apresentaram, em sua maioria, partículas esféricas e ausência de cavidades que indicam a formação de um filme contínuo na parede externa das micropartículas e podem justificar a maior eficiência de encapsulação. Isto é uma vantagem, uma vez que implica que as cápsulas têm menor permeabilidade aos gases, aumento a proteção e retenção do material ativo (CARNEIRO et al., 2012). Já as partículas com maltodextrina e dextrina como agente encapsulante apresentaram semelhança na maioria dos formatos encontrados, apresentando também partículas ocas e enrugadas.

Lim et al. (2012) observaram que partículas encapsuladas com mistura de maltodextrina e goma arábica apresentou superfícies lisas e elas eram também mais aglomeradas, enquanto a superfície das cápsulas produzidas com lactose e goma arábica mostrou-se uma estrutura enrugada e mais porosa.

Loksuwan (2007) relatou que maltodextrina contém uma grande quantidade de frações de baixa massa molecular, que possam servir como plastificantes, impedindo a retração da superfície durante a secagem em *spray* levando a formação de partículas mais suaves. Osório et al. (2011) e Frascareli et al. (2012a) verificaram a formação de mais partículas esféricas regulares para pós de goiaba e óleo de café encapsulados com goma arábica. No entanto, Kurozawa et al. (2009), trabalhando com secagem por aspersão de hidrolisado protéico de carne de frango, observaram que as partículas produzidas com goma arábica apresentavam mais superfícies de formato irregular.

4.2.5 Determinação das condições críticas de estocagem

4.2.5.1 Isotermas de sorção

Conhecimento de isotermas de adsorção de água é fundamental para prever a estabilidade de vida de prateleira e da qualidade de alimentos em pó durante o armazenamento. As isotermas de adsorção descrevem a relação entre a atividade de água (A_w) e o conteúdo de equilíbrio.

Os pós de leite de coco babaçu com goma arábica, maltodextrina e dextrina foram armazenados a temperatura de 25 ± 1 °C, em ambientes com diferentes umidades relativas, por um intervalo de tempo suficiente para que fosse atingido o equilíbrio. Em todas as condições, houve adsorção de água pelo produto. A Tabela 4.32 relaciona os valores experimentais médios de umidade de equilíbrio (X_e) correspondentes às atividades de água (A_w) determinada pelas soluções salinas saturadas, para a construção das isotermas de sorção.

Tabela 4.32 - Valores experimentais de umidade de equilíbrio a 25 °C, para as amostras de leite de coco babaçu produzidas com diferentes tipos de agentes carreadores.

Sais	A_w	Umidade de Equilíbrio, X_e (g/g matéria seca)		
		Goma arábica	Maltodextrina	Dextrina
LiCl	0,112	0,008	0,018	0,019
CH ₃ COOK	0,226	0,014	0,029	0,030
MgCl ₂	0,328	0,023	0,040	0,037
K ₂ CO ₂	0,432	0,034	0,056	0,049
Mg(NO ₃) ₂	0,529	0,041	0,070	0,065
KI	0,689	0,069	0,103	0,095
NaCl	0,753	0,093	0,131	0,107
KCl	0,843	0,154	0,188	0,150

Na Tabela 4.33, estão descritos os valores dos desvios relativos médios, juntamente com os parâmetros das equações obtidos pelo programa computacional Statistica® (versão

9.0), utilizando-se o módulo de estimativa não linear (método de conversão Simplex-Quasi - Newton).

Tabela 4.33 - Parâmetros de ajuste da isoterma dos pós de leite de coco babaçu microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Modelos	Agente carreador	Parâmetros de ajuste			R ²	DRM (%)
		X _m	C _{GAB}	K _{GAB}		
GAB	Goma arábica	32,425	0,002	0,641	0,984	5,8
	Maltodextrina	8,100	0,022	0,341	0,992	5,4
	Dextrina	5,747	0,033	0,319	0,988	4,7
		X _m		C _{BET}		
BET (2 parâmetros)	Goma arábica	0,225		5,287	0,972	0,1
	Maltodextrina	0,318		5,668	0,943	0,6
	Dextrina	0,025		5,214	0,997	0,1
		X _m	C _{BET}	n		
BET (3 parâmetros)	Goma arábica	2,915	0,010	2,981	0,984	56,4
	Maltodextrina	1,515	0,030	2,017	0,990	7,3
	Dextrina	2,258	0,022	1,812	0,984	12,1
		a		r		
HALSEY	Goma arábica	0,003		1,064	0,995	23,9
	Maltodextrina	0,077		1,058	0,971	2,8
	Dextrina	0,088		1,474	0,994	1,8
		k'		n'		
HANDERSON	Goma arábica	8,572		0,799	0,987	1,3
	Maltodextrina	25,705		1,158	0,999	5,9
	Dextrina	30,960		1,206	0,996	7,6
		A		B		
OSWIN	Goma arábica	0,043		0,756	0,995	1,4
	Maltodextrina	0,973		0,540	0,982	7,9
	Dextrina	0,941		0,529	0,999	9,7

De acordo com os dados da tabela, pode-se verificar que os valores dos desvios relativos médios (DRM) utilizando BET para dois parâmetros foram inferiores a 5 %, o que indica, segundo a classificação feita por Lomauro et al. (1985), que eles possuem excelente ajuste.

A umidade da monocamada (X_m) é um importante parâmetro que controla a estabilidade química e física dos alimentos, influenciando no aroma e sabor dos microencapsulados (FABRA et al., 2011; COMUNIAN et al., 2011; FRASCARELI et al., 2012b). Os valores de X_m obtidos pelo modelo de BET para os pós de leite de coco babaçu com goma arábica, maltodextrina e dextrina, respectivamente, foram 0,025, 0,318 e 0,225 g água/g massa seca.

Na Figura 4.37, encontra-se uma representação gráfica das isotermas de sorção do leite de coco babaçu em pó, ajustadas ao modelo de BET para dois parâmetros.

Os formatos das isotermas apresentaram-se do Tipo III que absorve baixa quantidade de água a baixas atividades de água e grande quantidade de água a altas umidades relativas.

Curvas semelhantes foram encontradas por Tonon et al. (2009b) para polpa de açaí, encapsuladas com maltodextrina ou goma arábica.

As isotermas de adsorção, para todos os pós de leite de coco babaçu estudados, apresentaram a forma sigmoideal com um aumento suave de umidade em função do aumento da atividade de água.

Os pós com goma arábica e maltodextrina apresentaram o mesmo comportamento até aproximadamente a atividade de água de 0,6. Os pós produzidos com dextrina apresentaram menor higroscopicidade, possivelmente relacionados ao tamanho das partículas produzidas.

Foram observadas algumas mudanças visuais nas características físicas dos pós armazenados em diferentes umidades relativas. Quando armazenadas sob umidades relativas de até 53 %, as partículas permaneceram na forma de um pó solto, para todos os agentes carreadores utilizados.

Em uma umidade relativa de 69 %, as partículas com goma arábica e maltodextrina começaram a apresentar a formação de aglomerados que não se soltavam mais com tanta facilidade e as partículas com dextrina apresentavam ainda soltas. Quando armazenadas na umidade relativa acima de 75 %, todas as amostras apresentaram aglomeração e compactação, porém sem haver presença de nenhum tipo de microrganismo como fungos.

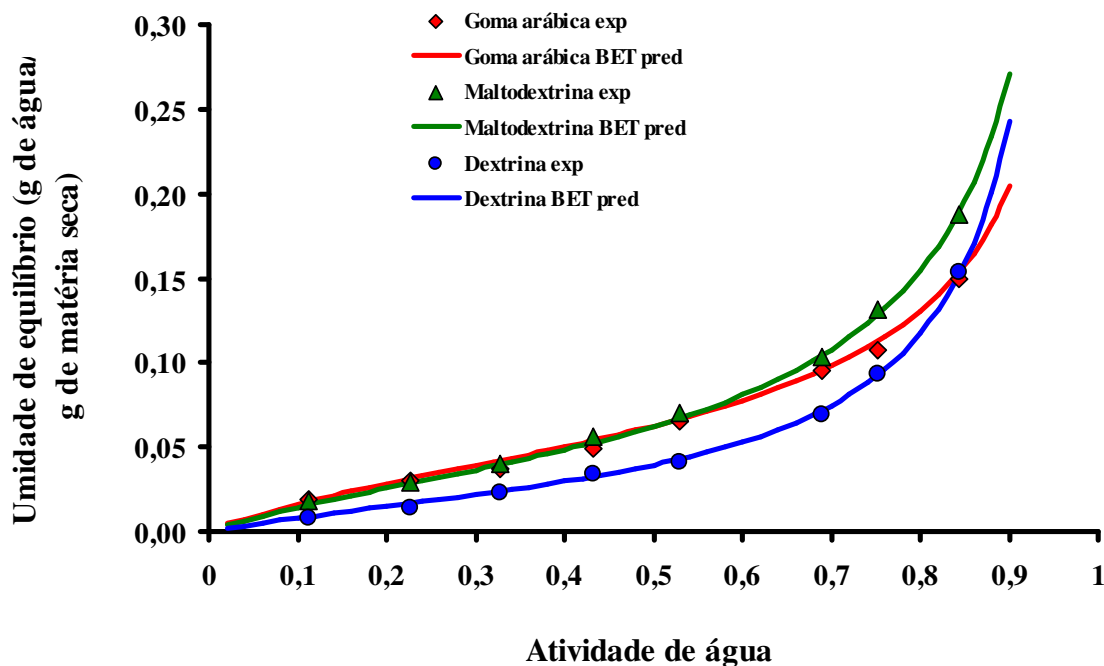


Figura 4.37 - Isothermas de sorção leite de coco babaçu em pó microencapsulada com goma arábica, maltodextrina e dextrina, ajustadas pelo modelo de BET.

4.2.5.2 Temperatura de transição vítrea

Foi feita a análise de temperatura de transição vítrea apenas para os pós de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina. Este encapsulante foi escolhido por apresentar uma menor higroscopicidade e maior rendimento, além de apresentar menores valores de umidade de equilíbrio em maiores valores de atividade de água do que os demais encapsulantes estudados.

Um exemplo de termograma com a temperatura de transição vítrea (T_g , “midpoint”) obtidos para os pós de leite de coco babaçu com dextrina e armazenada em umidade relativa de 22,6 % está apresentado na Figura 4.38.

Na Tabela 4.34 estão apresentados as temperaturas de transição vítrea e os picos endotérmicos obtidos para os pós de leite de coco babaçu com dextrina armazenadas em diferentes atividades de água. O aumento do teor de água conduz a diminuição da T_g , o que pode ser modelado com precisão pela equação de Gordon-Taylor. Este mesmo fato foi observado por Mosquera et al. (2010), Raharitsifa e Ratti (2010), Mosquera et al. (2012) e

Moraga et al. (2012) para pós de borojó (*Borojoa patinoi cuatrec*), suco de maçã, morango e toranja, respectivamente.

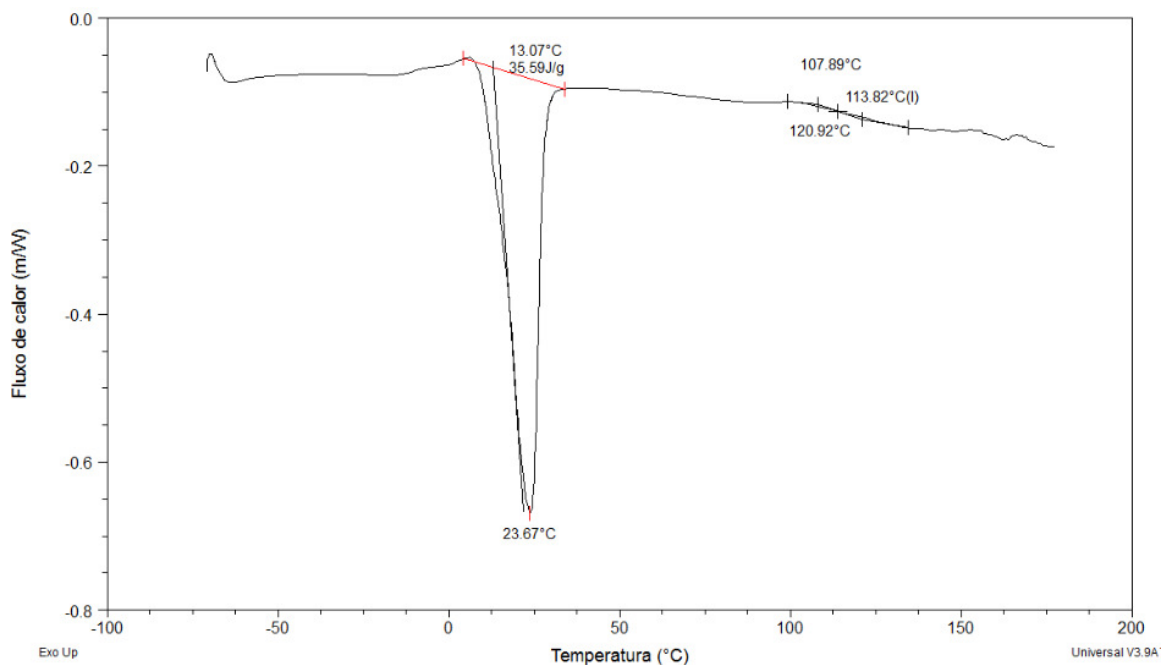


Figura 4.38 - Termograma obtido para a amostra produzida com dextrina, armazenada em umidade relativa de 22,6 %.

A presença do pico endotérmico em todos os termogramas obtidos é devido ao ponto de fusão dos lipídeos presente no leite de coco babaçu que, segundo Arévalo et al. (2005) é em torno de 23 a 25 °C. O valor médio do ponto de fusão dos lipídeos obtido para os pós de leite de coco babaçu com dextrina foi de 23 °C.

Tabela 4.34 - Temperatura de transição vítrea do pó de leite de coco babaçu com dextrina armazenados em diferentes atividade de água.

Sais	A _w	T _g (°C)	Ponto de fusão dos lipídeos (°C)
LiCl	0,112	128,68±1,77	23,06±0,13
CH ₃ COOK	0,226	115,04±1,56	23,58±0,22
MgCL ₂	0,328	93,87±1,88	23,02±0,39
K ₂ CO ₂	0,432	84,92±1,56	22,72±0,06
Mg(NO ₃) ₂	0,529	71,02±3,95	23,10±0,44
KI	0,689	56,86±1,48	22,65±0,30
NaCl	0,753	53,39±1,24	22,78±0,22
KCl	0,843	41,5±3,26	22,65±0,14

Os dados experimentais da T_g em função do teor de sólidos presentes nos pós de polpa de pequi com dextrina foram descritos de acordo com o modelo de Gordon e Taylor (1952). Os parâmetros deste modelo, calculados por regressão não-linear, juntamente com o coeficiente de determinação estão ilustrados na Tabela 4.35. O parâmetro k_{GT} controla o grau de curvatura da curva de T_g em função do teor de sólidos e pode ser interpretado como a força da interação entre os componentes do sistema (GORDON e TAYLOR, 1952). Frascareli et al. (2012b), Tonon et al. (2009b), Goula et al. (2008), Silva et al. (2006) e Moraga et al. (2006) encontraram valores semelhantes para este parâmetro estudando pós de óleo de café, açaí, tomate, camu-camu e kiwi, respectivamente.

Tabela 4.35 - Parâmetros de ajuste do modelo de Gordon-Taylor dos pós de leite de coco babaçu com dextrina.

Parâmetros	Agente carreador
	Dextrina
T_{gs} (°C)	135,38
k_{GT}	3,65
R^2	0,991
DRM (%)	1,82

A Figura 4.39 ilustra os dados experimentais ajustados pelo modelo de Gordon-Taylor.

A temperatura de transição vítrea pode explicar a dificuldade de se secar o leite de coco babaçu sem a adição de algum agente encapsulante. A “temperatura pegajosidade” (temperatura na qual o material apresenta uma grande pegajosidade) é geralmente cerca de 10-23 °C mais alta do que a temperatura de transição vítrea e, na secagem por atomização, as partículas que estão acima dessa temperatura aderem à parede do secador e se degradam e/ou se aglomeram, afetando negativamente as propriedades de fluxo do pó (TRUONG et al., 2005). Assim, o leite de coco babaçu provavelmente tem uma “temperatura pegajosidade” muito baixa ou próxima a temperatura de saída do secador que é cerca de 140 °C, o que resultou em grande aderência no produto na parede do secador obtendo um rendimento não significativo de pó.

Com a adição de algum agente encapsulante o valor da T_g aumenta. Isto está relacionado com o aumento da massa molecular média, devido à adição de sólidos. A mesma tendência foi observada por diversos autores trabalhando com noni em pó (FABRA et al., 2011), camu-camu (SILVA et al., 2006), amora preta (FAZAELI et al., 2012), cardamomo oleoresina (KRISHNAN et al., 2005), óleo de café (FRASCARELI et al., 2012b), borojó (Borojoa patinoi cuatrec) (MOSQUERA et al., 2010), maçã (JAKUBEZYK et al., 2010).

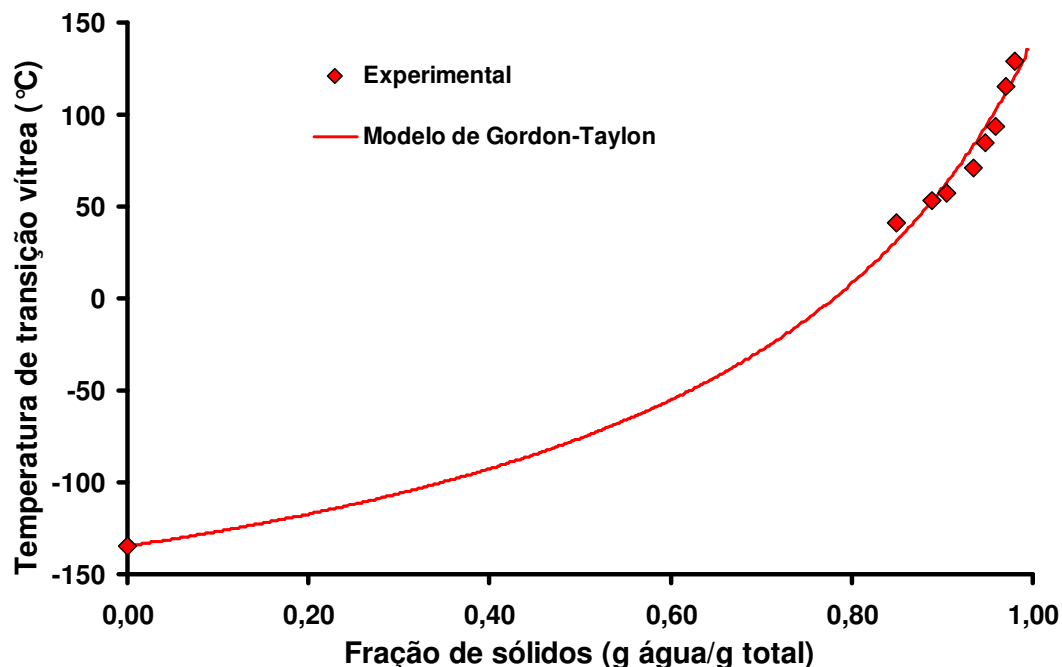


Figura 4.39 - Temperatura de transição vítrea em função do conteúdo de sólidos para o leite de coco babaçu em pó microencapsulado com dextrina.

4.2.5.3 Condições críticas de estocagem

A umidade e atividade de água críticos são aqueles quando a temperatura de transição vítrea do produto é igual a temperatura ambiente. A estabilidade de um produto amorfo é fortemente ditada pela T_g , que depende das condições de estocagem, como atividade de água ou umidade e temperatura. Acima desta temperatura, os pós amorfos são susceptíveis a alterações indesejáveis como colapso, pegajosidade e *caking*, resultando em perda de qualidade.

Vários autores combinaram os dados das isotermas de sorção com os de temperatura de transição vítrea, a fim de obter as condições críticas para o armazenamento dos alimentos (KUROSZAWA et al., 2009; TONON et al., 2009b; FRABA et al., 2009; MOSQUERA et al., 2011; MORAGA et al., 2011; MORAGA et al., 2012; MOSQUERA et al., 2012; FRASCARELI et al., 2012b; FABRA et al., 2012).

Portanto, a fim de calcular as condições críticas de estocagem do leite de coco babaçu em pó, as isotermas de sorção e a temperatura de transição vítrea foram plotadas em função da

A_w e os valores críticos de atividade de água e umidade foram obtidos considerando-se uma temperatura ambiente de 25 °C (Figura 4.40). Os valores de umidade e T_g foram preditos pelos modelos de BET e Gordon-Taylor, respectivamente.

O conhecimento dos diagramas de estado que relacionam as isothermas de sorção e temperatura de transição vítrea das microcápsulas é importante para a escolha adequada de condições de armazenamento para os estudos de estabilidade. Acima das condições críticas, umidade de sorção de alimentos secos pode causar alterações estruturais e de liberação de óleo a partir da matriz, acelerando a oxidação lipídica. Portanto, armazenamento abaixo da T_g pode ser utilizada para acompanhar envelhecimento do óleo microencapsulado ou de cápsulas que contêm bastante óleo, enquanto que condições acima de T_g pode ser escolhido para investigar o comportamento das microcápsulas sob “*stress*” (DRUSCH et al., 2006; FRASCARELI et al., 2012b).

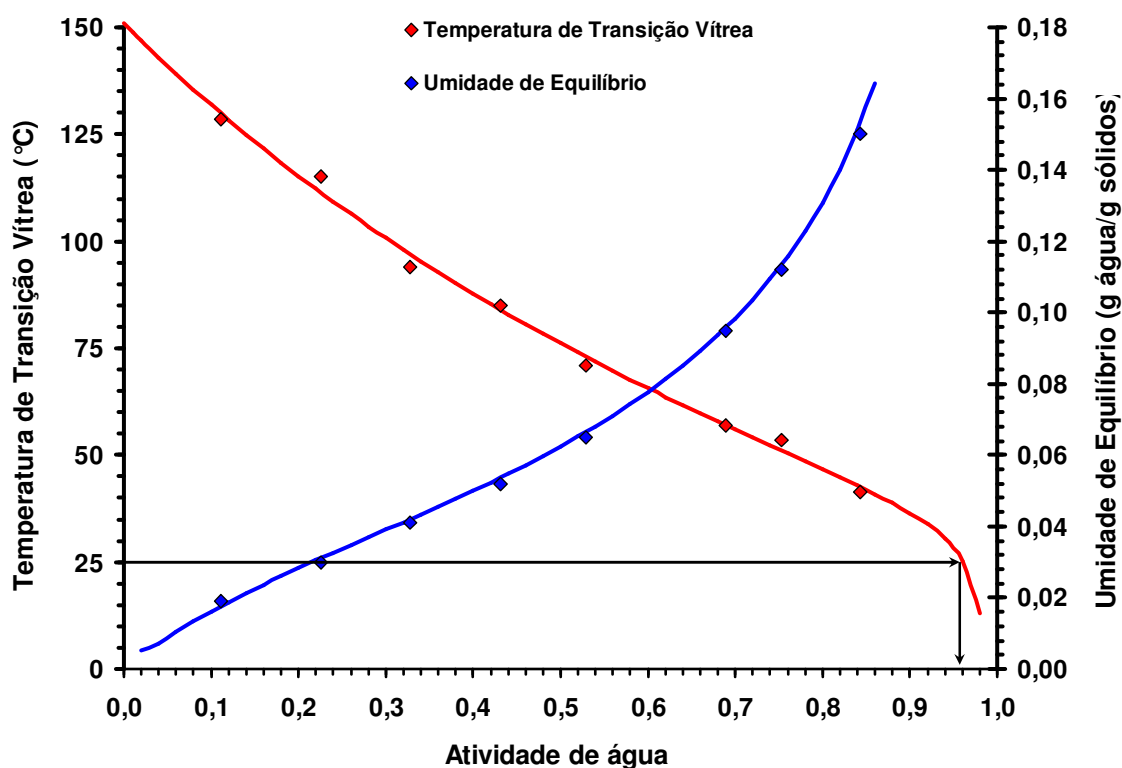


Figura 4.40 - Variação da temperatura de transição vítrea e da umidade de equilíbrio, em função da atividade de água, para o leite de coco babaçu em pó microencapsulado com dextrina.

