

Fábia Carolina Gonçalves Lavoyer

ESTUDO DA SECAGEM DE POLPA DE COCO VERDE EM LEITO DE
JORRO E VIABILIDADE DE SUA UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA

São José do Rio Preto
2012

FÁBIA CAROLINA GONÇALVES LAVOYER

**ESTUDO DA SECAGEM DE POLPA DE COCO VERDE EM LEITO DE
JORRO E VIABILIDADE DE SUA UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA**

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Engenharia de Alimentos junto ao Programa de Pós Graduação de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis-Romero

Co- orientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Lúcia Gabas

Co- orientador: Prof. Dr. Wanderley P. Oliveira

**São José do Rio Preto
2012**

Lavoyer, Fábila Carolina Gonçalves.

Estudo da secagem de polpa de coco verde em leito de jorro e
viabilidade de sua utilização na indústria / Fábila Carolina Gonçalves
Lavoyer. - São José do Rio Preto : [s.n.], 2012.

74 f. : il.; 30 cm.

Orientador: Javier Telis-Romero

Coorientador: Ana Lúcia Gabas

Coorientador: Wanderley Pereira Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de
Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Alimentos – Indústria. 3. Polpa de
frutas – Secagem. 4. Coco Verde - secagem. I. Telis-Romero, Javier. II.
Gabas, Ana Lúcia. III. Oliveira, Wanderley Pereira. IV. Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. V.
Universidade de São Paulo. VI. Título.

CDU - 664.854:634.616

FÁBIA CAROLINA GONÇALVES LAVOYER

**ESTUDO DA SECAGEM DE POLPA DE COCO VERDE EM LEITO DE
JORRO E VIABILIDADE DE SUA UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA**

Dissertação apresentada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Engenharia de Alimentos junto ao Programa de Pós Graduação de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de São José do Rio Preto.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Javier Telis Romero
Professor Doutor
UNESP – São José do Rio Preto
Orientador

Prof. Dr. Joel Fernando Nicoleti
Professor Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -UTFPR

Prof. Dr. Renato Alexandre Ferreira Cabral
Professor Doutor
UNESP- São José do Rio Preto

São José do Rio Preto
09 de fevereiro de 2012

Dedico este trabalho a minha linda e indispensável família, Papai, Mamãe (guardada no coração), Flávia e Fernando, que com todo o seu amor e sabedoria me ensinaram que por maiores que sejam as dificuldades, sempre é possível seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por me permitir enfrentar novos desafios que contribuíram para meu crescimento profissional e pessoal e à minha família Papai Beto, Flávia,

Thiago e Fernando, pelo apoio imprescindível.

Ao professor Dr. Javier Telis-Romero pela orientação, atenção e disponibilidade.

À professora Ana Lúcia Gabas pela co- orientação e atenção.

Ao professor Dr. Wanderley P. Oliveira, à professora Dra. Cláudia Regina F. Souza e ao Marcelo Luís L. Martinez do LAPROFAR da USP de Ribeirão Preto, pela atenção e conhecimentos dispensados durante a execução dos experimentos de secagem.

À Fundação Banco do Brasil pela bolsa concedida, processo N°. 7.537.

À Caroline e Bárbara pelo apoio de sempre por permitirem que nossa amizade crescesse muito além dos cinco anos de faculdade e se tornasse tão importante.

À Priscila e Marília pela amizade, e por muitas e muitas horas de conversas.

À Larissa pela força, incentivo e por se tornar uma amiga tão querida.

À Prof.^a Dr.^a Vânia Nicoleti Telis, Juliane, Cássia, Kívia, Harvey, Poliana, Newton, Ginaldo e Luís pela convivência no laboratório e por contribuírem de alguma forma para o enriquecimento do trabalho.

Ao Hélio pela ajuda final, mas principalmente pelo carinho e compreensão de toda hora.

À Lilian e Fernando pelo auxílio nos momentos finais e não menos importantes.

Enfim, a todos meus amigos e família pela compreensão das ausências, e por de alguma forma, participarem da construção deste trabalho.

“Ela acreditava em anjo e, porque acreditava, eles existiam..”(Clarice Lispector)

RESUMO

O Brasil é considerado um dos maiores produtores e consumidores de frutas tropicais. O coco verde (*Cocos nucifera* L.) se destaca tanto em termos de produção e consumo quanto na quantidade de resíduos gerada por indústrias de água de coco e pelo consumo *in natura*. Devido a essa necessidade de aproveitamento destes resíduos, este trabalho teve por objetivo estudar as condições de secagem em leito de jorro para polpa de coco verde e avaliar sua viabilidade de sua utilização em indústrias de alimentos. Análises da composição química da polpa foram realizadas e os resultados apresentaram uma polpa com 7,35% de sólidos sendo 3,31% de açúcares redutores totais e 2,21% de lipídios. Foi feito um estudo da idade aproximada do fruto, chegando a uma idade média de sete meses. As isothermas de adsorção para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C foram analisadas e apresentaram curvas do tipo III, típicas de alimentos ricos em açúcares. O modelo de GAB o que melhor se ajustou com um coeficiente de determinação (R^2) próximo de 1 e erro percentual (P) menor que 5%. O calor isostérico de sorção calculado a partir dos dados das isothermas de adsorção aumentaram com a diminuição do conteúdo de umidade. As melhores formulações da polpa de coco testada previamente aos ensaios de leito de jorro foram de 50 e 100% de maltodextrina e 1% de Tween 80. Os resultados dos ensaios de secagem em leito de jorro apresentaram melhores dados de recuperação (R), menores dados de acúmulo (Ac) e elutriação (E) para formulação contendo 100% de maltodextrina e 1% Tween 80, a temperatura de 90°C e altura de jorro estático de 10,5cm. Os produtos finais foram caracterizados como solúveis em água e com valores de umidade baixos, sendo possível obter um armazenamento por um longo período de tempo.

Palavras-chave: aproveitamento de resíduo, polpa de coco, isothermas de adsorção, leito de jorro.

ABSTRACT

Brazil is considered one of the largest producers and consumers of tropical fruits, where green coconut stands out both in production and consumption, as the amount of waste generated from industries of coconut water and fresh market. Due to the need for utilization of these waste, this paper aimed to study the drying conditions in spouted bed for coconut pulp (*Cocos nucifera* L.) and thus, also study the feasibility of its use in food industries. Analyses of the chemical composition of pulp were taken and the results showed a pulp with 1.35% of solids, being 3.31% of total