O valor crítico de atividade de água foi de 0,96, porém o valor crítico de umidade não foi possível visualizar. Isto ocorreu porque todos os valores obtidos, em todas as umidades relativas, de T_g ficaram acima da temperatura ambiente (25 °C). Estas microcápsulas foram consideradas muito estáveis fisicamente, porque mostrou uma atividade de água crítica de 96 % próxima com a A_w da água pura que é de 100 %. O resultado obtido para A_w crítica explica as pequenas alterações visuais ocorridas nos pós de leite de coco babaçu com dextrina durante o armazenamento.

Frascareli et al. (2012b) encontrou valores de atividade de água crítica para os pós de óleo de café com maltodextrina e isolado proteico próximos ao obtido neste trabalho. Os valores altos de atividade de água crítica podem estar relacionados com a quantidade de gorduras presente na matriz das microcápsulas.

Segundo Moraga et al. (2012), materiais diferentes, tais como a isolado proteico, polissacarídeos como maltodextrina, com equivalente em dextrose diferente e antiespumantes podem ser utilizados para aumentar a temperatura de transição vítrea e, conseqüentemente, a A_w crítica, diminuindo assim a viscosidade e produção de pós de fluxo livre com melhor propriedades de manuseio e qualidade. De acordo com Ersus e Yurdagel (2007) e Telis e Martínez-Navarrete (2009), a capacidade de formação de película de maltodextrinas foi utilizada durante a produção de pós de alimentos não só para estender o período de vida útil do produto, mas também para proteger o produto contra oxidação.

4.2.6 Estabilidade durante a estocagem

4.2.6.1 Oxidação lipídica

O estudo da vida-de-prateleira das cápsulas de leite de coco babaçu microencapsuladas com goma arábica e maltodextrina foi baseada nos resultados obtidos das condições críticas de estocagem dos pós com dextrina.

A estabilidade oxidativa das cápsulas de leite de coco babaçu microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina armazenados em ambientes e temperaturas controladas foi avaliada pela medida do índice de peróxidos. As variações dos índices de peróxidos estão

apresentados na Figura 4.41. As partículas de leite de coco babaçu com goma arábica, maltodextrina ou dextrina sofreram oxidação com o tempo de armazenamento. Isto pode ser explicado, devido a quantidade inicial de gorduras presente no leite de coco babaçu utilizado para a elaboração das cápsulas (19 %). E, estas gorduras com o tempo de armazenamento tendem a sofrer reações como a decomposição dos hidroperóxidos que reagem com o oxigênio e aceleram o processo oxidativo. As cápsulas com goma arábica mostraram-se menos oxidadas durante todo o armazenamento do que as amostras com maltodextrina ou dextrina, podendo ser atribuído a uma boa encapsulação que, possivelmente apresentou menor contato com o oxigênio. Segundo Frascareli et al. (2012b), cápsulas produzidas com goma arábica tendem a obter maior retenção de óleo por causa das maiores propriedades emulsificantes e consequentemente, maior estabilidade da emulsão.

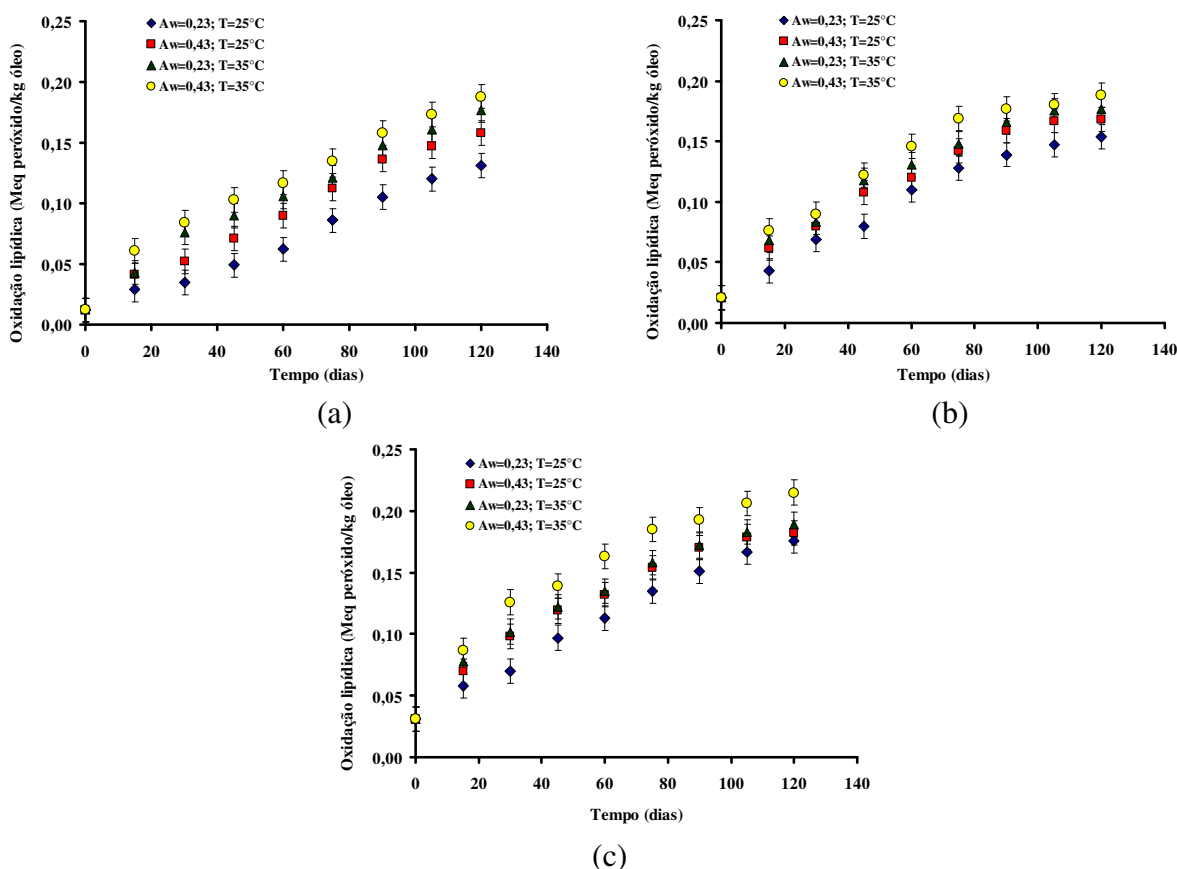


Figura 4.41 - Cinética de degradação oxidativa nas partículas de leite de coco babaçu, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Os pós com maltodextrina ou dextrina apresentaram uma ineficiência de encapsulação. Este resultado pode estar relacionado com o comportamento hidrofílico da maltodextrina ou dextrina, que reduziu a permeabilidade ao oxigênio (hidrofóbica) da matriz (DZONDO-GADET et al., 2005). Frascareli et al. (2012b) estudando pós de óleo de café por atomização comprovaram que as cápsulas com maltodextrina e adição de isolado proteico aumentou a oxidação lipídica.

As amostras foram armazenadas em atividade de água de 0,23 e 0,43. Assim, embora as amostras tenham sido armazenadas em atividade de água inferiores do que a A_w crítica (indicando que estavam em estado vítreo e teoricamente, sua alta viscosidade não deveria permitir a ocorrência de reação de difusão controlada), as partículas mostraram alguma oxidação lipídica. Comportamento semelhante foi observado por Orlie et al. (2000) e Frascareli et al. (2012b), para óleo de colza e café, respectivamente. Os autores observaram que o oxigênio difundido através do volume livre na matriz vítrea e que a oxidação dos lipídios (medida pela formação de produtos de oxidação primária) seguiram uma cinética de ordem zero.

A temperatura e a atividade de água influenciaram a estabilidade oxidativa dos pós de leite de coco babaçu, mostrando efeitos negativos. Para todas as amostras, foi na temperatura de 25 °C e 0,23 de atividade de água que houve o menor processo oxidativo. Por outro lado, a maior oxidação ocorreu nos ambiente de temperatura de 35 °C e 0,43 de atividade de água. Os demais tratamentos mantiveram-se em muitos pontos muito parecidos. De acordo com Jardim (2010), o efeito da A_w na oxidação lipídica é bem complexa. Segundo a autora, em atividade de água inferiores a 0,20, a velocidade da reação é alta, provavelmente porque a ausência da camada monomolecular de água em alguns pontos expõe a matriz do alimento. Na faixa de A_w entre 0,20 e 0,50, representando níveis mais baixos de umidade, a água age como barreira protetora de oxidação, formando pontes de hidrogênio com os hidroperóxidos produzidos nas reações de radicais livres e impedindo-os de se decompor, formando novos radicais livres. Com isso, a velocidade da reação é bem reduzida nesta faixa de umidade e A_w . Contudo, em A_w acima de 0,50, na qual a umidade aumenta gradativamente, ela passa a aumentar muito a mobilidade dos reagentes ou seu efeito protetor desaparece e, com isso, a reação de oxidação volta a ser acelerada. Neste trabalho, a A_w de 0,43 não agiu como barreira a oxidação.

Partanen et al. (2008) também avaliaram a oxidação lipídica de óleo de linhaça e observou maiores taxas de oxidação quando pós foram armazenados a baixa umidade relativa (0-11 %), enquanto que a mais baixa taxa de oxidação foi encontrada com umidade relativa à 75 %, uma condição que significativamente divergiu do valor de umidade de monocamada. Jimenez et al. (2004) avaliaram a estabilidade oxidativa ácido linoléico a temperatura de 35 e 45 °C, em diferentes A_w . Os autores observaram que as microcápsulas armazenadas a atividades de água entre 0,74 e 0,90 apresentaram maior estabilidade oxidativa, durante pelo menos 60 dias. Por outro lado, outros estudos relataram que estabilidade oxidativa de óleos microencapsulados diminuiu em umidade relativa alta.

Partanen et al. (2005) estudaram o efeito da umidade relativa sobre a estabilidade oxidativa do microencapsulado óleo de “sea buckthorn” em uma mistura de maltodextrina e goma arábica ou amido modificado, armazenado a 20 °C e 11 % ou 54 % de umidade relativa. A umidade relativa não alterou o valor de peróxido nas amostras de maltodextrina e goma arábica, mas uma enorme influência foi notada sobre a estabilidade do óleo encapsulado com amido modificado. Os autores concluíram que a cinética de oxidação foi determinada em grande parte pelo estado físico da microcápsula e, conseqüentemente, por difusão de oxigênio na matriz. Drusch et al. (2006) observaram que as condições de armazenamento afeta significativamente o nível e curso da oxidação lipídica em microencapsulados de óleos de peixe e do nível detectável de produtos de oxidação primária e secundária dos lipídios.

Os valores dos parâmetros cinéticos da estabilidade oxidativa do leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina estão apresentados na Tabela 4.36.

O melhor tipo de reação neste caso, foi de ordem zero, pois apresentou melhores coeficientes de determinação que os obtidos nos demais tipos de reações. O tempo de meia-vida da oxidação lipídica ($t_{1/2}$) foi determinado como o tempo no qual a oxidação lipídica presente nas amostras dobrou. Neste caso, as partículas que apresentou menores valores de $t_{1/2}$ foram as que sofreram menos os processos de oxidação dos lipídeos. Os pós de leite de coco babaçu com goma arábica apresentaram os menores valores de $t_{1/2}$, em todas as temperaturas e atividade de água estudadas, confirmando o bom processo de encapsulamento das partículas.

Tabela 4.36 - Parâmetros cinéticos da degradação oxidativa dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	Zero	0,0012	7	0,991
		0,43	Zero	0,0010	4	0,987
	35	0,23	Zero	0,0014	12	0,970
		0,43	Zero	0,0013	9	0,983
	25	0,23	Zero	0,0012	17	0,965
		0,43	Zero	0,0011	14	0,966
Maltodextrina	35	0,23	Zero	0,0013	19	0,914
		0,43	Zero	0,0013	18	0,937
	25	0,23	Zero	0,0012	22	0,947
		0,43	Zero	0,0012	15	0,990
Dextrina	35	0,23	Zero	0,0014	23	0,918
		0,43	Zero	0,0012	23	0,946

O aumento da velocidade de reação com a temperatura pode ser observado no cálculo do fator Q_{10} (Tabela 4.37). Os Q_{10} para todas as amostras e tratamentos de armazenagem foram maior que 1, confirmando o aumento na oxidação lipídica se a temperatura for aumentada em 10 °C.

Tabela 4.37 - Valores de Q_{10} obtidos na análise de oxidação lipídica para as amostras de leite de coco babaçu atomizadas e estocadas em diferentes A_w 's.

Agente Carreador	A_w	Q_{10}
Goma arábica	0,23	1,30
	0,43	1,17
Maltodextrina	0,23	1,18
	0,43	1,08
Dextrina	0,23	1,00
	0,43	1,17

4.2.6.2 Cor

No cálculo da diferença total de cor (ΔE^*), foram utilizados os parâmetros L^* , a^* e b^* da amostra e de um padrão de comparação, aqui estabelecido como sendo as cápsulas no tempo zero de armazenamento.

Os valores de degradação de cor através da diferença total de cor para as partículas de leite de coco babaçu microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina estão mostrados na Figura 4.42. As cápsulas com dextrina apresentaram maiores valores de ΔE^* comparadas com as cápsulas com goma arábica e maltodextrina.

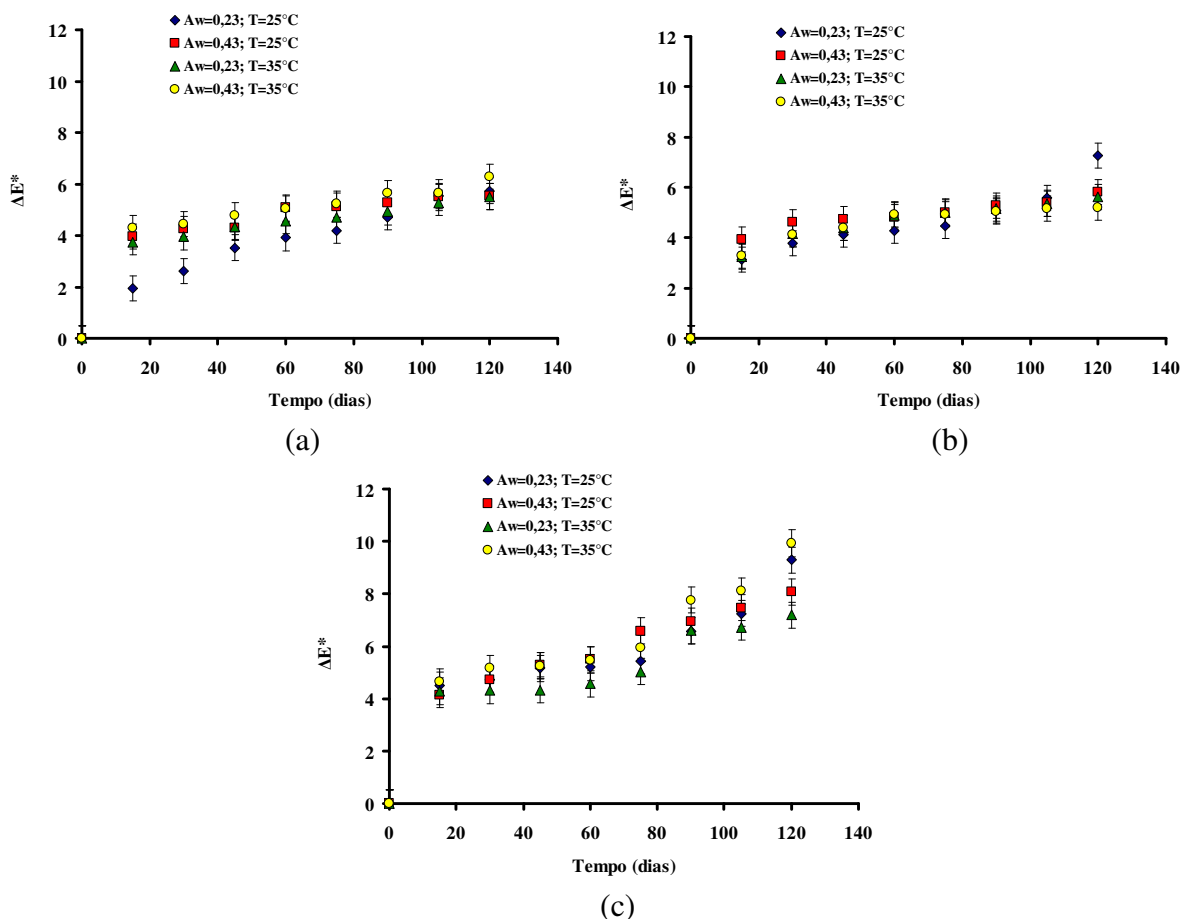


Figura 4.42 - Cinética de degradação da ΔE^* nas partículas de leite de coco babaçu, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Os valores dos parâmetros cinéticos de ΔE^* na estabilidade do leite de coco babaçu microencapsulado com goma arábica, maltodextrina e dextrina estão mostrados na Tabela 4.38. Foi utilizado o tipo de reação de primeira ordem por apresentarem os maiores valores de R^2 . O tempo de meia-vida da estabilidade de cor pelo ΔE^* ($t_{1/2}$) foi determinado como o tempo no qual a diferença total de cor presente nas amostras dobrou. Os pós leite de coco babaçu com goma arábica e maltodextrina conservaram melhor a ΔE^* do que os com dextrina.

Tabela 4.38 - Parâmetros cinéticos da ΔE^* dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	1 ^a	0,0007	990	0,972
		0,43	1 ^a	0,0009	770	0,934
	35	0,23	1 ^a	0,0009	770	0,978
		0,43	1 ^a	0,0016	433	0,981
Maltodextrina	25	0,23	1 ^a	0,0011	630	0,961
		0,43	1 ^a	0,0015	630	0,990
	35	0,23	1 ^a	0,0010	693	0,878
		0,43	1 ^a	0,0014	495	0,985
Dextrina	25	0,23	1 ^a	0,0014	495	0,960
		0,43	1 ^a	0,0015	462	0,962
	35	0,23	1 ^a	0,0012	578	0,970
		0,43	1 ^a	0,0013	533	0,975

Na Figura 4.43 encontram-se os gráficos de intensidade da cor dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, durante a estocagem. Como o croma é dependente de a^* e b^* na mesma intensidade, verificou-se que estes resultados sofreram influência da cor amarela que da cor vermelha, o que já era esperado, visto que a leite de coco babaçu apresenta cor branca.

As cápsulas de leite de coco babaçu com goma arábica e maltodextrina conservaram melhor a intensidade da cor. E o ambiente que melhor manteve este fato foi na temperatura de 25 °C e A_w de 0,23.

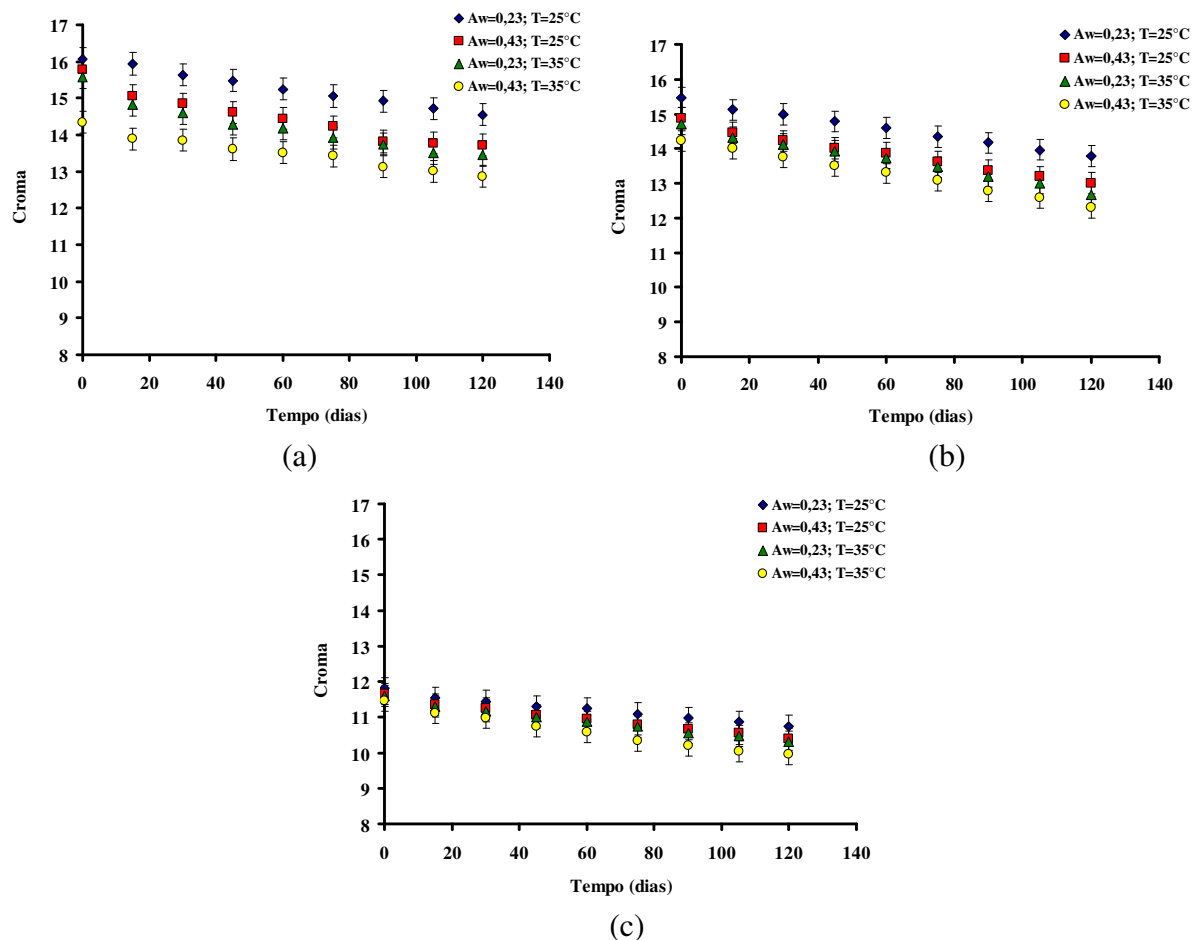


Figura 4.43 - Cinética de degradação do parâmetro de cor croma nas partículas de leite de coco babaçu, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Na Tabela 4.39 são apresentados os parâmetros cinéticos de degradação do croma durante a estocagem. Os melhores valores de R^2 foram obtidos para as reações de 1ª ordem. O $t_{1/2}$ foi determinado como o tempo no qual a intensidade da cor das partículas de leite de coco babaçu caiu pela metade. Os pós leite de coco babaçu com dextrina apresentaram menor conservação da intensidade da cor que os demais carreadores.

Tabela 4.39 - Parâmetros cinéticos de cor C^* dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	1 ^a	0,0088	866	0,996
		0,43	1 ^a	0,0011	630	0,996
	35	0,23	1 ^a	0,0008	866	0,942
		0,43	1 ^a	0,0011	630	0,942
	25	0,23	1 ^a	0,0007	990	0,987
		0,43	1 ^a	0,0009	770	0,990
Maltodextrina	35	0,23	1 ^a	0,0009	770	0,991
		0,43	1 ^a	0,0012	578	0,988
	25	0,23	1 ^a	0,0009	770	0,996
		0,43	1 ^a	0,0011	630	0,996
Dextrina	35	0,23	1 ^a	0,0012	578	0,994
		0,43	1 ^a	0,0012	578	0,994

Na Figura 4.44 estão mostrados os ângulos de tonalidade obtidos para as partículas de leite de coco babaçu microencapsuladas com goma arábica, maltodextrina e dextrina. Como pode ser observado, o ângulo de tonalidade das cápsulas tem predominância de cor amarela, pois a 0° corresponde a cor vermelha, a 90° a cor amarela, a 180° a cor verde e a 270° a cor azul (HUNTERLAB, 1996).

A temperatura e a atividade de água também influenciaram a estabilidade do ângulo de tom dos pós de leite de coco babaçu. Para todas as amostras, foi na temperatura de 25 °C e 0,23 de atividade de água que houve o menor processo de perda da cor amarela. Por outro lado, a maior perda dessa cor ocorreu nos ambiente de temperatura de 35 °C e 0,43 de atividade de água. Os demais tratamentos mantiveram-se muito parecidos em todos os pontos.

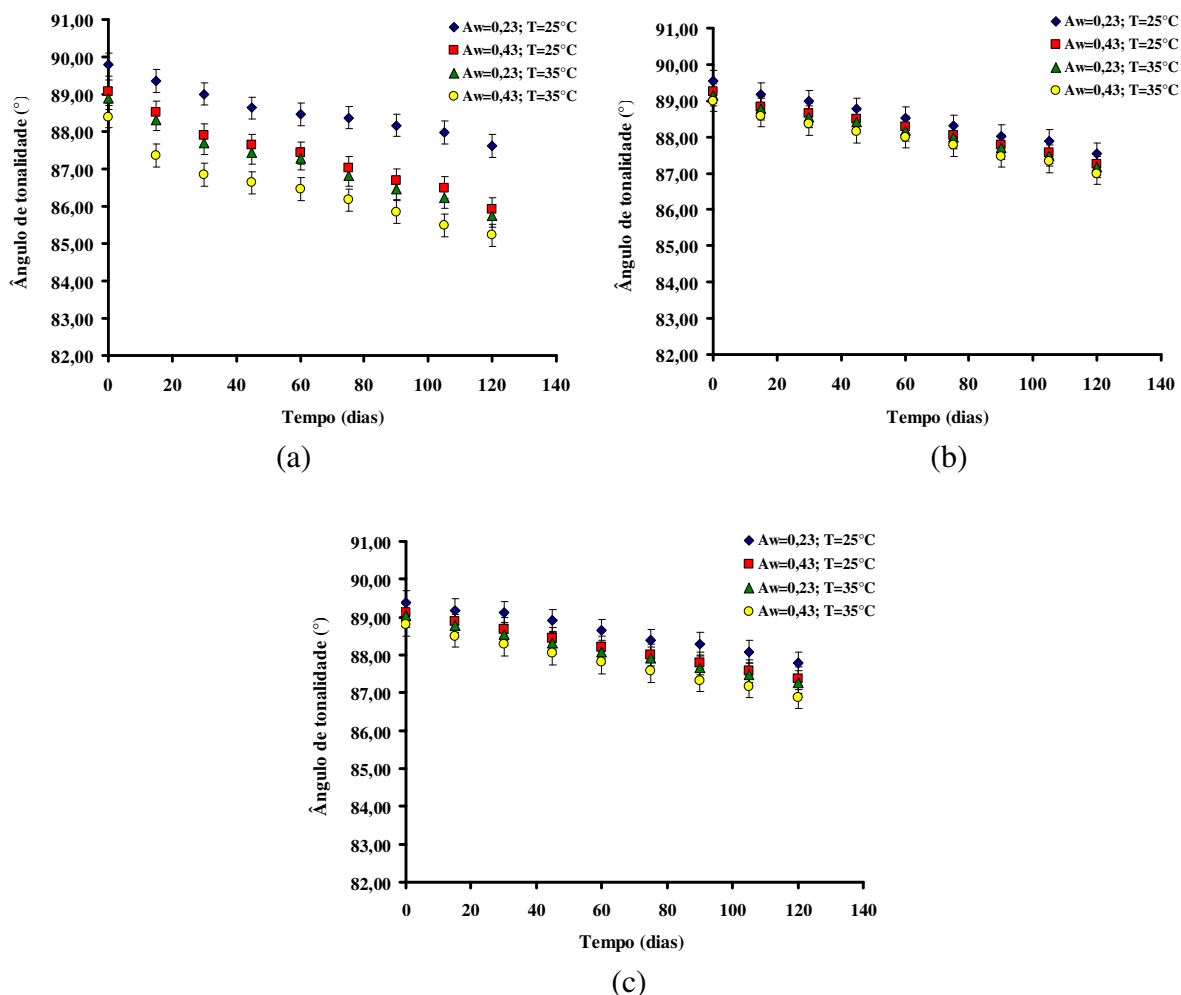


Figura 4.44 - Cinética de degradação do parâmetro de cor h^o nas partículas de leite de coco babaçu, estocadas em diferentes condições de temperatura e atividade de água, produzidas com: a) goma arábica, b) maltodextrina e c) dextrina.

Os valores dos parâmetros cinéticos do ângulo de tom dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina são mostrados na Tabela 4.40. Assim como a ΔE^* e o croma, o tipo de reação escolhida foi de 1ª ordem por apresentar melhor coeficiente de determinação. Em relação ao $t_{1/2}$, encontrado através da estabilidade do ângulo de tom, determinado como o tempo no qual o h^o presente nas amostras caiu pela metade, as partículas encapsuladas com maltodextrina ou dextrina resultaram em um efeito mais protetor do que as partículas com goma arábica.

Tabela 4.40 - Parâmetros cinéticos de cor h° dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina.

Agente Carreador	Estocagem		Ordem da reação	k (dias ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
	T (°C)	A_w				
Goma arábica	25	0,23	1 ^a	0,0002	3465	0,967
		0,43	1 ^a	0,0003	2310	0,982
	35	0,23	1 ^a	0,0003	2310	0,982
		0,43	1 ^a	0,0003	2310	0,942
Maltodextrina	25	0,23	1 ^a	0,0002	3465	0,996
		0,43	1 ^a	0,0002	3465	0,991
	35	0,23	1 ^a	0,0002	3465	0,992
		0,43	1 ^a	0,0002	3465	0,989
Dextrina	25	0,23	1 ^a	0,0001	6930	0,988
		0,43	1 ^a	0,0002	3465	0,999
	35	0,23	1 ^a	0,0002	3465	0,998
		0,43	1 ^a	0,0002	3465	0,998

Na Tabela 4.41 estão os valores de Q_{10} para os parâmetros de cor do leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina. Os pós com goma arábica apresentaram menores valores de Q_{10} para a ΔE^* nas duas umidades relativas estudadas (23 e 43 %).

Para a intensidade de cor, o fator Q_{10} foi maior que 1 para todas as amostras, confirmando a diminuição na intensidade de cor amarela para uma temperatura 10 °C maior. Por outro lado, em relação ao ângulo de tom, as cápsulas de leite de coco babaçu encapsulada com dextrina armazenada em ambiente com 0,43 de atividade de água, apresentou maior valor de Q_{10} . Isto significa que a vida-de-prateleira a 35 °C destas partículas é 2 vezes menor que a 25 °C.

Para o leite de coco babaçu, as partículas microencapsuladas com goma arábica mostrou ser mais eficiente na preservação da estabilidade oxidativa e da cor.

Tabela 4.41 - Valores de Q_{10} para os parâmetros de cor dos pós de leite de coco babaçu microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina, estocadas em diferentes A_w 's.

Agente Carreador	A_w	Q_{10}		
		ΔE^*	C^*	h°
Goma arábica	0,23	0,93	1,38	1,20
	0,43	0,80	0,74	1,00
Maltodextrina	0,23	1,27	1,29	1,00
	0,43	0,91	1,33	1,00
Dextrina	0,23	1,29	1,33	1,00
	0,43	1,78	1,09	2,00

4.3 Comparação entre polpa de pequi e o leite de coco babaçu

Na caracterização das matérias-primas foi observado alto conteúdo de lipídeos da polpa de pequi e amêndoa de coco babaçu, o que refletiu na escolha das faixas de temperaturas de secagem e concentrações de agente encapsulante.

Para a polpa de pequi foi utilizada uma faixa de temperatura mais baixa comparada com a do leite de coco babaçu, pensando na conservação das propriedades antioxidantes deste produto que poderia se degradar em altas temperaturas.

A umidade, higroscopicidade, atividade de água, diâmetro médio da partícula e porosidade das microcápsulas de polpa de pequi e leite de coco babaçu apresentaram valores muito parecidos para todos os encapsulantes estudados. Porém, as partículas de leite de coco babaçu apresentaram tempo de molhabilidade maior, podendo ser atribuído a maior formação de grumos destes pós, causado possivelmente pelo alto teor de gordura.

As imagens de MEV das microcápsulas das diferentes amostras de polpa de pequi apresentaram-se, em geral, partículas esféricas e lisas enquanto que as microcápsulas de leite de coco babaçu apresentaram estrutura com paredes rugosas com predominância de formatos irregulares, embora estruturas esféricas também estejam presentes.

As microcápsulas de polpa de pequi e leite de coco babaçu foram ajustadas pelo modelo de BET para dois termos, na qual os pós microencapsulados com dextrina

apresentaram menor higroscopicidade do que os pós com goma arábica ou maltodextrina, possivelmente relacionado ao tamanho das partículas produzidas.

Os valores de T_{gs} obtidos para os pós de polpa de pequi e leite de coco babaçu podem explicar a dificuldade em secar o extrato de polpa de pequi e leite de coco babaçu sem a adição de um agente encapsulante, indicando que a temperatura na qual o material apresenta uma grande pegajosidade é muito baixa ou próxima a temperatura de saída do secador, o que resultou em grande aderência no produto na parede do secador obtendo um rendimento de pó insignificante.

Durante o estudo da estabilidade, as microcápsulas de polpa de pequi e leite de coco babaçu sofreram oxidação com o tempo de armazenamento sendo que, as microcápsulas com goma arábica mostraram-se menos oxidadas durante todo o armazenamento podendo ser atribuído a uma boa encapsulação que, possivelmente apresentou menor contato com o oxigênio.

Os ambientes estudados durante a vida-de-prateleira dos pós de polpa de pequi e leite de coco babaçu que mais conservou as amostras em relação ao processo oxidativo dos lipídeos e perda de cor, por exemplo, foi na temperatura de 25 °C e 0,23 de A_w . Em contrapartida, estas reações foram mais visualizadas nas amostras armazenadas em ambiente com temperatura de 35 °C e 0,43 de A_w . Estas alterações provavelmente ocorreram devido a um grande número de diferentes reações que geralmente alteram a cor natural do alimento, como por exemplo, reações de oxidação de carotenoides que causam perdas na cor ou de co-oxidação de lipídeos.

5 CONCLUSÕES

1. Caracterização físico-químicas das matérias-primas:

➤ A composição físico-química para a polpa de pequi apresentou valores de 53,33 % de umidade, 5,08 % de proteínas, 30,66 % de lipídeos e 18,37 % de fibras. Esses resultados foram semelhantes com os obtidos na literatura;

➤ A composição físico-química para o leite de coco babaçu apresentou semelhança com dados obtidos na literatura para os valores de umidade (78,31 %), proteínas (2,00 %), lipídeos (18,97 %), açúcares redutores (2,61 %), açúcares totais (3,65 %), entre outros;

2. Secagem por aspersão:

➤ No estudo da influência das condições de processo de secagem em *spray dryer* da polpa de pequi, a temperatura de entrada de ar no secador e a concentração de agentes encapsulantes, em geral, foram as variáveis que mais influenciaram as respostas exercendo efeito positivo ou negativo;

➤ As variáveis independentes estudadas nos planejamentos experimentais para o leite de coco babaçu no processo de secagem em *spray dryer* também influenciaram as respostas estudadas para os pós microencapsulados com goma arábica (umidade, higroscopicidade, oxidação lipídica e rendimento), maltodextrina (umidade e rendimento) e dextrina (rendimento e atividade de água);

➤ As condições escolhidas para a otimização da secagem de polpa de pequi microencapsuladas com goma arábica foram: $T_{ent} = 152\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_S = 1\text{ }\%$ e $C_{GA} = 18\text{ }\%$, referente ao ensaio 5 do planejamento experimental. Para as microcápsulas com maltodextrina foram: $T_{ent} = 152\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_S = 1\text{ }\%$ e $C_M = 18\text{ }\%$, referente ao ensaio 1 do planejamento estudado e,

quando microencapsulada com dextrina foram: $T_{ent} = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$, $C_S = 2,5\%$ e $C_D = 22,5\%$, referente ao ensaio 9 do planejamento experimental;

➤ Os parâmetros escolhidos para os pós otimizados de leite de coco babaçu microencapsulada com goma arábica foram: $T_{ent} = 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_{GA} = 15\%$, referente ao ensaio 5 do planejamento experimental. Já para os pós com maltodextrina foram: $T_{ent} = 188\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_M = 25\%$. Por outro lado, os parâmetros escolhidos para os pós com dextrina foram: $T_{ent} = 170\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $C_D = 20\%$;

3. Otimização do processo de secagem:

➤ A produção de partículas utilizando diferentes agentes carreadores para a polpa de pequi secas em *spray dryer* resultou em pós com umidades entre 0,68-1,75 %, e atividades de água inferiores a 0,3;

➤ Os pós de polpa de pequi microencapsulado com dextrina apresentaram maior valor de carotenoides totais. Enquanto que os valores relativos à vitamina C foram muito parecidos para todos os microencapsulantes estudados;

➤ As partículas produzidas com goma arábica e maltodextrina para a polpa de pequi não apresentaram diferença significativa entre si com relação à densidade aparente, densidade absoluta e porosidade;

➤ O maior diâmetro médio foi obtido para os pós de polpa de pequi microencapsulado com dextrina e, conseqüentemente, tiveram o menor tempo de molhamento;

➤ Os pós de polpa de pequi microencapsulados com goma arábica, maltodextrina e dextrina apresentaram partículas esféricas e lisas com tamanhos mistos;

- As isotermas de sorção das amostras produzidas com polpa de pequi com os diferentes agentes carreadores apresentaram um bom ajuste ao modelo de BET para dois parâmetros, com valores de R^2 próximos de 1 e valores de erro relativo médio em geral inferiores a 1 %;
- A atividade de água crítica para os pós de polpa de pequi foi de 0,62, pois acima desta A_w os pós apresenta transformações físicas como colapso, pegajosidade e *caking*;
- As amostras produzidas com diferentes agentes carreadores para o leite de coco babaçu apresentou pós com umidade entre 0,92-1,62 % e, atividade de água inferiores a 0,3, com exceção do ensaio 7 com goma arábica ($A_w = 0,58$);
- Os pós de leite de coco babaçu microencapsulado com dextrina apresentaram maior valor de oxidação lipídica;
- As partículas produzidas com goma arábica e dextrina para o leite de coco babaçu não apresentaram diferença significativa entre si com relação à densidade aparente e porosidade;
- O maior diâmetro médio da partícula e menor tempo de molhabilidade foi obtido para os pós de leite de coco babaçu microencapsulado com dextrina;
- Os pós de leite de coco babaçu apresentaram tamanhos mistos de partículas. Porém, o processo caracterizou-se como micro, pela formação de cápsulas no tamanho de 2 μm para aumento de 3000 e 5000 vezes;
- As isotermas de sorção dos pós de leite de coco babaçu foram ajustados pelo modelo de BET para dois parâmetros, com valores de R^2 próximos de 1 e valores de erro relativo médio em geral inferiores a 1 %;
- O valor crítico de atividade de água foi de 0,96, porém o valor crítico de umidade não foi possível determinar;

4. Estudo da estabilidade:

- Nas análises de vida-de-prateleira dos pós de polpa de pequi, as cápsulas com dextrina apresentaram as piores condições de conservação dos componentes funcionais da polpa de pequi, ou seja, este encapsulante não é capaz de proteger os componentes presentes dentro das cápsulas de polpa de pequi contra os mecanismos de degradação, como por exemplo, reações de oxidação dos carotenoides, co-oxidação dos lipídeos;
- Para o leite de coco babaçu, as partículas microencapsuladas com goma arábica mostrou ser mais eficiente na preservação da estabilidade oxidativa e da cor;
- O ambiente que conservou melhor as características desejáveis das cápsulas de polpa de pequi (carotenoides, oxidação lipídica, atividade antioxidante, cor) e de leite de coco babaçu (oxidação lipídica e cor) foi a 25 °C de temperatura e 23 % de umidade relativa;
- Para os pós de polpa de pequi e leite de coco babaçu, a goma arábica se mostrou mais eficiente na encapsulação e proteção contra a presença de oxigênio. Portanto, conclui-se que a goma arábica é o encapsulante indicado para esses tipos de produtos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

✍ Analisar o perfil lipídico da película marrom da amêndoa de coco;

✍ Utilizar os subprodutos do leite de coco babaçu para a elaboração de barras de cereais, doce cremoso, bolos, etc. e avaliar as características físico-químicas e a aceitação sensorial destes produtos;

✍ Estudar o processo de secagem da polpa de pequi e do leite de coco babaçu utilizando não apenas um tipo de agente carreador em cada processo, mas também combinações de diferentes materiais, que possam resultar em produtos de boa qualidade e um bom rendimento de processo, sempre levando em conta a relação custo-benefício;

✍ Fazer o estudo da temperatura de transição vítrea para os pós de polpa de pequi e leite de coco babaçu com maltodextrina e goma arábica, para obter condições críticas de estocagem utilizando estes carreadores;

✍ Fazer a aplicação dos pós de polpa de pequi como corante em alimentos (temperos, bebidas, sorvete, iogurte, etc.) e avaliar a estabilidade e a biodisponibilidade dos antioxidantes, além da aceitação sensorial;

✍ Fazer a aplicação dos pós de leite de coco babaçu como ingredientes na formulação de iogurtes, bolos, sorvete, bebidas, etc. e avaliar a estabilidade e aceitação sensorial destes produtos;

✍ Aglomerar os pós obtidos, visando obter produtos com partículas maiores e avaliar a influência do processo de aglomeração sobre as propriedades de instantaneização dos pós.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELGADER, M. O.; ISMAIL, I. A. Application of gum arabic for coating of dried mango slices. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 10, n. 5, p. 457-462, 2011.

ABADIO, F. D. B.; DOMINGUES, A. M.; BORGES, S. V.; OLIVEIRA, V. M. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice – effect of maltodextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 64, n. 3, p. 285-287, 2004.

AGOSTINI COSTA, T. S.; WONDRACEK, D. C.; LOPES, R. M.; VIEIRA, R. F.; FERREIRA, F. R. Composição de carotenoides em canistel (*Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 903-906, 2010.

AGHBASHLO, M.; MOBLI, H.; RAFIEE, S.; MADADLOU, A. Optimization of emulsification procedure for mutual maximizing the encapsulation and exergy efficiencies of fish oil microencapsulation. **Powder Technology**, v. 225, p. 107-117, 2012.

AGUILAR, E. C.; JASCOLKA, T. L.; TEXEIRA, L. G.; LAGES, P. C.; RIBEIRO, A. C. C.; VIEIRA, E. L. M.; VIEIRA, E. L. M.; PELUZIO, M. C. G.; ALVAREZ-LEITE, J. I. Paradoxical effect of a pequi oil-rich diet on the development of atherosclerosis: balance between antioxidant and hyperlipidemic properties. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 45, n. 7, p. 601-609, 2012.

AGUILERA, J. M.; DEL VALLE, J. M.; KAREL, M. Caking phenomena in amorphous food powder. **Trends in Food Science and Technology**, Londres, v. 6, n. 5, p. 149-155, 1995.

AGUILERA, J. M.; STANLEY, D. W. **Microstructural Principles of Food Processing and Engineering**. Cambridge, Elsevier Applied Science, 1990, 343 p.

ALVES, C. Q.; DAVIV, J. M.; DAVID, J. P.; BAHIA, M. V.; AGUIAR, R. M. Métodos para determinação de atividade antioxidante *in vitro* em substratos orgânicos. **Química Nova**, v. 33, n. 10, p. 2202-2210, 2010a.

ALVES, J. A.; NASSUR, R. C. M. R.; PIRES, C. R. F.; ALCÂNTARA, E. M.; GIANNONI, J. A.; LIMA, L. C. O. Cinética de degradação de vitamina C em mangas ‘Palmer’ minimamente processadas armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciênc. Agrotec.**, v. 34, n. 3, p. 714-721, 2010b.

ALMEIDA, S. P.; SILVA, J. A. **Piqui e buriti: importância alimentar para a população dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1994. 38 p.

ALVANI, K.; QI, X.; TESTAR, R. F. Use of carbohydrates, including dextrans, for oral delivery. **Starch/Stärke**, v. 63, p. 424-431, 2011.

AMBRÓSIO, C. L. B.; CAMPOS, F. A. C. S.; FARO, Z. P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v. 19, n. 2, 2006.

ANEKELLA, K.; ORSAT, V. Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, p. 17-24, 2013.

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.

ARAÚJO, P. G. L.; FIGUEIREDO, R. W.; ALVES, R. E.; MAIA, G. A.; PAIVA, J. R. β -caroteno, ácido ascórbico e antocianinas totais em polpa de frutos de aceroleira conservada por congelamento durante 12 meses. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 104-107, 2007.

ARÁN-AIS, F.; PÉREZ-LIMIÑANA, M. A.; SÁNCHEZ-NAVARRO, M. M.; ORGILÉS-BARCELÓ, C. Developments in microencapsulation technology to improve adhesive formulations. **The Journal of Adhesion**, v. 88, p. 391-405, 2012.

ARAÚJO, D. F. A review of *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae): an economically valuable species of the Central Brazilian cerrados. **Economic Botany**, v. 49, n. 1, p. 40-48, 1995.

ARÉVALO-PINEDO, A.; RIBEIRO, C. L.; COSTA, A. A., SANTANA; A. A., MACIEL, V. B. V.; CARVALHO, K. M. **Processing and stability studies of babassunut milk**. In: II Simpósio Internacional de Tendências e Inovações em Tecnologia de Óleos e Gorduras, Florianópolis, SC, Brasil, 2005.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MACIEL, V. B. V.; SANTANA, A. A.; CARVALHO, K. M.; PINEDO, R. A. **Conservação do leite de coco babaçu (*Orbygnia speciosa*) por acidificação e pasteurização**. In: XV ENAAL – Congresso Latino Americano de Analista de Alimentos, Fortaleza, CE, Brasil, 2007.

ARÉVALO-PINEDO, A.; MACIEL, V. B. V.; CARVALHO, K. M.; COELHO, A. F. S.; GIRALDO-ZUÑIGA, A. D.; ARÉVALO, Z. D. S.; ALVIM, T. C. Processamento e estudo da estabilidade de polpa de pequi (*Caryocar brasiliense*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, 2010.

AUGUSTIN, M. A.; SANGUANSRI, L.; BODE, O. Maillard reaction products as encapsulants for fish oil powders. **Journal Food Science**, v. 71, p. 25-32, 2006.

AZEVEDO-MELEIRO, C.H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v.117, p.385-396, 2004.

BAE, E. K.; LEE, S. J. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrina. **Journal of Microencapsulation**, v. 25, n.8, p. 549-560, 2008.

BARREIROS, A. L. B. S.; DAVID, J. P.; DAVID, J. M. Estresse oxidativo: Relação entre geração de espécies reativas e a defesa do organismo. **Química Nova**, v.29, n.1, p.113-123, 2006.

BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por *spray drying***. 2010. 107p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros – Unimontes, Janaúba – Minas Gerais, 2010.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; JULIANO, P. Physical and chemical properties of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. cap.3, p.39-71.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.; ORTEGA-RIVAS, E.; JULIANO, P.; YAN, P. **Food Powders Physical Properties, Processing and Functionality**. New York: Kluwer Academic, 2005. 372p.

BARROS, F. A. R.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulação de antocianinas. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 36, p. 18-24, 2006.

BAUERNFEIND, J. C. **Carotenoids as colorants y vitamin a precursors**. New Andork: Academic, 1981. 13p.

BE MILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. In: FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**. New York: Marcel Dekker, 3 ed., 1996, p.157-224.

BENITA, S. **Microencapsulation**. Methods and Industrial Applications, 2nd ed. Taylor and Francis Group, New York/London, 2006.

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

BHANDARI, B.R.; SENOUSI, A.; DUMOULIN, E.D.; LEBERT, A. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, v.11, n.5, p.1081-1092, 1993.

BHANDARI, B.R.; HARTEL, R.W. Phase transitions during food powder production and powder stability. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. cap. 9, p. 262-292.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. São Paulo, Varela, 151p. 1992.

BOLHUIS, G. K.; ARMSTRONG, N. A. Excipients for direct compaction – an update. **Pharm. Dev. Technol.**, v. 11, p. 111-124, 2006.

BONDET, V.; BRAND-WILLIAMS, W.; BERSET, C. Kinetics and mechanisms of antioxidant activity using the DPPH free radical method. **Lebensm-Wiss Technol.**, v. 30, n. 6, p. 609-615, 1997.

BORRMANN, D.; PIERUCCI, A. P. T. R.; LEITE, S. G. F.; LEÃO, M. H. M. R. Microencapsulation of passion fruit (*Passiflora*) juice with *n*-octenylsuccinate-derivatised starch using spray-drying. **Food and Bioproducts Processing**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2012.08.001>, 2012.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm-Wiss Technol**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASEQ – BRASILEIRA DE EQUIPAMENTOS Ltda. **Entendendo a atividade de água (Aa) e sua importância para a qualidade de alimentos e outros produtos em geral**. Jarinu: Braseq, 2006. 10 p.

BRASIL, I. M.; GUIMARÃES, A. C. L. **Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas tropicais: química e bioquímica do processamento**. Brasília: ABEAS, 1998. v. 5, 109 p.

BROSSARD, S. K.; DU, H.; MILLER, J. D. Characteristics of dextrin adsorption by elemental sulfur. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 317, p. 18-25, 2008.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of Gases in Multilayers, **Journal of American Oil Chemists' Society**, v. 60, p.309, 1938.

BURGAIN, J.; GAIANI, C.; LINDER, M.; SCHER, J. Encapsulation of probiotic living cells: from laboratory scale to industrial applications. **Journal of Food Engineering**, v. 104, p. 467-483, 2011.

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, 2000.

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, 2008.

CAL, K.; SOLLOHUB, K. Spray drying technique. I: hardware and process parameters. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 99, p. 575-586, 2010.

CAMPOS, M. C.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M.; DE SOUZA, P. M.; STRINGHETA, P. C.; CHAVES, J. B. P. Pró-vitaminas A comercializadas no mercado formal e informal de Viçosa

(MG), em três estações do ano. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 1, p. 33-40, 2006.

CAO, C.; ZHANG, L.; ZHANG, X-X.; DU, F-P. Effect of gum arabic on the surface tension and surface dilational rheology of trisiloxane surfactant. **Food Hydrocolloids**, v. 30, p. 456-462, 2013.

CARDOZO, K. H. M.; GUARATINI, T.; BARROS, M. P.; FALCÃO, V. R.; TONON, A. P.; LOPES, N.; CAMPOS, S.; TORRES, M. A.; SOUZA, A. O.; COLEPICOLA, P.; PINTO, E. Metabolites from algae with economical impact. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v. 146, p. 60-78, 2007.

CARNEIRO, H. C. F.; TONON, R. V.; GROSSO, C. R. F.; HUBINGER, M. D. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033, 2012.

CARVALHO, M. C.; BURGER, O. N. **Contribuição ao estudo do pequi de Brasília**. Brasília: SPS, 1960. 15p. (Coleção Estudo e Pesquisa Alimentar, 50).

CATELAM, K. T.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; ROMERO, J. T. Water adsorption isotherms and esoteric sorption heat of spray-dried and freeze-dried dehydrated passion fruit pulp with additives and skimmed Milk. **Ciênc. agrotec.**, v. 35, n. 6, p. 1196-1203, 2011.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos**. 2. ed. Campinas: Unicamp, 2003. 207 p.

CHAMPION, D.; LE MESTE, M.; SIMATOS, D. Toward an improved understanding of glass transition and relaxation in foods: molecular mobility in the glass transition range. **Trends in Food Science and Technology**, Londres, v. 11, n. 2, p. 41-55, 2000.

CHEGINI, G. R.; GHOBADIAN, B. Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. **Drying Technology**, v. 23, p. 656–668, 2005.

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

CHITARRA, M. I. F. **Processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Viçosa, MG: Centro de Produções Técnicas, 1998. 88p.

CHRONAKIS, I.S. On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: A Review. **Critical Reviews in Food Science**, v. 38, n. 7, p. 599-637, 1998.

COLLARES, F. P.; FINZER, J. R. D.; KIECKBUSCH, T.G. Revisão: A transição vítrea em produtos alimentícios, **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 5, p. 117-130, 2002.

COMUNIAN, T. A.; MONTERREY-QUITERO, E. S.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; PICCONE, P.; PITTIA, P.; FÁVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-dried chlorophyllide, a natural food colourant, using gum Arabic, maltodextrin and soy protein isolate-based carrier systems. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 46, n. 6, p. 1259-1265, 2011.

COSTA, J. M. C.; BORGES, S. V.; MARQUES G. R.; TOLEDO HIJO, A. A. C.; ALVIM, I. D. **Caracterização química de microcápsulas de óleo de pequi produzidas por atomização**. In: CONGRESSO DE POS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 18., 2009, Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2009. p. 3.

COUTO, S. R. L. M.; BOTTINO, T. R.; GREGÓRIO, S. R. Identificação de fontes de vitamina C em polpas de frutas comerciais congeladas e concentradas. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 16., 1998, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCTA. CD.

CRUZ, C. H. G. **Contribuição ao estudo do efeito de hidrocolóides em sistemas carne-água**. Campinas, 1989. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1989.

DAMIANI, C., VILAS BOAS, E. V. B., PINTO, D. M., RODRIGUES, L. J. Influência de diferentes temperaturas na manutenção da qualidade de Pequi minimamente processado. **Ciênc. agrotec.**, v. 32, n. 1, 2008.

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

DIB TAXI, C. M. A. **Suco de camu-camu (*Myrciaria dubia*) microencapsulado obtido através de secagem por atomização**. Campinas, 2001. 166p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

DICKINSON, E. Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. **Food Hydrocolloids**, v. 17, p. 25-39, 2003.

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

DUARTE-ALMEIDA, J. M.; SANTOS, R. J.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema b-caroteno/ácido linoléico e método de sequestro de radicais DPPH. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 446-452, 2006.

DUBEY, R.; SHAMI, T. C.; BHASKER RAO, K. U. Microencapsulation technology and application. **Defence Science Journal**, v. 59, p. 82-95, 2009.

DRUSCH, S.; SERFERT, Y.; SCHWARZ, K. Microencapsulation of fish oil with n-octenylsuccinate-derivatised starch: flow properties and oxidative stability. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 108, p. 501-512, 2006.

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

DZONDO-GADET, A.; NZIKOU, J. M.; ETOUMONGO, A.; LINDER, A.; DESOBRY, S. Encapsulation and storage of safou pulp oil in 6 DE maltodextrins. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 265-271, 2005.

ERSUS, S.; YURDAGEL, Ü. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucuscarota* L.) by spray drier. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 805-812, 2007.

FABRA, M. J.; TALENS, P.; MORAGA, G.; MARTINEZ-NAVARRETE, N. Sorption isotherms and state diagrams of grapefruit as tool to improve product processing and stability. **Journal of Food Engineering**, v. 93, p. 52-58, 2009.

FABRA, M. J.; MÁRQUEZ, E.; CASTRO, D.; CHIRALT, A. Effect of maltodextrins in the water-content–water activity–glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 103, p. 47-51, 2011.

FABRA, M. J.; MÁRQUEZ, E.; CASTRO, D.; CHIRALT, A. Effect of maltodextrins in the water-content–water activity–glass transition relationships of noni (*Morinda citrifolia* L.) pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 103, p. 47-51, 2012.

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

FAZAELI, M.; EMAN-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>.

FELLOWS, P.; **Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y práctica**. 2ª ed., editora acribia, 708 p., 2000.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípio e Prática**, 2ª ed., editora Artmed, São Paulo, 2006.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; AGUIRRE, J. M. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. **Drying Technology**, v. 30, p. 154-163, 2012a.

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. **International Journal of Food Science Technology**, v. 47, p. 1237-1245, 2012b.

FERREIRA, L. A.; MATSUBARA, L. S. Radicais livres: conceitos, doenças relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Rev. Ass. Med. Brasil**, v. 43, n.1, p. 61-8, 1997.

FERREIRA, B. S.; FAZA, L. P.; HYARIC, M. L. A Comparison of the Physicochemical Properties and Fatty Acid Composition of Indaía (*Attalea dubia*) and Babassu (*Orbignya phalerata*) Oils. **The Scientific World Journal**, doi:10.1100/2012/532374, 2012.

FENNEMA, O. R. Water and ice. In: FENNEMA, O. R. (Ed.). **Food Chemistry**. New York, Marcel Dekker, 1996, p. 17-94.

FIGUEIREDO, R. W. **Qualidade e bioquímica de parede celular durante o desenvolvimento, maturação e armazenamento de pedúnculos de cajueiro anão precoce**

CCP 76 submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio. 2000. 154p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

FILKOVÁ, I.; HUANG, L.; MUJUMDAR, A. Industrial spray drying systems. In: MUJUMDAR, A., **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. London: CRC Press, 2007. p. 1667-1716.

FRANCO, G. **Nutrição**: texto básico e tabela de composição química de alimentos. In: *Composição química dos alimentos e valor energético*. 6.ed. In. Rio de Janeiro: Atheneu, 1982. p.180-193.

FRASCARELI, E. C.; SILVA, V. M.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. **Food and Bioprocess Processing**, doi: 10.1016/j.fbp.2011.12.002, 2012a.

FRASCARELI, E. C.; SILVA, V. M.; TONON, R. V.; HUBINGER, M. D. Determination of critical storage conditions of coffee oil microcapsules by coupling water sorption isotherms and glass transition temperature. **Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 1044-1054, 2012b.

FRITZEN-FREIRE, C. B.; PRUDÊNCIO, E. S.; PINTO, S. S.; MUÑOZ, I. B.; AMBONI, R. D. M. C. Effect of microencapsulation on survival of *Bifidobacterium* BB-12 exposed to simulated gastrointestinal conditions and heat treatments. **LWT – Food Science and Technology**, v. 50, p. 39-44, 2013.

GABAS, A. L.; MENEGALLI, F. C.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption enthalpy-entropy compensation based on isotherms of plum skin and pulp. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 4, p. 680-684, 2000.

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

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

GLICKSMAN, M. Functional properties of hydrocolloids. In: **Food Hydrocolloids**, Florida, CRC Press, v. 1, 1982. p. 219.

GOMES, F. S. Carotenoides: uma possível proteção contra o desenvolvimento de câncer. **Revista de Nutrição**, v. 20, p. 537-548, 2007.

GORDON, M.; TAYLOR, J. S. Ideal copolymers and the second-order transitions of syntetic rubbers. I. Non-crystalline copolymers. **Journal of Applied Chemistry**, v. 2, n. 9, p. 493-500, 1952.

GOUIN, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing Technologies and trends. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 15, p. 330-347, 2004.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Spray drying of tomato pulp: Effect of feed concentration. **Drying Technology**, Philadelphia, v. 22, n. 10, p. 2309-2330, 2004.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G.; KAZAKIS, N.A. Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. **Drying Technology**, v. 22, n. 5, p. 1129-1151, 2004.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidifier air: II. Powder properties. **Drying Technology**, Philadelphia, v. 26, n. 6, p. 726-737, 2008a.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidifier air: I. Drying kinetics and product recovery. **Drying Technology**, Philadelphia, v. 26, n. 6, p. 714-725, 2008b.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 73-83, 2008.

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

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray-dried encapsulation of lycopene. **Drying Technology**, v. 30, p. 641-652, 2012.

GRENBY, T. H.; MISTRY, M. Properties of maltodextrins and glucose syrups in experiments in vitro and in the diets of laboratory animals, relating to dental health. **Br. J. Nutr.**, v. 84, p. 565-574, 2000.

GRABOWSKI, J.; TRUONG, V. D.; DAUBERT, C. R. Spray-drying of amylase hydrolyzed sweet potato puree and physicochemical properties of powder. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 5, p. 209-217, 2010.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards – Physics and Chemistry**, v.81, n.1, p.89-96, 1977.

GUERRA, B. R.; NEVES, C. A. E.; PENA, S. R. Caracterização e processamento de leite de bubalino em pó em secador por nebulização. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 443-447, 2005.

HAGENMAIER, R. Dried Coconut milk and other new foods from wet process. **Coconuts today**. Philippines, v. 21, p. 17-21, 1983.

HAL, P. H-V.; BOSSCHAART, C.; TWISK, C. V.; VERKERK, R.; DEKKER, M. Kinetics of thermal degradation of vitamin C in marula fruit (*Sclerocarya birrea subsp. caffra*) as compared to other selected tropical fruits. **Food Science and Technology**, v. 49, p. 188-191, 2012.

HALSEY, G. Physical adsorption on uniform surfaces. **Journal of Chemical and Physics**, Melville, v. 16, n. 10, p. 931-937, 1948.

HASSAN, M. A. Production of spray-dried coconut powder. **Pertanika**, v. 8, p. 127-130, 1985.

HASSIMOTTO, N. M. A.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 8, p. 2928-35, 2005.

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

HINNEBURG, I; DAMIEN, H. J; RAIMO H. Antioxidant activities of extracts from selected culinary herbs and spices. **Food Chemistry**, London, v. 97, n. 1, p. 122-129, 2006.

HLA, P. K.; HOG EKAMP, S. Wetting behaviour of instanized cocoa beverage powders. International. **Journal of Food science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 335-342, 1999.

HOG EKAMP, S.; SCHUBERT, H. Rehydration os food powders. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 3, p. 223-235, 2003.

HORUZ, E.; ALTAN, A.; MASKAN, M. Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice. **Drying Technology**, v. 30, p. 787-798, 2012.

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

HUNTERLAB. **Applications note: CIE L* a* b* color scale**. Virginia, v. 8, n. 7, 1996.

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

IMELE, H.; ATEMNKENG, A. Preliminary study of the utilization of coconut milk in yoghurt production. **The Journal of Food Technology in Africa**, v. 6, n. 1, 2001.

JACKSON, L. S.; LEE, K. Microencapsulation and the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.24, n.4, p.289-297, 1991.

JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; HE, Y.; BHANDARI, B. Encapsulation efficiency of food flavors and oils during spray drying. **Drying Technology**, v.26, n.7, 816-835, 2008.

JAKUBCZYK, E.; OSTROWSKA-LIGEZA, E.; GONDEK, E. Moisture sorption characteristics and glass transition temperature of Apple puree powder. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 45, p. 2515-2523, 2010.

JARDIM, D. C. P. Atividade de água e a estabilidade dos alimentos. In: **Manual Técnico nº 6. Reações de transformação de vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 3 ed., 2010, p. 17-23.

JIMENEZ, M.; GARCÍA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid. **European Food and Research Technology**, v. 219, p. 588-592, 2004.

JINAPONG, N.; SUPHANTHARIKA, M.; JAMMONG, P. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. **Journal Food Engineering**, v. 84, n. 2, p. 194–205, 2008.

JOHARI, G. P., HALLBRUCKER, A., MAYER, E. The glass-liquid transition of hyperquenched water. **Nature**, v. 330, n. 10, p. 552-553, 1987.

JYOTHI, N. V. N.; PRASANNA, P. M.; SAKARKAR, S. N.; PRABHA, K. S.; RAMAIAH, P. S.; SRAWAN, G. Y. Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. **Journal of Microencapsulation**, v. 27, p. 187-197, 2010.

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.

KENNEDY, J. F.; KNILL, C. J.; TAYLOR, D. W. Maltodextrins. In: KEARSLEY, M. W.; DZIEDZIC, S. Z. (Eds.). **Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives**. London, Blackie Academic & Professional, 1995, p.65-82.

KERR, W. E.; SILVA, F. R.; TCHCARRAMAE, B. Pequi (*Caryocar brasiliense*, Camb.) informações preliminares sobre um pequi sem espinhos no caroço. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 1, p. 169-171, 2007.

KHA, T. C.; NGUYEN, M. H.; ROACH, P. D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. **Journal of Food Engineering**. Essex, v. 98, n. 3, p. 385-392, 2010.

KHALLOUFI, S.; EL-MASLOUHI, Y.; RATTI, C. Mathematical model for prediction of glass transition temperature of fruit powders. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n. 5, p. 842-848, 2000.

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.

KRAUSE, M. V.; MAHAN, L. K. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 7. ed. São Paulo: Roca, 1991. 981 p.

KRINSKY, N. Y. The biological properties of carotenoids. **Pure and Applied Chemistry**, v. 66, n.5, p.1003-1010, 1994.

KRISHNAN, S.; KSHIRSAGAR, A. C.; SINGHAL, R. S. The use of gum Arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. **Carbohydrate Polymers**, v. 62, p. 309-315, 2005.

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.

KUMAGAI, H.; SUGIYAMA, T.; IWAMOTO, S. Effect of water content on dielectric relaxation of gelatin in glassy state. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 2260-2265, 2000.

KUROZAWA, L. E. **Estudos dos processos de hidrólise enzimática e secagem por atomização para obtenção de hidrolisado protéico de frango em pó**. 2009. 188p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

KUROZAWA, L. E.; MORASSI, A. G.; VANZO, A. A.; PARK, K. J.; HUBINGER, M. D. Influence of spray drying conditions on physicochemical properties of chicken meat powder. **Drying Technology**, v. 27, n. 11, p. 1248-1257, 2009.

LABUZA, T. P. **Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use.** St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1984.

LABUZA, T. P.; SCHMIDL, M. K. Accelerated shelf-life testing of foods. **Food Technology**, v.39, n.9, p.57-65, 1985.

LEIMANN, F. V. **Microencapsulação de óleo essencial de capim-limão utilizando o processo de coacervação simples.** 2008. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LEVINE, H.; SALDE, L. Glass transitions in foods. In: SWARTZBERG, H.G.; HARTEL, R. W. **Physical Chemistry of Foods**, 1 ed. Marcel Dekker, New York, p. 83-221, 1992.

LEVINE, H.; SLADE, L. A polymer physico-chemical approach to the study of commercial starch hydrolysis products. **Carbohydrate Polymers**, v. 6, p. 213-244, 1986.

LEWICKI, P. P. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 32 , n. 6, p. 553-557, 1997.

LEUNG, I.; PHIL, M. Macular pigment: new clinical methods of detection and the role of carotenoids in age-related macular degeneration. **Optometry**, v. 79, p. 266-272, 2008.

LIN C.; LIANG. J. Effect of antioxidants on the oxidative stability of chicken breast meat in a dispersion system. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 2, p. 530-533, 2002.

LIM, H. K.; TAN, C. P.; BAKAR, J.; NG, S. P. Effects of different wall materials on the physicochemical properties and oxidative stability of spray-dried microencapsulated red-fleshed pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seed oil. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 1220-1227, 2012.

LIMA, A.; SILVA, A. M. O.; TRINDADE, R. A.; TORRES, R. P.; MANCINI-FILHO, J. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 695-697, 2007a.

LIMA J. R. O.; SILVA R. B.; SILVA C. M. Biodiesel de babaçu (*Orignya sp.*) obtido por via etanólica, **Química Nova**, v. 30: 600, 2007b.

LIMA, A. **Caracterização química, avaliação da atividade antioxidante *in vitro* e *in vivo* e identificação dos compostos fenólicos presentes no pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.)**. São Paulo, 2008. 186p. Tese (Doutorado em Ciências dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

LIMA, C. P.; CUNICO, M. M.; MIYAZAKI, C. M. S.; MIGUEL, O. G.; CÔCCO, L. C.; YAMAMOTO, C. I.; MIGUEL, M. D. Conteúdo polifenólico e atividade antioxidante dos frutos da palmeira Juçara (*Euterpe edulis* Martius). **Rev. Bras. Pl. Med.**, v. 14, n. 2, p. 321-326, 2012.

LOKSUWAN, J. Characteristics of microencapsulated b-carotene formed by spray drying with modified tapioca starch, native tapioca starch and maltodextrin. **Food Hydrocolloids**, v. 21, p. 928–935, 2007.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part 1: Fruit, vegetable and meat products. **Journal of Agricultural-Food Chemistry**, v. 18, n. 2, p. 11-117, 1985

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B. P.; ANTONIASSI, R. Fatty acid composition and physical and chemical characteristics of hydrogenated babassu coconut. **Revista Ceres**, v. 53, n. 308, p. 463-470, 2006.

MACHADO, V. G. **Obtenção de tomate em pó por atomização: influência das variáveis de processo na qualidade do produto**. 2010. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MACHADO, M. T. C. **Concentração de extratos de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) por nanofiltração**. 2011. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

MADENE, A.; JACQUOT, M.; SCHER, J.; DESOBRY, S. Flavor encapsulation and controlled release – a review. **International Journal of Food Science and Technology**, v.41, n.1, p.1-21, 2006.

MANCINI, D. A. P.; MANCINI-FILHO, J. Prevenção de reações oxidativas: antioxidantes nos vegetais de consumo humano. In: **A importância dos alimentos vegetais na proteção da saúde**, De Angelis, R. ed. 2005, 430p.

MARIANO, R. G. B. **Extração de óleo da polpa de pequi (*Caryocar brasiliense*) por processos convencionais combinados com tecnologia enzimática**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2008.

MARINOVA, D.; RIBAROVA, F. determination of carotenoids in Bulgarian berries. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.20, n.5, p.370-374, 2007.

MASCARENHAS, M. C. C. N. **Utilização de surfactantes na produção de microencapsulados de óleo rico em ômega 3 por coacervação complexa com aplicação em emulsões**. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MASTERS, K. **Spray drying handbook**. New York, John Wiley & Sons Inc., 1979, 687p.

MASTERS, K. **Spray drying handbook**, 5^a ed.; Longman Scientific and Technical: London, UK, 1991, p. 241-327.

MCCORD, J. M. Free radicals and pro-oxidants in health and nutrition. **Food Technology**, v.48, n.3, p.106-110, 1994.

MELO JUNIOR, A. F.; CARVALHO, D.; PÓVOA, J. S. R.; BEARZOTI, E. Estrutura genética de populações naturais de pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p.56-65, 2004.

MERTENS-TALCOTT, S. U.; RIOS, J.; JILMA-STOHLAWETZ, P.; PACHECO-PALENCIA, L. A.; MEIBOHM, B.; TALCOTT, S. T.; DERENDORF, H. Pharmacokinetics of anthocyanins and antioxidant effects after the consumption of anthocyanin-rich açai juice and pulp (*Euterpe oleracea* Mart.) in human healthy volunteers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 17, p. 7796-802, 2008.

MICHELS, K.B.; FUCHS, C.S.; GIOVANNUCCI, E.; COLDIT, A.; HUNTER, D. J.; STAMPFER, M.J.; WILLETT, W.C.; Fiber intake and incidence of colorectal cancer among 76,947 women and 47,279 men. **Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention**, Philadelphia, v. 14, p. 842-849, 2005.

MILLER, N.; RICE-EVANS, C.; DAVIES, M.; GOPINATHAN, V.; MILNER, A.; A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring antioxidant status in premature neonates. **Clinical Science**, v.84, p. 407-412, 1993.

MIOTTO, F. R. C.; RESTLE, J.; NEIVA, J. N. M.; MACIEL, R. P.; FERNANDES, J. J. R. Consumo e digestibilidade de dietas contendo níveis de farelo do mesocarpo de babaçu para ovinos. **Rev. Agron.**, v. 43, n. 4, p. 792-801, 2012.

MOREIRA, G. E. G.; COSTA, M. G. M.; SOUZA, A. C. R.; BRITO, E. S.; MEDEIROS, M. F. D.; AZEREDO, H. M. C. Physical properties of spray dried acerola pomace extract as

affected by temperature and drying aids. **LWT – Food Science and Technology**, v. 42, n. 2, p. 641–645, 2009.

McCLEMENTS, D. J. **Foods emulsions: principles, practice and techniques**,; CRC Press LLC, USA. Chapter 1: Context and background, Chapter 4: Emulsion ingredients, p. 1-16, p. 83-125, 1999.

MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; CHIRALT, A. Water sorption isotherms and phase transitions in kiwifruit. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 2, p. 147-156, 2006.

MORAGA, G.; TALENS, P.; MORAGA, M. J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 3, p. 212- 219, 2011.

MORAGA, G.; IGUAL, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, E.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. **Journal of Food Engineering**, v. 112, p. 191-199, 2012.

MOSQUERA, L. H., MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojón (*Borojoa patinoi* Cuatrec) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 97, p. 72-78, 2010.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; CÓRDOBA, P. F.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Water Content–Water Activity–Glass Transition Temperature Relationships of Spray-Dried Borojón as Related to Changes in Color and Mechanical Properties. **Food Biophysics**, v. 6,p. 397-406, 2011.

MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. **Food Research International**, v. 47, p. 201-206, 2012.

MUNIN, A.; EDWARDS-LÉVY, F. Encapsulation of natural polyphenolic compounds; a review. **Pharmaceutics**, v. 3, p. 793-829, 2011.

MURRAY, D. G.; LUFT, L.R. Low-DE corn starches hydrolysates. Multi-functional carbohydrates aid in food formulation. **Food Technology**, v.27, n.3, p.32-40, 1973.

NOGUEIRA, R. I. **Processo de obtenção de inulina de chicória (*Cichorium intybus*) em pó**. 2002. 113p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

NESTERENKO, A.; ALRIC, I.; SILVESTRE, F.; DURRIEU, V. Vegetable proteins in microencapsulation: A review of recent interventions and their effectiveness. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 469-479, 2013.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; BARROS, L. M.; ALVES, R. E. **Aspectos agrônômicos e de qualidade do pequi**. Embrapa Agroindústria Tropical, p. 32, 2008.

OLIVEIRA, M. E. B.; GUERRA, N. B.; MAIA, A. H. N.; ALVES, R. E.; MATOS, N. M. S.; SAMPAIO, F. G.M.; LOPES, M. M. T. Características químicas e físico-químicas de pequis da Chapada do Araripe, Ceará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 114-115, 2010.

OLIVEIRA, L. M.; RODRIGUES, A. G.; DA SILVA, E. F.; CERQUEIRA, L. B.; CASTRO, C. H.; PEDRINO, G. R.; DE CARVALHO, M. H. C.; PONTAROLO, R.; COSTA, E. A.; CAMPOS, F. R.; FILGUEIRA, F. P.; GHEDINI, P. C. Endothelium-Dependent Vasorelaxant Effect of Butanolic Fraction from *Caryocar brasiliense* Camb. Leaves in Rat Thoracic Aorta. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, doi: 10.1155/2012/934142, 2012.

O'HAGAN, P.; HASAPIDIS, K.; CODER, A.; HELSING, H.; POKRAJAC, G. Particle size analysis of food powders. In: ONWULATA, C. (Ed.). **Encapsulated and powdered foods**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. cap. 9, p. 215-246.

ORLIEN, V.; ANDERSEN, A. B.; SINKKO, T.; SKIBSTED, L. H. Hydroperoxide formation in rapeseed oil encapsulated in a glassy food model as influenced by hydrophilic and lipophilic radicals. **Food Chemistry**, v. 68, p. 191-199, 2000.

OSMAN, A. F. A.; ENDUT, N. **Spray drying of roselle-pineapple juice effects of inlet temperature and maltodextrin on the physical properties**. ICECS p. 267-270. Second Int. Conference on Environmental and Computer Science, 2009.

OSORIO, C.; ACEVEDO, B.; HILLEBRAND, S.; CARRIAZO, J.; WINTERHALTER, P.; MORALES, A. L. Microencapsulation by spray drying of anthocyanin pigments from corozo (*Bactris guineensis*) fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 6977-6985, 2010.

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

PADULA, M.; ITO, D.; GARCIA, E. E. C. Influência da embalagem da vida-de-prateleira de alimentos. In: Manual Técnico nº 6. **Reações de transformação de vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 3 ed., 2010, p. 58-63.

PAPADAKIS, S. E.; GARDELI, C.; TZIA, C. Spray drying of raisin juice concentrate. **Drying Technology**, Filadélfia, v. 24, n. 2, p. 173-180, 2006.

PARTANEN, R.; RAULA, J.; SEPPANEN, R.; BUCHERT, J.; KAUPPINEN, E.; FORSELL, P. Effect of Relative Humidity on Oxidation of Flaxseed Oil in Spray Dried

Whey Protein Emulsions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 14, p. 5717-5722, 2008.

PARTANEN, R.; HAKALA, M.; SJÖVALL, O.; KALLIO, H.; FORSSELL, P. Effect of relative humidity on the oxidative stability of microencapsulated sea buckthorn seed oil. **Journal of Food Science**, v. 70, p. 37-43, 2005.

PÉREZ-ALONSO, C., BAEZ-GONZALEZ, J. G., BERISTAIN, C. I., VERNON-CARTER, E. J., VIZCARRA-MENDOZA, M. G. Estimation of the activation energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for their use as wall material for spray dried microcapsules. **Carbohydrate Polymers**, v.53, p. 197-203, 2003.

PEREZ, J. Theories of liquid-glass transition. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 22, n. 11, p. 89-114, 1994.

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

PIANOVSKI, A. R.; VILELA, A. F. G.; SILVA, A. A. S.; LIMA, C. G.; SILVA, K. K.; CARVALHO, V. F. M.; DE MUSIS, C. R.; MACHADO, S. R. P.; FERRARI, M. Uso do óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*) em emulsões cosméticas: desenvolvimento e avaliação da estabilidade física. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 44, p. 249-259, 2008.

PIETTA, P. G. Flavonoids as antioxidants. **J. Nat. Prod.**, v. 63, n. 7, p. 1.035-1.042, 2000.

PIHLANTO, A. Review: Antioxidative peptides derived from milk proteins. **International Dairy Journal**, v. 16, p. 1306-1314, 2006.

PINHEIRO, M. M. G.; BOYLAN, F.; FERNANDES, P. D. Antinociceptive effect of the *Orbignya speciosa* Mart. (Babassu) leaves: Evidence for the involvement of apigenin. **Life Sciences**, v. 91, p. 293-300, 2012.

PODSEDEK, A. Natural antioxidants capacity of brassica vegetables: a review. **LWT: Journal of Food Composition and Analysis**, v. 40, p.1-11, 2007.

PRIOR, R. L.; WU, X.; SCHAICH, K. Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 4290-4302, 2005.

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.

RAHARITSIFA, N.; RATTI, C. Foam-mat freeze-drying of apple juice part 2: stability of dry products during storage . **Journal of Food Process Engineering**, v. 33, p. 341-364, 2010.

RAMALHO, J. B. V. S.; OLIVEIRA, M. C. K. Metodologia para determinação da distribuição do diâmetro de gotas em emulsões de petróleo do tipo água-óleo por difração a laser. **Boletim Técnico Petrobrás**, v. 42, p.72-76, 1999.

RAMOS, M. I. L. **Desidratação do pequi (*Caryocar brasiliense*, Camb.): avaliação do processo através dos teores de carotenóides totais**. 1987. 116 f. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, 1987.

RAMOS, M. I. L.; UMAKI, M. C. S.; HIANE, P. A.; RAMOS FILHO, M. M. Efeito do cozimento convencional sobre os carotenóides pró-vitamínicos "A" da polpa do pequi (*Caryocar brasiliense*). **Boletim CEPPA**, Curitiba, v.19, n.1, p.23-32, 2001.

RATTES, A. L. R.; OLIVEIRA, W. P. Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation and properties of sodium diclofenac microparticles. **Powder Technology**, v. 171, p. 7-14, 2007.

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

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

REINECCIUS, G. A. Multiple-core encapsulation – The spray drying of food ingredients. In: VILSTRUP, P. (Ed.). **Microencapsulation of food ingredients**. Leatherhead Publishing, Surrey, 2001. p. 151-185.

RIBEIRO, R. F. **Pequi**: o rei do cerrado. Belo Horizonte: Rede Cerrado, 2000. 62p.

RICE-EVANS, C. A. Measurement of total antioxidant activity as a marker of antioxidant status in vivo: procedures and limitations. **Free Radical Research**, v. 33, p. 59-66, 1999.

RIGHETTO, A. M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização**. Campinas, 2003. 178p. Tese (Doutorado em Ciência da Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

RIGHETTO, A. M.; NETTO, F. M. Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. **International Journal of Food Properties**, v. 8, p. 337-346, 2005.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of food in dehydration. In: RAO, M. A; RIZVI, S.S. **Engineering Properties of Foods**, New York: Marcel Dekker Inc., p. 265-279, 1995.

RODRIGUES, H. S., **Obtenção de ésteres etílicos e metílicos, por reações de transesterificação, a partir do óleo da palmeira Latino Americana macaúba – *Acrocomia aculeata***, 2007. Tese (doutorado em Química), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.

RODRIGUES, R.; LICHTENTHÄLER, B. F.; ZIMMERMANN, R.; PAPAGIANNOPOULOS, M.; FABRICIUS, H.; MARX, F.; MAIA, J. G.; ALMEIDA, O. Total oxidant scavenging capacity of *Euterpe oleracea* Mart. (açai) seeds and Identification of their polyphenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 12, p. 4162-7, 2006.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **Carotenoids and food preparation: the retention of Provitamin A Carotenoids in Prepared, Processed, and Stored Foods**. Opportunities for Micronutrient Intervention (OMNI), Arlington, 1997.

RODRIGUES-AMAYA, D. B. **Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods**. Arlington: OMNI Project, 1999. 88p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in food**. Washington: ILSI Press, 2001. 64p.

RODRIGUES-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus handbook for carotenoid analysis**. Washington: International Food Policy Research Institute, 2004. 55p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; GODOY, H. T.; AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian on food carotenoids: factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, Roma, v. 21, p. 445-463, 2008.

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, G. R.; GONZÁLEZ-GARCÍA, R.; GRAJALES-LAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M. A.; ABUD-ARCHILA, M. Spray-drying of cactus pear juice

(*Opuntia streptacantha*): Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. **Drying Technology**, v. 23, n. 4, p. 955-973, 2005.

ROOS, Y. H. Water activity and physical state effects on amorphous food stability. **Journal of Food Processing and Preservation**, Oxford, v. 16, n. 6, p. 433-447, 1993.

ROOS, Y. H. **Phase transitions in Foods**. 1 ed. California: Academic Pres, Inc. 360p. 1995.

ROOS, Y. H. **Role of water in phase-transitions phenomena in foods**. In: RAO, M.A.; M.A.; HARTEL, R. W. Phase/State Transitions in Foods, New York: Marcel Dekker, p. 57-86, 1998.

ROOS, Y. H; KAREL, M. Differential scanning calorimetry study of phase transition affecting the quality of dehydrated materials. **Biotechnology Progress**, Washington, DC, v. 6, n. 2, p. 15-163, 1990.

ROOS, Y.; KAREL, M. Phase transitions of mixtures of amorphous polysaccharides and sugars. **Biotechnology Progress**, Washington, DC, v. 7, n.1, p. 49-53, 1991.

ROSEMBERG, M., KOPELMAN, I. J.; TALMON, Y. Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. **Journal Agricultural of Food Chemistry**. V. 38, p. 1288-94, 1990.

ROSA, E. D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L. A. P. **Secagem por atomização na indústria alimentícia: Fundamentos e aplicações**. Disponível em: <<http://www.fcf.usp.br/Ensino/Graduacao/Disciplinas/Exclusivo/Inserir/Anexos/LinkAnexos/secagem%20de%20materiais.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2011.

RUFINO, M.; ALVES, R.; DE BRITO, E. S.; DE MORAES, S. M; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. E.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação**

de atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução de ferro (FRAP).

Comunicado Técnico on line. EMBRAPA, Fortaleza, 2006.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; DE BRITO, E. S.; DE MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZJIMÉNEZ, J. E; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH.** Comunicado técnico online. EMBRAPA, Fortaleza, 2007.

RUIZ-CABRERA, M. A.; ESPINOSA-MUÑOZ, L. C.; AVILES-AVILES, C.; GONZÁLEZ-GARCÍA, R.; MOSCOSA-SANTILLÁN, M.; GRAJALES-LAGUNES, A.; ABUD-ARCHILA, M. Spray-drying of passion fruit juice using lactose-maltodextrina blends as the support material. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 4, p. 1011-1018, 2009.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, p. 616–622, 2009.

SANDERSON, G. R. Polysaccharides in foods. **Food Technology**, v. 35, n. 5, p. 50-57 e 83, 1981.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 556p.

SANTOS, N. A. **Propriedades Termo-oxidativas e de Fluxo do Biodiesel de Babaçu (*Orbignya phalerata*)**, 2008. 129f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

SATO, K. C. **Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico da polpa de jaboticaba**. 2005. 73 p. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SCHAUSS, A.G.; WU, X.; PRIOR, R.L.; OU, B.; HUANG, D.; OWENS, J.; AGARWAL, A.; JENSEN, G.S.; HART, A.N.; SHANBROM, E. Antioxidant capacity on other bioactivities of the freeze-dried Amazonian palm berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Acai). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.54, n.22, p.8604-8610, 2006.

SCHUBERT, H. Instantization of powdered food products. **International Chemical Engineering**, v. 33, n. 1, p. 28-45, 1993.

SEGALL, S.D; ARTZ, W. E.; TAKAHASHI, J. A.; RASLAN, D. S.; FERRAZ, V. The fatty acid and triacylglycerol composition of pequi (*Caryocar brasiliensis*) oil. In:AOCS ANNUAL MEETING & EXPO, 93., Montreal, 2002. **Abstract**. Montreal, 2002. p. S18-S19. Disponível em: <http://www.aocs.org/archives/am02abstracts.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2010.

SERFERT, Y.; DRUSCH, S.; SCHMIDT-HANSBERG, B.; KIND, M.; SCHWARZ, K. Process engineering parameters and type of n-octenylsuccinate-derivatised starch affect oxidative stability of microencapsulated long chain polyunsaturated fatty acids. **Journal of Food Engineering**, v. 95, n. 3, p. 386–392, 2009.

SHRESTHA, A. K.; HOWES, T.; ADHIKARI, B. P.; BHANDARI, B. R. Water sorption and glass transition properties of spray dried lactose hydrolysed skim milk powder. **LWT – Food Science and Technology**, Amsterdã, v. 40, n. 9, p. 1593-1600, 2007.

SEYDEL, P.; BLOMER, J.; BERTLING, J. Modeling particle formation at spray drying using population balances. **Drying Technology**, v. 24, n. 2, p. 137-146, 2006.

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

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Bioactive peptides. **Journal of AOAC International**, v. 91, n. 4, p. 914-931, 2008.

SIES, H.; STAHL, W. Vitamins E and C, β -carotene, and other carotenoids antioxidants. **American Journal of Clinical Nutrition**, v.62, p.1315-1321, 1995.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SILVA, M. A.; SOBRAL, P. J. A.; KIECKBUSCH, T. G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 77, n. 3, p. 426-432, 2006.

SILVA, D. S.; SILVA, J. A. JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M. **Frutos do cerrado**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2001.178p.

SILVA, M. V. V.; SALES, J. F.; SILVA, F. G.; RUBIO NETO, A.; ALBERTO, P. S.; PEREIRA, F. D. The influence of moisture on the in vitro embryo germination and morphogenesis of babassu (*Orbignya phalerata* Mart.). **Acta Scientiarum**, v. 34, n. 4, p. 453-458, 2012.

SINGH, R. P. Scientific principles of shelf life evaluation. In: MAN, C.M.D.; JONES, A. A. (Eds.). **Shelf life evaluation of foods**. Glasgow, Blackie Academic & Professional, 1994, p. 3-24.

SINGH SIDHU, J. P.; BAWA, A .S. Effect of gum acacia on rheological properties of wheat flour. **Journal of Food Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 157-159, 1998.

SIRIPATRAWAN, U; JANTAWAT, P. Determination of moisture sorption isotherms of jasmine rice crackers using BET and GAB models. **Food Science and Technology International**, v. 6, n. 12, p. 459-465, 2006.

SLADE, L.; LEVINE, H. Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 30, n. 2-3, p. 115-360, 1991a.

SLADE, L.; LEVINE, H. A Food polymer science approach to structure-property relationships in aqueous food systems: Non-equilibrium behavior of carbohydrate-water systems. In: LEVINE, H.; SLADE, L. **Water Relationships in Foods. Advances in the 1980's and Trends for the 1990's**. Plenum Press, London, p. 29-101, 1991b.

SOUZA, C. O.; MENEZES, J. D. S.; RAMOS NETO, D. C.; ASSIS, J. G. A.; SILVA, S. R.; DRUZIAN, J. I. Carotenoides totais e vitamina A de cucurbitáceas do Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Semiárido. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 926-933, 2012.

SPADA, P. D. S.; DE SOUZA, G. G.; BORTOLINE, G. V.; HERINQUES, J. A.; SALVADOR, M. Antioxidant, mutagenic, and antimutagenic activity of frozen fruits. **Journal of Medicinal Food**, v. 11, n. 1, p. 144-51, 2008.

TACO – **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. Campinas: NEPA – Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentos / UNICAMP. 2. Ed. 2006. 42p.

TAXI, C. M. A. D. **Suco de camu-camu (*Myrciaria dubia*) microencapsulado obtido através de secagem por atomização**. 2001. 162p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

TEIXEIRA NETO, R. O.; VITALI, A. A.; MOURA, S. C. S. R. Introdução a cinética de reação em alimentos. In: Manual Técnico nº 6. **Reações de transformação de vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 3 ed., 2010, p. 24-46.

TEIXEIRA NETO, R. O.; MOURA, S. C. S. R. Reações de transformação em alimentos – influência da temperatura. In: Manual Técnico nº 6. **Reações de transformação de vida-de-prateleira de alimentos processados**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 3 ed., 2010, p. 1-16.

TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L.; MENEGALLI, F. C.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. **Thermochimica Acta**, v. 343, n. 1, p. 49-56, 2000.

TELIS, V. R. N.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Collapse and color changes in grapefruit juice powder as affected by water activity, glass transition and addition of carbohydrate polymers. **Food Biophysics**, v. 43, p. 44-751, 2009.

TESTER, R. F. b-Limit dextrin – a new food and pharmaceutical resource. **Starch/Stärke**, v. 57, p. 442–451, 2005.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; BYRNE, D. H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 669-675, 2006.

THIES, C. Microencapsulation: what it is and purpose. In: VILSTRUP, P. **Microencapsulation of food ingredients**. Surrey, Leatherhead Publishing, 2001, p.1-30.

THOMSEN, M. K.; LAURIDSEN, L.; SKIBSTED, L. H.; RISBO, J. Temperature effect on lactose crystallization, Maillard reactions, and lipid oxidation in whole Milk powder. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 18, p. 7082–7090, 2005.

TONELI, J. T. C. L. **Processos de separação física e secagem de inulina obtida a partir de raízes de chicória (*Cichorium Intybus L.*)**. 2006. 208p. Tese (Doutorado em Engenharia de

Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.

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

TONON, R. V.; BARONI, A. F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M. D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, v. 94, p. 215–221, 2009b.

TONON, R. V.; BRABET, C.; PALLET, D.; BRAT, P.; HUBINGER, M. D. Physical and morphological characterization of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 44, p. 1950–1958, 2009c.

TONON, R. V. **Secagem por atomização do suco de açai: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 242p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

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

TONON, R. V.; FREITAS, S. S.; HUBINGER, M. D. Spray drying of açai (*Euterpe oleracea Mart.*) juice: effect of inlet air temperature and type of carrier agent. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 35, p. 691-700, 2011a.

TONON, R. V.; GROSSO, C. R. F.; HUBINGER, M. D. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. **Journal Research International**, v. 44, p. 282-289, 2011b.

TÓTH, J.; PALLAI-VARSÁNYI, E. Drying of bovine serum albumin on inert particle surface in msb dryer. In: INTERNATIONAL DRYING SYMPOSIUM, 2006, Budapeste, Hungria. **Proceedings of the 15th International Drying Symposium**, 2006.

TREYBAL, R. E. **Mass transfer operations**. Auckland: McGraw-Hill, 1981.

TRUONG, V.; BHANDARI, B. R.; HOWES, T. Otimization of co-current spray drying processo f sugar-rich foods. Part I – moisture and glass transition temperature profile during drying. **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 1, p. 55-65, 2005.

TSUJII, K. **Surface activity: principles, phenomena and applications**. Academic Press, New York. Chapter 2: Surface active substance, p. 15-42, 1998.

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.

UENOJO, M.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. Carotenoides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de Compostos de aroma. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 616-622, 2007.

VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. Water activity and its estimation in food Systems: Theoretical aspects, **Water Activity: Influence on Food Quality**, L. B. ROCHLAND and G. E. STEWART (ed) Academic Press, NY, 1981.

VELIOGLU, Y.S.; MAZZA, G.; GAO, L.; OOMAH, B.D. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, n.10, p.4113-4117, 1998.

VENKATA NAGA, N.; MUTHU PRASANNA, P.; NARAYAN, S.; SURYA, K.; SEETHA, P.; SRAWAN, G. Y. Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency. **Journal of Microencapsulation**, v. 27, n. 3, p. 187-197, 2010.

VERA, R.; NAVES, R. V.; NASCIMENTO, J. L.; CHAVES, L. J.; LEANDRO, W. M.; SOUZA, E. R. B. Caracterização física de frutos do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) no estado de Goiás. **Pesquisa agropecuária Tropical**, 35(2), p. 71-79, 2005.

VERA, R.; SOUZA, E. R. B.; FERNANDES, E. P.; NAVES, R. V.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; XIMENES, P. A. Caracterização física e química de frutos do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) oriundos de duas regiões no estado de Goiás, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 2, p. 930-99, 2007.

VERMEISSEN, V.; VAN CAMP, J.; VERSTRAETE, W. Bioavailability of angiotensin-I-converting enzyme inhibitory peptides. **British Journal of Nutrition**, v. 92, p. 357-366, 2004.

VILAS BOAS, E. V. B. **Frutas minimamente processadas: pequi**. III Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças. Viçosa, MG, p. 122–127, 2004.

VILAS BOAS, B. M.; GONÇALVES, G. A. S.; ALVES, J. A.; VALÉRIO, J. M.; ALVES, T. C.; RODRIGUES, L. J.; PICOLI, R. H.; VILAS-BOAS, E. V. B. Qualidade de pequis fatiados e inteiros submetidos ao congelamento. **Ciência Rural**, v. 42, n. 5, p. 904-910, 2012.

VILELA, G. F. **Variações em populações naturais de *Caryocar brasiliense* Camb. (Caryocaraceae): fenológicas, genéticas e de valores nutricionais de frutos.** 1998. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1998.

VISSOTTO, F. Z.; JORGE, L. C.; MAKITA, G. T.; RODRIGUES, M. I.; MENEGALLI, F. C. Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 97, p. 283-291, 2006.

VITALI, A. A.; TEXEIRA NETO, R. O.; GERMER, S. P. M. Testes acelerados de vida-de-prateleira de alimentos. In: Manual Técnico nº 6. **Reações de transformação de vida-de-prateleira de alimentos processados.** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 3 ed., 2010, p. 80-87.

XIE, X.; LIU, Q.; CUI, S. W. **Starch Modifications and Applications.** In: CUI, S. W. (Ed.). Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties, and Applications, CRC Press, 2005. cap. 8, p. 357-406.

XIN, H.; MUJUMDAR, A. Spray drying and its application in food processing. In: PASSOS, M.; RIBEIRO, C. **Innovation in Food Engineering New Techniques and Products.** London: CRC Press, 2010. p. 303-329.

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

WANG, H.; CAO, G.; PRIOR, R.L. Total antioxidant capacity of fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.3, p.701-705, 1996.

WANG, S.; LANGRISH, T. A review of process simulations and the use of additives in spray drying, **Food Research International**, v. 42, n. 1, p. 13-25, 2009.

WEBER, P.; BENDICH, A.; SCHALCH, W. Vitamin C and human health: a review of recent data relevant to human requirements. **Internationale Zeitschrift für Vitaminforschung**, v. 66, p. 19-30, 1996.

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

WHITE JUNIOR, D. R.; HUDSON, P.; ADAMSON, J. T. Dextrin characterization by high-performance anion-exchange chromatography–pulsedamperometric detection and size-exclusion chromatography–multi-angle light scattering– refractive index detection. **Journal of Chromatography A**, v. 997, n. 1-2, p. 79-85, 2003.

WHISTLER, R. L.; PASCALL, E. F. **Starch: Chemistry and Technology**. v. I, II. Academic Press, New York. 1965.

WOLF, W.; SPIESS, W. E. L.; JUNG, G. **Sorption isotherms and water activity of food material**. New York, Elsevier Science, 1985. 239p.

ZANALONI, E. Uso de gelificantes y espesantes en heladería. **Heladeria Panaderia Latinoamericana**, v. 19, n. 107, p. 39-46, 1992.

ZAREIFARD, M. R.; NIAKOUSARI, M.; SHOKROLLAHI, Z.; JAVADIAN, S. A Feasibility Study on the Drying of Lime Juice: The Relationship between the Key Operating Parameters of a Small Laboratory Spray Dryer and Product Quality. **Food Science and Biotechnology**, v. 5, p. 1896-1906, 2012.

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

ZHANG, X.; LIU, J. Effect of arabic gum and xanthan gum on the stability of pesticide in water emulsion. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 4, p.1308-1315, 2011.

APÊNDICE A – Testes Preliminares de Secagem

A.1 Polpa de pequi

Foram feitos alguns ensaios preliminares com variação da vazão de alimentação, concentração de agente encapsulante e temperatura de entrada no *spray dryer* para a polpa de pequi (Tabela A.1). Esses ensaios foram feitos para definir os limites da temperatura e a vazão de alimentação no delineamento composto central rotacional.

Tabela A.1 - Ensaios preliminares de secagem do extrato da polpa de pequi.

Ensaios	T _{ent} (°C)	$\dot{m}_{a\ lim}$ (kg/h)	C _M (%)	C _{GA} (%)	C _{AS} (%)
1	136	0,60	15	-	-
2	136	0,25	-	15	-
3	136	0,15	9	-	-
4	184	0,15	9	-	-
5	136	0,30	9	-	-
6	184	0,30	9	-	-
7	136	0,15	21	-	-
8	184	0,15	21	-	-
9	136	0,30	21	-	-
10	184	0,30	21	-	-
11	150	0,30	-	-	15
12	150	0,15	-	-	15

$\dot{m}_{a\ lim}$ - Vazão de alimentação; C_M - Concentração de maltodextrina; C_{GA} - Concentração de goma arábica, C_{AS} - Concentração de amido simples.

Nos testes preliminares, percebeu-se que para o ensaio 1 (T_{ent} = 136 °C, $\dot{m}_{a\ lim}$ = 0,6 kg/h e C_M = 15 %) não houve a formação de pó, ocorrendo a aderência do produto na câmara

de secagem e no ciclone (Figura A.1). Este fato deve ter ocorrido provavelmente devido à alta vazão de alimentação utilizada. Quando a vazão de alimentação é elevada, há uma menor eficiência nos processos de transferência de calor e de massa entre o fluido atomizado e o ar de secagem. Ou seja, uma grande quantidade de produto pulverizado na câmara de secagem torna o processo de transferência de calor menos eficiente, causando alguns problemas operacionais, tais como gotejamento e aderência do produto na câmara.

Também, como a maltodextrina possui propriedades emulsificantes pobres, não houve a formação de uma emulsão estável entre a fração lipídica presente na polpa de pequi e a maltodextrina (40,7g/ 100g sólidos secos). De acordo com Thies (2001), é essencial que a emulsão ou dispersão formada (que será posteriormente nebulizada na câmara de secagem) seja estável, não havendo modificações antes ou durante o processo de encapsulação, para que ocorra a formação das microcápsulas. Outra possibilidade que pode ter ocorrido é a contribuição dos açúcares redutores, que abaixam a temperatura de transição vítrea (T_g) do produto e 15 % de maltodextrina não foi suficiente para elevar a T_g da solução ocorrendo a sua aderência na parede do secador.



Figura A.1 - Ensaio 1 da secagem da polpa de pequi.

Já no ensaio 2 ($T_{\text{ent}} = 136 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $\dot{m}_{\text{alim}} = 0,25 \text{ kg/h}$ e $C_{\text{GA}} = 15 \%$), em que foi utilizada menor vazão de alimentação, houve a formação de pó. A goma arábica foi substituída pela maltodextrina por possuir em sua estrutura química uma fração proteica e, conseqüentemente, boas propriedades emulsificantes. Diferentemente da solução homogeneizada com maltodextrina, verificou-se a formação da emulsão. Entretanto, foi visualizada a presença de pequenas gotículas de gordura em suspensão na solução, indicando que não houve uma formação estável da emulsão (polpa de pequi+goma arábica).

Neste ensaio também foi usada uma baixa vazão de alimentação, em que menor conteúdo de produto foi aspergido na câmara de secagem, aumentando a eficiência de secagem.



Figura A.2 - Ensaio 2 da secagem de polpa de pequi.

Nos demais testes, houve a formação de pó, porém os ensaios de 3 a 6, que foram utilizados proporção de 9 % de maltodextrina em diferentes temperaturas (136 °C e 184 °C) e vazões mássicas (0,15 e 0,30 kg/h), a fração lipídica presente na polpa de pequi provavelmente não foi encapsulada. Isto era visualmente perceptível, pois se obtinha um produto seco, porém grudento e pegajoso. Já os ensaios 7 a 10, em que foi utilizada uma maior concentração de 21 % de maltodextrina e diferentes temperaturas (136 °C e 184 °C) e vazões mássicas (0,15 e 0,30 kg/h), obtiveram-se um pó totalmente visivelmente encapsulado, mais fino e solto. Isto pode ser observado na Figura A.3.



Figura A.3 - Ensaios 3 a 10 da secagem de polpa de pequi.

Nos ensaios 11 ($T_{\text{ent}} = 150\text{ °C}$; $\dot{m}_{\text{a lim}} = 0,30\text{ kg/h}$ e $C_{\text{AS}} = 15\%$) e 12 ($T_{\text{ent}} = 150\text{ °C}$; $\dot{m}_{\text{a lim}} = 0,15\text{ kg/h}$ e $C_{\text{AS}} = 15\%$), nos quais foram utilizados amido milho simples como agente encapsulante, não houve formação de pó, indicando que o amido não possui boas propriedades de emulsificação. Era nitidamente visível a ocorrência de gotículas de gordura em suspensão na solução.

Outra possibilidade é a presença de açúcares redutores no produto que abaixam a T_g e apenas 15 % de amido não foi suficiente para aumentar a T_g da solução ocorrendo aderência da solução na parede do secador.

A.2 Leite de coco babaçu

A.2.1 Ensaios de secagem

Foram feitos alguns testes preliminares utilizando o leite de coco babaçu com variação de vazão de alimentação, concentração de agente encapsulante, temperatura do ar de entrada no *spray dryer* e concentração de sólidos do leite de coco babaçu, conforme apresentado na Tabela A.2.

Tabela A.2 - Ensaios preliminares de secagem do leite de coco babaçu.

Ensaios	T_{ent} (°C)	$\dot{m}_{a\ lim}$ (kg/h)	C_M (%)	C_{GA} (%)	C_{AS} (%)
1 [*]	200	0,60	-	-	-
2 [*]	200	0,15	10	-	-
3 ^{**}	200	0,30	-	-	-
4 ^{**}	200	0,30	-	10	-
5 ^{**}	200	0,60	20	-	-
6 [*]	200	0,60	30	-	-
7 [*]	200	0,60	10	10	-
8 [*]	180	0,80	-	10	-
9 [*]	200	0,15	-	-	20
10 ^{**}	200	0,15	-	-	20

$\dot{m}_{a\ lim}$ - Vazão de alimentação; C_M - Concentração de maltodextrina; C_{GA} - Concentração de goma arábica; C_{AS} - Concentração de amido simples; ^{*} - Leite de coco babaçu sem concentrar (°Brix = 4); ^{**} - Leite de coco babaçu concentrado (°Brix = 12).

Os Ensaios 1 e 3 foram feitos com o leite de coco babaçu sem agente encapsulante e, com leite sem concentrar ($^{\circ}\text{Brix} = 4$) e com leite concentrado ($^{\circ}\text{Brix} = 12$), respectivamente, a 200°C . Foi utilizado um rotoevaporador (Evaporador rotativo, modelo TE 120, Marconi, Brasil) para fazer a concentração do leite de coco babaçu. O objetivo de concentrar o leite era a obtenção de pó.

Nos ensaios de 1 a 7, não houve formação de pó, indicando que a encapsulação não ocorreu possivelmente, devido a quantidade de gordura presente nele e a falta de uma boa homogeneização (Figura A.4). Nestes ensaios, o leite de babaçu e o agente encapsulante foram misturados apenas por um agitador magnético de bancada, que não possui velocidade de rotação suficiente para dispersar a gordura em água para formar uma emulsão.



Figura A.4 - Ensaios de 1 a 7 na secagem do leite de coco babaçu.

No ensaio 8 ($T_{ent} = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m}_{a\text{lim}} = 0,80\text{ kg/h}$), foi feito um teste utilizando um homogeneizador tipo “Turrax”, com uma rotação de 10.000 rpm, e concentração de 10 % de goma arábica e houve a formação de pó, como pode ser visto na Figura A.5. Porém, esse ensaio foi realizado utilizando outro *spray dryer* laboratorial (marca LABMAQ, Modelo MSD 1.0, Ribeirão Preto, Brasil), disponível na Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP.



Figura A.5 - Leite de coco babaçu em pó obtido no ensaio 8.

Nos ensaios 9 e 10 ($T_{ent} = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{m}_{alim} = 0,15\text{ kg/h}$ e $C_{AS} = 20\text{ }\%$), também não houve formação de pó, apesar de ter utilizado um homogeneizador “Turrax” com velocidade de rotação de 14.000 rpm. Isto pode ter ocorrido devido à utilização de amido de milho simples como agente microencapsulante que não teve propriedades encapsulantes suficientes para englobar as partículas de leite de coco babaçu.

Com base nestes resultados preliminares, foi necessário estudar as variáveis do secador *spray dryer* para verificar temperatura do ar de entrada no secador, vazão mássica de alimentação e concentrações de agentes encapsulantes.

A.2.2 Planejamento experimental

O delineamento composto central rotacional (DCCR), com pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$), totalizando 17 ensaios, foi realizado para avaliar o efeito das variáveis: temperatura do ar de entrada T_{ent} , vazão mássica da alimentação $\dot{m}_{alim}$ e concentração de goma arábica - C_{GA} e maltodextrina - C_M (Tabelas A.3 e A.4) sobre o rendimento do processo, umidade do pó e higroscopicidade do pó. Durante os experimentos, foram monitoradas (de cinco em cinco minutos) a temperatura do ar na saída do secador, temperatura ambiente e umidade relativa ambiente.

Os níveis extremos (mínimo e máximo) de concentração de agente encapsulante (maltodextrina e goma arábica) estabelecidos nos planejamentos experimentais foram

escolhidos com base nos resultados dos testes preliminares (formação de pó e capacidade do secador para este tipo de produto).

Tabela A.3 - Ensaios do planejamento experimental para o leite de coco babaçu, variando os parâmetros temperatura do ar de entrada T_{ent} , vazão de alimentação $\dot{m}_{a\ lim}$ e concentração de goma arábica C_{GA} .

Ensaios	Variáveis Independentes					
	Real			Codificado		
	T_{ent} (°C)	$\dot{m}_{a\ lim}$ (kg/h)	C_{GA} (%)	T_{ent} (°C)	$\dot{m}_{a\ lim}$ (kg/h)	C_{GA} (%)
1	180	0,21	12	-1	-1	-1
2	210	0,21	12	1	-1	-1
3	180	0,39	12	-1	1	-1
4	210	0,39	12	1	1	-1
5	180	0,21	18	-1	-1	1
6	210	0,21	18	1	-1	1
7	180	0,39	18	-1	1	1
8	210	0,39	18	1	1	1
9	170	0,30	15	-1,68	0	0
10	220	0,30	15	1,68	0	0
11	195	0,15	15	0	-1,68	0
12	195	0,45	15	0	1,68	0
13	195	0,30	10	0	0	-1,68
14	195	0,30	20	0	0	1,68
15	195	0,30	15	0	0	0
16	195	0,30	15	0	0	0
17	195	0,30	15	0	0	0

Tabela A.4 - Ensaios do planejamento experimental para o leite de coco babaçu, variando os parâmetros temperatura do ar de entrada T_{ent} , vazão de alimentação $\dot{m}_{a\ lim}$ e concentração de maltodextrina C_M .

Ensaios	Variáveis Independentes					
	Real			Codificado		
	T_{ent} (°C)	$\dot{m}_{a\ lim}$ (kg/h)	C_M (%)	T_{ent} (°C)	$\dot{m}_{a\ lim}$ (kg/h)	C_M (%)
1	180	0,21	22	-1	-1	-1
2	210	0,21	22	1	-1	-1
3	180	0,39	22	-1	1	-1
4	210	0,39	22	1	1	-1
5	180	0,21	28	-1	-1	1
6	210	0,21	28	1	-1	1
7	180	0,39	28	-1	1	1
8	210	0,39	28	1	1	1
9	170	0,30	25	-1,68	0	0
10	220	0,30	25	1,68	0	0
11	195	0,15	25	0	-1,68	0
12	195	0,45	25	0	1,68	0
13	195	0,30	20	0	0	-1,68
14	195	0,30	30	0	0	1,68
15	195	0,30	25	0	0	0
16	195	0,30	25	0	0	0
17	195	0,30	25	0	0	0

A.2.2.1 Agente encapsulante – Goma arábica

Os resultados experimentais das diferentes respostas ao planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando goma arábica como agente microencapsulante são apresentados na Tabela A.5.

Tabela A.5 - Resultados experimentais de umidade, higroscopicidade e rendimento para o leite de coco babaçu em pó utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Ensaio	Variáveis dependentes			Variáveis monitoradas		
	Umidade (%)	Higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos)	Rendimento (%)	T _s (°C)	T _a (°C)	UR (%)
1	2,44±0,02	9,92±0,02	20,20	128,4±1,3	27,1±0,2	45,3±4,1
2	2,03±0,03	8,75±0,01	20,65	156,2±1,6	28,2±0,6	38,7±2,3
3	2,33±0,03	7,46±0,03	21,67	121,3±0,6	24,3±0,1	59,0±1,7
4	2,05±0,02	8,92±0,01	20,35	149,2±0,9	26,6±0,2	51,5±2,1
5	2,11±0,01	10,96±0,01	23,11	121,0±0,9	26,5±0,4	52,8±1,1
6	2,05±0,01	10,32±0,01	23,24	146,9±1,1	24,7±0,9	51,0±2,4
7	2,49±0,04	10,94±0,02	24,04	123,4±1,3	25,1±0,3	52,6±1,8
8	2,41±0,01	10,64±0,05	23,55	147,0±0,5	25,7±0,6	48,6±3,3
9	2,24±0,04	8,09±0,01	24,32	119,7±0,3	22,9±1,1	52,0±1,2
10	2,12±0,01	8,43±0,01	21,55	150,8±0,6	23,6±0,4	52,0±1,5
11	2,15±0,02	10,33±0,04	19,61	144,3±1,8	23,6±0,2	54,0±0,9
12	2,05±0,01	8,84±0,001	22,88	135,2±0,6	23,9±1,5	54,0±1,1
13	2,30±0,01	8,07±0,001	19,33	140,0±0,2	20,4±0,4	66,0±0,4
14	1,61±0,003	7,13±0,01	23,84	138,0±0,4	22,0±0,1	61,0±1,4
15	2,19±0,001	9,60±0,001	21,68	129,0±0,5	22,9±0,3	60,0±1,5
16	2,15±0,01	9,62±0,002	21,55	140,0±0,5	22,5±0,1	65,0±0,9
17	2,16±0,01	9,64±0,003	21,42	130,4±0,5	22,1±0,2	63,0±1,5

T_{ent} é a temperatura do ar de entrada e $\dot{m}_{a\text{lim}}$ é a vazão mássica de alimentação e C_{GA} é a concentração de goma arábica.

☞ Umidade e Higroscopicidade

Todas as variáveis estudadas no planejamento não apresentaram significância ao nível de 10 % sobre as respostas umidade e higroscopicidade, indicando que dentro da faixa de estudo das variáveis temperatura do ar de secagem, vazão de alimentação e concentração de

goma arábica, o produto em pó apresentou um valor médio de umidade e higroscopicidade igual a 2,16% e 9,53%, respectivamente (Tabelas A.6 e A.7).

Tabela A.6 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%).

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	2,1560	0,1241	17,3682	<0,0001*
T _{ent} (L)	-0,1511	0,1166	-1,2961	0,2360
T _{ent} (Q)	0,0830	0,1283	0,6471	0,5382
$\dot{m}_{a\ lim}$ (L)	0,0706	0,1166	0,6052	0,5641
$\dot{m}_{a\ lim}$ (Q)	0,0265	0,1283	0,2062	0,8425
C _{GA} (L)	-0,1392	0,1166	-1,1938	0,2714
C _{GA} (Q)	-0,0761	0,1283	-0,5928	0,5720
T _{ent} x $\dot{m}_{a\ lim}$	0,0275	0,1523	0,1805	0,8619
T _{ent} x C _{GA}	0,1375	0,1523	0,9026	0,3967
$\dot{m}_{a\ lim}$ x C _{GA}	0,2075	0,1523	1,3622	0,2154

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela A.7 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (g água adsorvida/ 100g sólidos).

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	9,5343	0,7468	12,7660	<0,0001*
T _{ent} (L)	-0,0065	0,7015	-0,0093	0,9928
T _{ent} (Q)	-0,3783	0,7721	-0,4901	0,6391
$\dot{m}_{a\text{lim}}$ (L)	-0,6584	0,7015	-0,9386	0,3792
$\dot{m}_{a\text{lim}}$ (Q)	0,5656	0,7721	0,7326	0,4876
C _{GA} (L)	0,9122	0,7015	1,3005	0,2346
C _{GA} (Q)	-0,8380	0,7721	-1,0854	0,3137
T _{ent} x $\dot{m}_{a\text{lim}}$	0,7425	0,9165	0,8102	0,4445
T _{ent} x C _{GA}	-0,3075	0,9165	-0,3355	0,7471
$\dot{m}_{a\text{lim}}$ x C _{GA}	0,6475	0,9165	0,7065	0,5027

* Significativo a $p \leq 0,10$.

➤ **Rendimento**

Através dos dados apresentados na Tabela A.5, verifica-se que os valores experimentais do rendimento de secagem variaram entre 11,89 % e 17,79 %, os quais correspondem aos ensaios 11 (T_{ent} = 195 °C, $\dot{m}_{a\text{lim}}$ = 0,15 kg/h, C_{GA} = 15 %) e 7 (T_{ent} = 180 °C, $\dot{m}_{a\text{lim}}$ = 0,39 kg/h, C_{GA} = 18 %), respectivamente. Esses valores de rendimento se mostraram bem baixo quando comparados com outros produtos na literatura (TONON et al., 2008, MACHADO, 2010).

Os efeitos das variáveis independentes sobre o rendimento do leite de coco babaçu em pó estão apresentados na Tabela A.8.

Tabela A.8 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%).

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	21,5399	0,3934	54,7598	<0,0001*
T _{ent} (L)	-0,8624	0,3694	-2,3342	0,0523*
T _{ent} (Q)	1,0491	0,4066	2,5799	0,0365*
$\dot{m}_{a\text{lim}}$ (L)	1,1583	0,3694	3,1353	0,0165*
$\dot{m}_{a\text{lim}}$ (Q)	-0,1459	0,4066	-0,3589	0,7302
C _{GA} (L)	2,7319	0,3694	7,3948	0,0002*
C _{GA} (Q)	0,0945	0,4066	0,2323	0,8229
T _{ent} x $\dot{m}_{a\text{lim}}$	-0,5975	0,4827	-1,2378	0,2557
T _{ent} x C _{GA}	0,1275	0,4827	0,2641	0,7993
$\dot{m}_{a\text{lim}}$ x C _{GA}	0,0175	0,4827	0,0363	0,9721

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Eliminando-se os fatores não-significativos, verificou-se a significância da regressão e não significância da falta de ajuste em relação a $p \leq 0,1$, através do teste F, na análise de variância. Na Tabela A.9, encontram-se os valores calculados e tabelados de F. O valor de F da regressão em relação aos resíduos deve ser o maior possível, pois isso indica que a variação é explicada pela regressão e não pelos resíduos. Para que a regressão seja considerada estatisticamente significativa, o $F_{\text{calculado}}$ deve ser maior que o F_{tabelado} . Já o F da falta de ajuste em relação ao erro puro, pelo contrário, deve apresentar o menor valor possível, pois um alto F indica que há uma grande falta de ajuste dos dados ao modelo obtido. O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo proposto foi de 0,8978, indicando que o modelo explica 89,78 % dos dados experimentais.

Tabela A.9 - Análise de variância do modelo ajustado para a resposta rendimento.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	36,27	4	9,07	26	2,48
Resíduos:	4,13	12	0,34		
- Falta de ajuste	4,09	10	0,41	921,61	9,39
- Erro puro	0,03	2	0,02		
Total	40,39	16	2,52	R ² = 89,78 %	
Modelo	Rendimento = 21,86-0,30T _{ent} +1,64T _{ent} ² +1,72ḡ _{a lim} +3,30C _{GA}				

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

As superfícies de respostas e curvas de contorno geradas a partir do modelo proposto, apresentadas na Figura A.6, mostram que os rendimentos maiores foram obtidos nas faixas maiores e menores de temperatura de entrada, nas concentrações mais altas de agente encapsulante (goma arábica) e nas faixas maiores de vazão de alimentação.

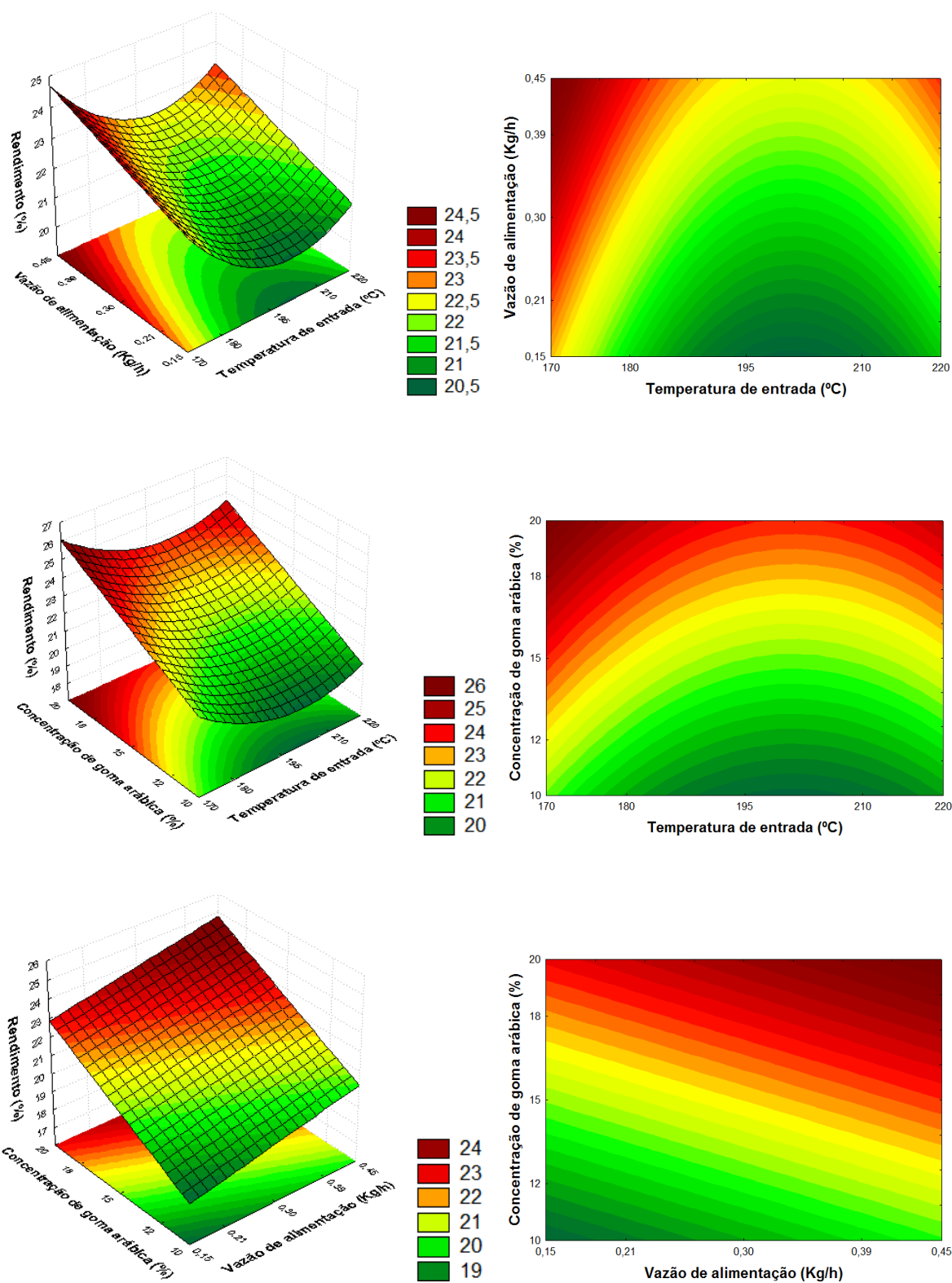


Figura A.6 - Influência das variáveis independentes sobre a resposta rendimento (%).

A.2.2.2 Agente encapsulante – Maltodextrina

Na Tabela A.10 estão apresentados os resultados experimentais das diferentes respostas ao planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando maltodextrina como agente microencapsulante.

Tabela A.10 - Resultados experimentais de umidade, higroscopicidade e rendimento para o leite de coco babaçu em pó utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Ensaio	Variáveis dependentes			Variáveis monitoradas		
	Umidade (%)	Higroscopicidade (g água adsorvida/100g sólidos)	Rendimento (%)	T _s (°C)	T _a (°C)	UR (%)
1	1,56±0,01	8,98±0,02	14,15	121,0±0,3	22,3±0,5	54,0±2,1
2	1,20±0,01	10,06±0,01	17,72	157,1±2,6	22,9±0,9	51,7±1,3
3	1,90±0,01	9,02±0,01	18,88	128,4±1,6	23,6±0,3	49,6±1,2
4	1,54±0,04	9,69±0,01	13,92	147,8±1,9	24,4±0,1	53,8±2,0
5	1,36±0,04	8,84±0,02	26,58	130,0±0,5	25,6±0,6	51,0±1,3
6	1,56±0,03	9,68±0,01	23,59	156,0±1,2	25,1±0,4	54,0±2,1
7	1,56±0,01	9,02±0,02	23,22	127,0±1,0	24,9±0,1	53,0±1,1
8	1,49±0,05	10,73±0,02	21,71	146,0±0,9	24,8±0,7	53,0±2,3
9	2,06±0,01	8,84±0,02	19,12	113,0±0,2	24,5±1,0	58,0±1,4
10	1,25±0,02	9,38±0,01	18,59	162,0±0,3	25,4±0,3	55,0±1,0
11	1,54±0,01	9,52±0,02	22,07	147,0±1,2	25,9±0,1	53,0±0,7
12	1,34±0,04	8,41±0,02	22,73	125,0±0,9	26,0±1,2	52,0±1,7
13	1,63±0,01	8,78±0,02	13,75	140,0±0,4	26,0±0,9	53,0±0,8
14	1,34±0,03	8,17±0,05	31,60	143,0±0,3	24,7±0,3	54,0±1,2
15	1,36±0,01	9,73±0,02	26,20	139,0±0,5	25,7±0,2	54,0±1,1
16	1,35±0,01	9,69±0,01	26,07	140,0±0,6	26,2±0,3	51,0±1,4
17	1,34±0,01	9,77±0,01	26,10	138,0±0,8	26,3±0,4	51,0±1,6

T_{ent} é a temperatura do ar de entrada e $\dot{m}_{\text{alim}}$ é a vazão mássica de alimentação e C_M é a concentração de maltodextrina.

↗ Umidade

Na Tabela A.11, estão apresentados os efeitos estimados das variáveis independentes sobre a resposta umidade. Pode-se verificar que a umidade final do pó foi influenciada apenas pela variável temperatura do ar de entrada do secador ($p \leq 0,10$).

Tabela A.11 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%).

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	1,3510	0,0972	13,9004	<0,0001*
T _{ent} (L)	-0,2859	0,1826	-3,1319	0,0166*
T _{ent} (Q)	0,2085	0,2110	2,0752	0,0766*
$\dot{m}_{a\text{ lim}}$ (L)	0,0694	0,1826	0,7598	0,4722
$\dot{m}_{a\text{ lim}}$ (Q)	0,0565	0,2110	0,5621	0,5916
C _M (L)	-0,1051	0,1826	-1,1514	0,5916
C _M (Q)	0,0883	0,2110	0,8788	0,4087
T _{ent} x $\dot{m}_{a\text{ lim}}$	-0,0675	0,2386	-0,5659	0,5891
T _{ent} x C _M	0,2125	0,2386	1,7817	0,1180
$\dot{m}_{a\text{ lim}}$ x C _M	-0,1375	0,2386	-1,1528	0,2868

* Significativo a $p \leq 0,10$.

O modelo proposto para a predição da umidade do pó de leite de coco babaçu apresentou baixo valor de coeficiente de determinação (R^2), indicando que não pode obter um modelo dos dados experimentais.

Tabela A.12 - Análise de variância do modelo ajustado para a resposta umidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,47	3	0,16	6,26	2,56
Resíduos:	0,33	13	0,03		
- Falta de ajuste	0,32	11	0,03	295,32	9,40
- Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	0,79	16	0,05	R ² = 59,10 %	
Modelo	Não há modelo				

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

↪ Higroscopicidade

Para a higroscopicidade, só o fator temperatura de entrada linear teve impacto significativo sobre a resposta (Tabela A.13). Esta variável apresentou efeito positivo e linear indicando que com um aumento da temperatura há um aumento na higroscopicidade dos pós.

Tabela A.13 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (g água adsorvida/ 100g sólidos).

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	9,6874	0,3780	25,6250	<0,0001*
T _{ent} (L)	0,8154	0,3550	2,2966	0,0553*
T _{ent} (Q)	-0,1450	0,3908	-0,3710	0,7216
$\dot{m}_{a\ lim}$ (L)	-0,0888	0,3550	-0,2503	0,8096
$\dot{m}_{a\ lim}$ (Q)	-0,2474	0,3908	-0,6333	0,5467
C _M (L)	-0,1268	0,3550	-0,3571	0,7315
C _M (Q)	-0,5940	0,3902	-1,5199	0,1723
T _{ent} x $\dot{m}_{a\ lim}$	0,0250	0,4640	0,0539	0,9585
T _{ent} x C _M	0,2900	0,4640	0,6251	0,5517
$\dot{m}_{a\ lim}$ x C _M	0,4800	0,4640	1,0347	0,3352

* Significativo a $p \leq 0,10$.

A Tabela A.14 apresenta a análise de variância ($p \leq 0,10$) do leite de coco babaçu em pó utilizando maltodextrina como agente encapsulante, bem como o coeficiente de determinação (R^2). Como este apresentou valor de apenas 44,19 %, não foi possível obter um modelo preditivo dos dados experimentais.

Tabela A.14 - Análise de variância do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	3,10	2	1,55	5,54	2,73
Resíduos:	3,91	14	0,28		
- Falta de ajuste	3,91	12	0,33		
- Erro puro	0,00	2	0,00	203,68	9,41
Total	7,01	16	0,44	R ² = 44,19 %	
Modelo	Não há modelo				

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

☞ **Rendimento**

Como mostrado na Tabela A.15, o rendimento final do pó foi influenciado significativamente ($p \leq 0,10$) por todas as variáveis independentes estudadas.

Tabela A.15 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%).

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	26,1908	1,1193	23,3991	<0,0001*
T _{ent} (L)	-0,9931	1,0513	-0,9447	0,3763
T _{ent} (Q)	-5,6043	1,1571	-4,8435	0,0019*
m _{alim} (L)	-0,4686	1,0513	-0,4458	0,6692
m _{alim} (Q)	-3,0976	1,1571	-2,6771	0,0317*
C _M (L)	8,8527	1,0513	8,4209	0,0001*
C _M (Q)	-2,9031	1,1571	-2,5090	0,0405*
T _{ent} x m _{alim}	-1,7625	1,3736	-1,2832	0,2403
T _{ent} x C _M	-0,7775	1,3736	-0,5660	0,5890
m _{alim} x C _M	-1,5425	1,3736	-1,1230	0,2985

* Significativo a $p \leq 0,10$.

A Tabela A.16 apresenta a análise de variância ($p \leq 0,10$) para a resposta rendimento de secagem, onde o $F_{\text{calculado}}$ foi maior que o F_{tabelado} . O coeficiente de determinação (R^2) para o modelo proposto foi de 0,8953, indicando que o modelo explica 89,53 % dos dados experimentais.

Tabela A.16 - Análise de variância do modelo ajustado para a resposta rendimento.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	365,26	4	91,32	25,66	2,39
Resíduos:	42,71	12	3,56		
- Falta de ajuste	42,70	10	4,27		
- Erro puro	0,01	2	0,00	921,61	9,39
Total	407,97	16	25,50	R ² = 89,53 %	
Modelo	Rendimento = 26,19-2,80T _{ent} ² -1,55 m _{alim} ² +4,43C _M -1,45C _M ²				

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

As superfícies de resposta e curvas de contorno apresentadas na Figura A.7, mostraram que os maiores rendimentos foram obtidos nas concentrações mais altas de maltodextrina e no ponto central para a temperatura de entrada e vazão de alimentação.

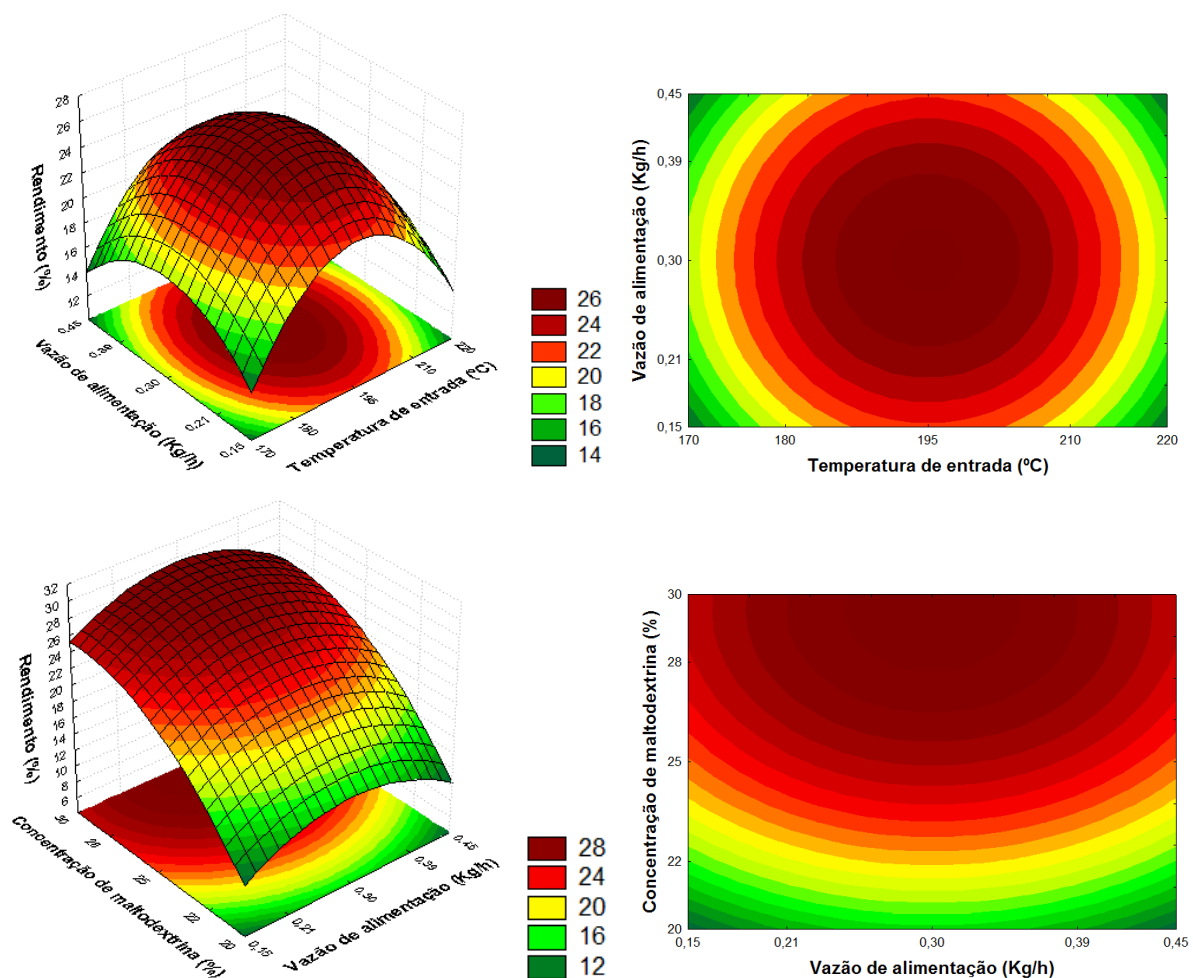


Figura A.7 - Superfícies de resposta e curvas de contorno para a resposta rendimento (%).

A.3 Testes com surfactantes

Foram utilizados alguns surfactantes (Span 80, Span 85, *Tween* 20 e *Tween* 80) na composição dos extratos de polpa de pequi e leite de coco babaçu com o intuito de verificar o aumento no rendimento do processo de secagem.

Foram feitos testes de secagens utilizando os seguintes parâmetros:

- Vazão de alimentação: 0,2 kg/h;
- Temperatura de entrada no secador: 175 °C;
- Concentração de agente encapsulante: 10 % de goma arábica;
- Concentração de surfactante: 5 %.

Para o leite de coco babaçu, com todos os surfactantes utilizados, não houve a formação de pó. Por isto, não foi utilizado surfactantes nos ensaios dos planejamentos experimentais.

Porém, para a polpa de pequi (Tabela A.17), houve a formação de pó para todos os tipos de surfactantes estudados. Como podem ser visualizados, os valores de umidade do pó de pequi apresentaram-se menores com a utilização de surfactantes. E, em contrapartida, apresentaram maiores rendimentos.

O surfactante *Tween* 80 apresentou-se melhor rendimento para a polpa de pequi em pó, sendo o mesmo escolhido para a realização dos ensaios dos planejamentos experimentais para otimização do processo de secagem no *spray dryer*.

Tabela A.17 - Rendimento e umidade dos pós para polpa de pequi.

Surfactantes	Umidade do pó (%)	Rendimento (%)
Span 80	0,91±0,001	33,40
Span 85	0,55±0,001	37,76
<i>Tween</i> 20	0,55±0,002	40,76
<i>Tween</i> 80	1,11±0,001	44,00
Sem surfactante	1,41±0,001	24,64

Com base nestes resultados, foram elaborados três novos planejamentos experimentais (Delineamento Composto Central Rotacional) para o leite de coco babaçu, fixando a vazão de alimentação em 0,20 kg/h, com 11 ensaios cada um. Nestes planejamentos, foram mantidas a variação da temperatura de entrada de ar no secador de 170 a 220 °C, concentração de goma arábica de 10 a 20 % e concentração de maltodextrina de 20 a 30 %.

Para o planejamento experimental com dextrina foi utilizada a mesma variação de concentração da maltodextrina.

Estes novos planejamentos foram realizados com o intuito de estudar, além das respostas umidade, higroscopicidade e rendimento, as variáveis oxidação lipídica e atividade de água dos pós.

Para polpa de pequi foram realizados três DCCRs com 17 ensaios cada um. Os parâmetros utilizados foram: temperatura de entrada de ar no secador (140 a 200 °C), concentração de surfactante *Tween* 80 (0 a 5 %), concentração de goma arábica (10 a 20 %) e concentração de maltodextrina ou dextrina (15 a 30 %). Nestes planejamentos também foi fixada a vazão de alimentação em 0,20 kg/h.

APÊNDICE B – Tabelas de efeitos e ANOVA dos planejamentos experimentais para polpa de pequi e leite de coco babaçu

B.1 Polpa de pequi

Nas Tabelas B.1 e B.2 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta umidade do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.1 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	0,6946	0,1735	4,0043	0,0052*
T _{ent} (L)	-0,0215	0,1629	-0,1320	0,8987
T _{ent} (Q)	0,7057	0,1793	3,9356	0,0056*
C _S (L)	0,0718	0,1629	0,4405	0,6729
C _S (Q)	0,4688	0,1793	2,6145	0,0347*
C _{GA} (L)	0,2052	0,1629	1,2597	0,2481
C _{GA} (Q)	-0,0933	0,1793	-0,5206	0,6187
T _{ent} x C _S	0,1175	0,2129	0,5520	0,5981
T _{ent} x C _{GA}	0,1025	0,2129	0,4816	0,6448
C _S x C _{GA}	0,5025	0,2129	2,3608	0,0503*

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.2 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta umidade do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	2,52	3	0,84	12,54	2,56
Resíduos:	0,87	13	0,07		
- Falta de ajuste	0,87	11	0,08		
- Erro puro	0,00	2	0,00	791,12	9,40
Total	3,39	16	0,21	R ² = 74,31 %	

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

Nas Tabelas B.3 e B.4 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta umidade do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.3 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	0,2709	0,1933	1,4018	0,2037
T _{ent} (L)	-0,1194	0,1815	-0,6576	0,5318
T _{ent} (Q)	0,5212	0,1998	2,6090	0,0350*
C _S (L)	0,2213	0,1815	1,2190	0,2623
C _S (Q)	0,4965	0,1998	2,4851	0,0419*
C _M (L)	-0,1734	0,1815	-0,9553	0,3712
C _M (Q)	0,2879	0,1998	1,4409	0,1928
T _{ent} x C _S	0,0900	0,2372	0,3795	0,7156
T _{ent} x C _M	-0,1400	0,2372	-0,5903	0,5735
C _S x C _M	0,1750	0,2372	0,7379	0,4846

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.4 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta umidade do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,90	2	0,45	4,35	2,73
Resíduos:	1,46	14	0,10		
- Falta de ajuste	1,46	12	0,12		
- Erro puro	0,00	2	0,00	279,83	9,41
Total	2,36	16	0,15	R ² = 38,32 %	

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

Na Tabela B.5 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta umidade do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.5 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) do pó de polpa de pequi encapsulado com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p – valor
Média	1,3479	0,2996	4,4996	0,0028*
T _{ent} (L)	-0,4389	0,2814	-1,5601	0,1627
T _{ent} (Q)	-0,0315	0,3097	-0,1017	0,9219
C _S (L)	0,3704	0,2814	1,3164	0,2295
C _S (Q)	-0,0668	0,3097	-0,2158	0,8353
C _D (L)	0,3095	0,2814	1,1002	0,3076
C _D (Q)	-0,1234	0,3097	-0,3985	0,7021
T _{ent} x C _S	0,3225	0,3676	0,8773	0,4094
T _{ent} x C _D	0,0425	0,3676	0,1156	0,9112
C _S x C _D	-0,1425	0,3676	-0,3876	0,7098

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Nas Tabelas B.6 e B.7 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a

resposta atividade de água do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.6 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água do pó de polpa de pequi encapsulados com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	0,0833	0,0083	10,0445	<0,0001*
T _{ent} (L)	0,0025	0,0078	0,3246	0,7550
T _{ent} (Q)	0,0471	0,0086	5,4929	0,0009*
C _S (L)	-0,0035	0,0078	-0,4442	0,6703
C _S (Q)	0,0047	0,0086	0,5463	0,6018
C _{GA} (L)	-0,0039	0,0078	-0,5040	0,6297
C _{GA} (Q)	-0,0059	0,0086	-0,6904	0,5122
T _{ent} x C _S	0,0075	0,0102	0,7366	0,4853
T _{ent} x C _{GA}	0,0325	0,0102	3,1921	0,0152*
C _S x C _{GA}	0,0275	0,0102	2,7010	0,0306*

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.7 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta atividade de água do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,01	3	0,00	24,88	2,56
Resíduos:	0,00	13	0,00		
- Falta de ajuste	0,00	11	0,00	5,02	9,40
- Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	0,01	16	0,00	R ² = 85,17 %	

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

Na Tabela B.8 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta atividade de água do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.8 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	0,1376	0,0313	4,3909	0,0032*
T _{ent} (L)	0,0107	0,0294	0,3617	0,7282
T _{ent} (Q)	-0,0109	0,0324	-0,3350	0,7474
C _S (L)	-0,0074	0,0294	-0,2510	0,8091
C _S (Q)	-0,0144	0,0324	-0,4441	0,6703
C _M (L)	-0,0001	0,0294	-0,0045	0,9965
C _M (Q)	0,0033	0,0324	0,1014	0,9221
T _{ent} x C _S	0,0050	0,0385	0,1300	0,9002
T _{ent} x C _M	0,0100	0,0385	0,2600	0,8024
C _S x C _M	0,0150	0,0385	0,3899	0,7082

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Na Tabela B.9 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta atividade de água do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.9 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água dos pós de polpa de pequi encapsulados com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p – valor
Média	0,2672	0,0329	8,1110	0,0001*
T _{ent} (L)	0,0014	0,0309	0,0452	0,9652
T _{ent} (Q)	-0,0252	0,0341	-0,7412	0,4827
C _S (L)	0,0120	0,0309	0,3895	0,7085
C _S (Q)	-0,0252	0,0341	-0,7412	0,4827
C _D (L)	-0,0026	0,0309	-0,0839	0,9355
C _D (Q)	-0,0465	0,0341	-1,3642	0,2147
T _{ent} x C _S	0,0350	0,0404	0,8659	0,4152
T _{ent} x C _D	0,0000	0,0404	0,0000	1,0000
C _S x C _D	-0,0350	0,0404	-0,8659	0,4152

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Nas Tabelas B.10 e B.11 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta higroscopicidade do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.10 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	13,6940	0,1482	92,3798	<0,0001*
T _{ent} (L)	0,1788	0,1392	1,2842	0,2399
T _{ent} (Q)	-1,4821	0,1532	-9,6718	<0,0001*
C _S (L)	0,5267	0,1392	3,7829	0,0069*
C _S (Q)	-1,3265	0,1532	-8,6566	0,0001*
C _{GA} (L)	1,5234	0,1392	10,9417	<0,0001*
C _{GA} (Q)	-0,6371	0,1532	-4,1575	0,0043*
T _{ent} x C _S	-0,1775	0,1819	-0,9758	0,3617
T _{ent} x C _{GA}	0,0825	0,1819	0,4535	0,6639
C _S x C _{GA}	-0,4025	0,1819	-2,2127	0,0626*

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.11 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	17,82	6	2,97	45,77	2,46
Resíduos:	0,65	10	0,06		
- Falta de ajuste	0,64	8	0,08	18,05	9,37
- Erro puro	0,01	2	0,00		
Total	18,47	16	1,15	R ² = 96,49 %	

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

Nas Tabelas B.12 e B.13 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta higroscopicidade do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.12 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	12,0197	0,5358	22,4338	<0,0001*
T _{ent} (L)	0,8381	0,5032	1,6655	0,1397*
T _{ent} (Q)	-0,8575	0,5539	-1,5483	0,1655
C _S (L)	-0,0001	0,5032	-0,0003	0,9998
C _S (Q)	-0,3237	0,5539	-0,5844	0,5773
C _M (L)	0,6185	0,5032	1,2290	0,2588
C _M (Q)	-1,0485	0,5539	-1,8930	0,1002*
T _{ent} x C _S	0,3325	0,6575	0,5057	0,6286
T _{ent} x C _M	-0,5925	0,6575	-0,9012	0,3974
C _S x C _M	-0,3425	0,6575	-0,5209	0,6185

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.13 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	4,38	2	2,19	2,89	2,73
Resíduos:	10,60	14	0,76		
- Falta de ajuste	10,59	12	0,88	180,17	9,41
- Erro puro	0,01	2	0,00		
Total	14,98	16	0,94	R ² = 29,21 %	

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

Na Tabela B.14 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta higroscopicidade do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.14 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) do pó de polpa de pequi encapsulado com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p – valor
Média	9,9348	0,4539	21,8858	<0,0001*
T _{ent} (L)	0,3907	0,4263	0,9163	0,3900
T _{ent} (Q)	-0,3029	0,4693	-0,6455	0,5392
C _S (L)	0,0329	0,4263	0,0771	0,9407
C _S (Q)	-0,6529	0,4693	-1,3914	0,2067
C _D (L)	-0,2271	0,4263	-0,5326	0,6108
C _D (Q)	-0,1969	0,4693	-0,4195	0,6874
T _{ent} x C _S	-0,3175	0,5570	-0,5700	0,5865
T _{ent} x C _D	-0,0125	0,5570	-0,0224	0,9827
C _S x C _D	0,1925	0,5570	0,3456	0,7398

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Nas Tabelas B.15 e B.16 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta rendimento do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.15 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	47,1092	4,2011	11,2136	<0,0001*
T _{ent} (L)	-0,9500	3,9457	-0,2408	0,8166
T _{ent} (Q)	-6,8617	4,3428	-1,5800	0,1581
C _S (L)	-2,5609	3,9457	-0,6490	0,5370
C _S (Q)	-6,4940	4,3428	-1,4953	0,1785
C _{GA} (L)	-12,9464	3,9457	-3,2811	0,0135*
C _{GA} (Q)	-0,2397	4,3428	-0,0552	0,9575
T _{ent} x C _S	-2,9925	5,1553	-0,5805	0,5798
T _{ent} x C _{GA}	-1,8325	5,1553	-0,3555	0,7327
C _S x C _{GA}	2,1175	5,1553	0,4107	0,6935

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.16 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	792,05	3	264,02	7,96	2,56
Resíduos:	431,31	13	33,18		
- Falta de ajuste	431,25	11	39,20	1263,30	9,40
- Erro puro	0,06	2	0,03		
Total	1223,36	16	76,46	$R^2 = 64,74 \%$	

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

Na Tabela B.17 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta rendimento do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.17 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	42,1710	3,9370	10,7114	<0,0001*
T _{ent} (L)	4,2154	3,6977	1,1400	0,2918
T _{ent} (Q)	1,6631	4,0699	0,4086	0,6950
C _S (L)	-3,1153	3,6977	-0,8425	0,4274
C _S (Q)	0,0933	4,0699	0,0229	0,9824
C _M (L)	-5,2698	3,6977	-1,4252	0,1971
C _M (Q)	-0,4335	4,0699	-0,1065	0,9182
T _{ent} x C _S	-0,9850	4,8313	-0,2039	0,8442
T _{ent} x C _M	1,7300	4,8313	0,3581	0,7308
C _S x C _M	3,2500	4,8313	0,6727	0,5227

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Nas Tabelas B.18 e B.19 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta rendimento do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.18 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) do pó de polpa de pequi encapsulado com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p – valor
Média	40,6968	2,09700	19,4072	<0,0001*
T _{ent} (L)	5,8772	1,96953	2,9841	0,0204*
T _{ent} (Q)	-0,8862	2,16776	-0,4088	0,6949
C _S (L)	-8,1442	1,96953	-4,1351	0,0044*
C _S (Q)	-3,3894	2,16776	-1,5635	0,1619
C _D (L)	-8,9224	1,96953	-4,5302	0,0027*
C _D (Q)	-4,1283	2,16776	-1,9044	0,0986*
T _{ent} x C _S	0,5550	2,57332	0,2157	0,8354
T _{ent} x C _D	-0,2300	2,57332	-0,0894	0,9313
C _S x C _D	0,8000	2,57332	0,3109	0,7649

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.19 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento do pó de polpa de pequi encapsulado com dextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	678,78	5	135,76	87,51	2,45
Resíduos:	96,92	11	8,81		
- Falta de ajuste	96,74	9	10,75	118,08	9,38
- Erro puro	0,18	2	0,09		
Total	775,70	16	48,48	$R^2 = 87,51 \%$	

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

Nas Tabelas B.20 e B.21 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta vitamina C do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.20 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/100g sólidos de pequi) do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	217,6142	17,2834	12,5909	0,0000*
T _{ent} (L)	-22,0052	16,2329	-1,3556	0,2173
T _{ent} (Q)	-13,2354	17,8666	-0,7408	0,4829
C _S (L)	-78,6879	16,2329	-4,8474	0,0019*
C _S (Q)	-0,9218	17,8666	-0,0516	0,9603
C _{GA} (L)	-6,0144	16,2329	-0,3705	0,7220
C _{GA} (Q)	4,1468	17,8666	0,2321	0,8231
T _{ent} x C _S	-59,6243	21,2093	-2,8112	0,0261*
T _{ent} x C _{GA}	-29,6271	21,2093	-1,3969	0,2051
C _S x C _{GA}	-76,6487	21,2093	-3,6139	0,0086*

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.21 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta vitamina C do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	40000,26	3	13333,42	16,49	2,56
Resíduos:	10528,40	13	809,88		
- Falta de ajuste	10514,15	11	955,83	134,08	9,40
- Erro puro	14,26	2	7,13		
Total	50528,66	16	3158,04	$R^2 = 79,16 \%$	

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

Nas Tabelas B.22 e B.23 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta vitamina C do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.22 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/100g sólidos de pequi) do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	185,0246	16,4492	11,2482	0,0000*
T _{ent} (L)	15,5443	15,4494	1,0061	0,3479
T _{ent} (Q)	12,1903	17,0043	0,7169	0,4967
C _S (L)	-109,4720	15,4494	-7,0858	0,0002*
C _S (Q)	23,1541	17,0043	1,3617	0,2155
C _M (L)	-25,8556	15,4494	-1,6736	0,1381*
C _M (Q)	4,0364	17,0043	0,2374	0,8192
T _{ent} x C _S	15,1544	20,1856	0,7508	0,4773
T _{ent} x C _M	17,6477	20,1856	0,8743	0,4110
C _S x C _M	21,8551	20,1856	1,0827	0,3148

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.23 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta vitamina C do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	43198,80	2	21599,40	29,59	2,73
Resíduos:	10218,95	14	729,92		
- Falta de ajuste	10218,33	12	851,53	2786,78	9,41
- Erro puro	0,61	2	0,31		
Total	53417,75	16	3338,61	R ² = 80,87 %	

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

Nas Tabelas B.24 e B.25 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta vitamina C do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.24 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta vitamina C (mg ácido ascórbico/100g sólidos de pequi) do pó de polpa de pequi encapsulado com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p – valor
Média	213,4624	24,8482	8,5967	0,0001*
T _{ent} (L)	-12,1631	23,3378	-0,5212	0,6183
T _{ent} (Q)	28,3895	25,6867	1,1052	0,3056
C _S (L)	-59,8572	23,3378	-2,5648	0,0373*
C _S (Q)	7,1783	25,6867	0,2795	0,7880
C _D (L)	6,3815	23,3378	0,2760	0,7905
C _D (Q)	8,5281	25,6867	0,3320	0,7496
T _{ent} x C _S	32,7437	30,4924	1,0738	0,3185
T _{ent} x C _D	4,2658	30,4924	0,1399	0,8927
C _S x C _D	14,3168	30,4924	0,4695	0,6530

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.25 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta vitamina C do pó de polpa de pequi encapsulado com dextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	12232,74	1	12232,74	9,90	3,07
Resíduos:	18528,32	15	1235,22		
- Falta de ajuste	18524,40	13	1424,95	728,21	9,42
- Erro puro	3,91	2	1,96		
Total	30761,06	16	1922,57	R ² = 39,77 %	

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

Na Tabela B.26 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta carotenoides totais do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.26 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta carotenoides totais (mg carotenoides/100g de sólidos de pequi) do pó de polpa de pequi encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	32,6741	13,1664	2,4816	0,0421*
T _{ent} (L)	-2,2711	12,3661	-0,1837	0,8595
T _{ent} (Q)	6,6634	13,6107	0,4896	0,6394
C _S (L)	-12,2140	12,3661	-0,9877	0,3562
C _S (Q)	11,6245	13,6107	0,8541	0,4213
C _{GA} (L)	7,3500	12,3661	0,5944	0,5710
C _{GA} (Q)	1,5973	13,6107	0,1174	0,9099
T _{ent} x C _S	-1,1417	16,1571	-0,0707	0,9456
T _{ent} x C _{GA}	-14,8158	16,1571	-0,9170	0,3897
C _S x C _{GA}	21,2438	16,1571	1,3148	0,2300

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Nas Tabelas B.27 e B.28 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta carotenoides totais do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.27 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta carotenoides totais (mg carotenoides/100g sólidos de pequi) do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p - valor
Média	29,4191	9,1253	3,2239	0,0146*
T _{ent} (L)	-17,5304	8,5707	-2,0454	0,0801*
T _{ent} (Q)	4,3101	9,4333	0,4569	0,6616
C _S (L)	-4,2493	8,5707	-0,4958	0,6352
C _S (Q)	11,4448	9,4333	1,2132	0,2644
C _M (L)	-27,2453	8,5707	-3,1789	0,0155*
C _M (Q)	1,6931	9,4333	0,1795	0,8626
T _{ent} x C _S	-11,9794	11,1981	-1,0698	0,3202
T _{ent} x C _M	10,3432	11,1981	0,9237	0,3864
C _S x C _M	-16,7322	11,1981	-1,4942	0,1788

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.28 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta carotenoides totais do pó de polpa de pequi encapsulado com maltodextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	59,03	2	29,52	7,69	2,73
Resíduos:	53,73	14	3,84		
- Falta de ajuste	53,73	12	4,48		
- Erro puro	0,00	2	0,00	14924,40	9,41
Total	112,76	16	7,05	R ² = 52,35 %	

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

Nas Tabelas B.29 e B.30 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta carotenoides totais do pó, obtido no planejamento experimental para a polpa de pequi utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.29 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta carotenóides totais (mg carotenoides/100g sólidos de pequi) do pó de polpa de pequi encapsulado com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (7)	p – valor
Média	56,5188	13,4487	4,2025	0,0040*
T _{ent} (L)	-40,0194	12,6312	-3,1683	0,0157*
T _{ent} (Q)	17,7935	13,9025	1,2799	0,2414
C _S (L)	18,0697	12,6312	1,4306	0,1956
C _S (Q)	10,3834	13,9025	0,7469	0,4795
C _D (L)	-2,7659	12,6312	-0,2190	0,8329
C _D (Q)	17,6282	13,9025	1,2680	0,2453
T _{ent} x C _S	12,7001	16,5035	0,7695	0,4667
T _{ent} x C _D	28,0493	16,5035	1,6996	0,1330
C _S x C _D	12,0378	16,5035	0,7294	0,4894

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.30 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta carotenoides totais do pó de polpa de pequi encapsulado com dextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	115,99	2	58,00	7,09	2,73
Resíduos:	114,46	14	8,18		9,41
- Falta de ajuste	114,46	12	9,54		
- Erro puro	0,01	2	0,00	3765,04	
Total	230,45	16	14,40	R ² = 50,33 %	

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

B.2 Leite de coco babaçu

Nas Tabelas B.31 e B.32 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta umidade do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.31 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	0,8767	0,0950	9,2237	0,0003*
T _{ent} (L)	-0,0682	0,1164	-0,5860	0,5833
T _{ent} (Q)	-0,1404	0,1386	-1,0135	0,3573
C _{GA} (L)	-0,9856	0,1164	-8,4665	0,0004*
C _{GA} (Q)	0,8596	0,1386	6,2041	0,0016*
T _{ent} x C _{GA}	0,0950	0,1646	0,5771	0,5889

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.32 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta umidade do pó de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	3,20	2	1,60	70,39	3,11
Resíduos:	0,18	8	0,02		
- Falta de ajuste	0,18	6	0,03		
- Erro puro	0,00	2	0,00	13,86	9,33
Total	3,38	10	0,34	R ² = 94,62 %	

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

Nas Tabelas B.33 e B.34 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a

resposta umidade do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.33 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	1,1233	0,0053	212,9381	<0,0001*
T _{ent} (L)	-0,0281	0,0065	-4,3502	0,0074*
T _{ent} (Q)	-0,4671	0,0077	-60,7379	<0,0001*
C _M (L)	-1,1196	0,0065	-173,2931	<0,0001*
C _M (Q)	0,2729	0,0077	35,4891	<0,0001*
T _{ent} x C _M	-0,0450	0,0091	-4,9249	0,0044*

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.34 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta umidade do pó de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	3,08	5	0,62	7375,78	3,45
Resíduos:	0,00	5	0,00		
- Falta de ajuste	0,00	3	0,00	0,38	9,16
- Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	3,08	10	0,31	R ² = 99,99 %	

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

Na Tabela B.35 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta umidade do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.35 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta umidade (%) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	1,5033	0,2641	5,6914	0,0023*
T _{ent} (L)	0,3601	0,3235	1,1131	0,3163
T _{ent} (Q)	-0,0258	0,3850	-0,0671	0,9491
C _D (L)	-0,1772	0,3235	-0,5479	0,6073
C _D (Q)	0,4742	0,3850	1,2315	0,2729
T _{ent} x C _D	0,4500	0,4575	0,9836	0,3705

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Nas Tabelas B.36 e B.37 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta atividade de água do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.36 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água do pó de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	0,2033	0,0519	3,9168	0,0112*
T _{ent} (L)	-0,0335	0,0636	-0,5274	0,6204
T _{ent} (Q)	-0,1033	0,0757	-1,3655	0,2303
C _{GA} (L)	-0,1267	0,0636	-1,9923	0,1029
C _{GA} (Q)	0,1667	0,0757	2,2024	0,0789*
T _{ent} x C _{GA}	0,0000	0,0899	0,0000	1,0000

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.37 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta atividade de água do pó de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,09	2	0,05	6,38	3,11
Resíduos:	0,06	8	0,01		
- Falta de ajuste	0,06	6	0,01		
- Erro puro	0,00	2	0,00	288,41	9,33
Total	0,15	10	0,02	R ² = 61,46 %	

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

Na Tabela B.38 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta atividade de água do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.38 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água do pó de leite de coco babaçu encapsulados com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	0,0933	0,0120	7,7505	0,0006*
T _{ent} (L)	0,0171	0,0147	1,1575	0,2994
T _{ent} (Q)	-0,0183	0,0176	-1,0444	0,3442
C _M (L)	-0,0021	0,0147	-0,1404	0,8938
C _M (Q)	0,0117	0,0176	0,6646	0,5357
T _{ent} x C _M	-0,0200	0,0209	-0,9589	0,3817

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Nas Tabelas B.39 e B.40 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta atividade de água do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.39 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta atividade de água do pó de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	0,0967	0,0067	14,3711	<0,0001*
T _{ent} (L)	-0,0035	0,0082	-0,4292	0,6857
T _{ent} (Q)	0,0346	0,0098	3,5270	0,0168*
C _D (L)	0,0683	0,0082	8,2887	0,0004*
C _D (Q)	0,0196	0,0098	1,9972	0,1023
T _{ent} x C _D	0,0000	0,0117	0,0000	1,0000

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.40 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta atividade de água do pó de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,01	3	0,00	36,97	3,07
Resíduos:	0,00	7	0,00		
- Falta de ajuste	0,00	5	0,00	3,82	9,29
- Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	0,01	10	0,00	$R^2 = 94,06 \%$	

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

Nas Tabelas B.41 e B.42 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta higroscopicidade do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.41 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	9,0533	0,1679	53,9281	<0,0001*
T _{ent} (L)	0,1884	0,2056	0,9165	0,4015
T _{ent} (Q)	0,4829	0,2447	1,9733	0,1055
C _{GA} (L)	1,4033	0,2056	6,8250	0,0010*
C _{GA} (Q)	-0,8421	0,2447	-3,4410	0,0184*
T _{ent} x C _{GA}	0,4300	0,2908	1,4788	0,1992

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.42 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade do pó de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	5,44	2	2,72	21,57	3,11
Resíduos:	1,01	8	0,13		
- Falta de ajuste	1,00	6	0,17	65,98	9,33
- Erro puro	0,01	2	0,00		
Total	6,44	10	0,64	$R^2 = 84,36 \%$	

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

Nas Tabelas B.43 e B.44 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta higroscopicidade do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.43 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	10,1733	0,1995	51,0023	<0,0001*
T _{ent} (L)	0,0279	0,2443	0,1140	0,9137
T _{ent} (Q)	-0,3296	0,2908	-1,1335	0,3084
C _M (L)	0,5144	0,2443	2,1057	0,0891*
C _M (Q)	-0,2596	0,2908	-0,8927	0,4129
T _{ent} x C _M	0,1650	0,3455	0,4776	0,6531

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.44 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta higroscopicidade do pó de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,53	1	0,53	5,81	3,36
Resíduos:	0,82	9	0,09		
- Falta de ajuste	0,82	7	0,12		
- Erro puro	0,00	2	0,00	501,65	9,35
Total	1,35	10	0,13	R ² = 39,23 %	

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

Na Tabela B.45 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta higroscopicidade do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.45 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta higroscopicidade (%) do pó de leite de coco babaçu encapsulados com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	8,1633	0,1217	67,0980	<0,0001*
T _{ent} (L)	0,0752	0,1490	0,5045	0,6353
T _{ent} (Q)	-0,2233	0,1774	-1,2593	0,2635
C _D (L)	0,2191	0,1490	1,4706	0,2014
C _D (Q)	-0,0483	0,1774	-0,2725	0,7961
T _{ent} x C _D	0,0050	0,2107	0,0237	0,9820

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Nas Tabelas B.46 e B.47 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta rendimento do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.46 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) dos pós de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	28,0500	0,3311	84,7052	<0,0001*
T _{ent} (L)	-1,6293	0,4056	-4,0173	0,0101*
T _{ent} (Q)	0,5300	0,4827	1,0979	0,3223
C _{GA} (L)	-1,5588	0,4056	-3,8434	0,0121*
C _{GA} (Q)	-7,0700	0,4827	-14,6459	<0,0001*
T _{ent} x C _{GA}	-1,6400	0,5736	-2,8593	0,0354*

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.47 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento do pó de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	93,55	4	23,39	68,74	3,18
Resíduos:	2,04	6	0,34		
- Falta de ajuste	1,91	4	0,48	7,51	9,24
- Erro puro	0,13	2	0,06		
Total	95,59	10	9,56	R ² = 97,86 %	

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

Nas Tabelas B.48 e B.49 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta rendimento do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.48 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	34,5000	0,9934	34,7290	<0,0001*
T _{ent} (L)	-2,7521	1,2167	-2,2620	0,0732*
T _{ent} (Q)	-3,8462	1,4481	-2,6560	0,0451*
C _M (L)	-1,8546	1,2167	-1,5243	0,1879
C _M (Q)	-5,7462	1,4481	-3,9681	0,0107*
T _{ent} x C _M	2,5750	1,7206	1,4965	0,1948

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.49 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento do pó de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	68,95	3	22,98	5,68	3,07
Resíduos:	28,31	7	4,04		
- Falta de ajuste	28,22	5	5,64		
- Erro puro	0,09	2	0,05	121,90	9,29
Total	97,26	10	9,73	R ² = 70,80 %	

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

Nas Tabelas B.50 e B.51 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta rendimento do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.50 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta rendimento (%) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	30,2967	1,4072	21,5293	<0,0001*
T _{ent} (L)	-7,2681	1,7235	-4,2171	0,0084*
T _{ent} (Q)	6,8171	2,0514	3,3232	0,0209*
C _D (L)	-9,1467	1,7235	-5,3071	0,0032*
C _D (Q)	5,5721	2,0514	2,7163	0,0420*
T _{ent} x C _D	0,5700	2,4374	0,2339	0,8244

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.51 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta rendimento do pó de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	358,25	4	89,56	17,89	3,18
Resíduos:	30,03	6	5,00		
- Falta de ajuste	29,54	4	7,39	30,49	9,24
- Erro puro	0,48	2	0,24		
Total	388,28	10	38,83	$R^2 = 92,27 \%$	

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

Nas Tabelas B.52 e B.53 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta oxidação lipídica do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando goma arábica como agente encapsulante.

Tabela B.52 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta oxidação lipídica (meq peróxido/kg de óleo) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	0,0485	0,0055	8,8369	0,0003*
T _{ent} (L)	0,0282	0,0067	4,1990	0,0085*
T _{ent} (Q)	-0,0161	0,0080	-2,0149	0,1000
C _{GA} (L)	0,0080	0,0067	1,1894	0,2877
C _{GA} (Q)	-0,0082	0,0080	-1,0267	0,3516
T _{ent} x C _{GA}	0,0138	0,0095	1,4458	0,2079

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.53 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta oxidação lipídica do pó de leite de coco babaçu encapsulado com goma arábica.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,00	1	0,00	12,43	3,36
Resíduos:	0,00	9	0,00		
- Falta de ajuste	0,00	7	0,00	27,05	9,35
- Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	0,00	10	0,00	$R^2 = 57,99 \%$	

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

Nas Tabelas B.54 e B.55 estão apresentadas as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações e a Análises de variância (ANOVA), respectivamente, para a resposta oxidação lipídica do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Tabela B.54 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta oxidação lipídica (meq peróxido/kg de óleo) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	0,0442	0,0078	5,6615	0,0024*
T _{ent} (L)	0,0288	0,0096	3,0131	0,0297*
T _{ent} (Q)	-0,0151	0,0114	-1,3229	0,2431
C _M (L)	0,0014	0,0096	0,1489	0,8874
C _M (Q)	-0,0071	0,0114	-0,6206	0,5620
T _{ent} x C _M	0,0054	0,0135	0,4015	0,7046

* Significativo a $p \leq 0,10$.

Tabela B.55 - ANOVA do modelo ajustado para a resposta oxidação lipídica do pó de leite de coco babaçu encapsulado com maltodextrina.

Fonte de variação	SQ	GL	QM	F _{calculado}	F _{tabelado}
Regressão	0,00	1	0,00	11,69	3,36
Resíduos:	0,00	9	0,00		
- Falta de ajuste	0,00	7	0,00	169,67	9,35
- Erro puro	0,00	2	0,00		
Total	0,00	10	0,00	R ² = 56,49 %	

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

Na Tabela B.56 está apresentada as estimativas dos efeitos lineares, quadráticos e das interações para a resposta oxidação lipídica do pó, obtido no planejamento experimental para o leite de coco babaçu utilizando dextrina como agente encapsulante.

Tabela B.56 - Efeito estimado, erro puro, coeficiente t e grau de significância estatística, para a resposta oxidação lipídica (meq peróxido/kg de óleo) do pó de leite de coco babaçu encapsulado com dextrina.

Fatores	Efeito estimado	Erro padrão	t (5)	p - valor
Média	0,0504	0,0098	5,1319	0,0037*
T _{ent} (L)	0,0205	0,0120	1,7022	0,1495
T _{ent} (Q)	-0,0072	0,0143	-0,5032	0,6362
C _D (L)	-0,0030	0,0120	-0,2488	0,8134
C _D (Q)	-0,0099	0,0143	-0,6886	0,5217
T _{ent} x C _D	-0,0013	0,0170	-0,0751	0,9430

* Significativo a $p \leq 0,10$.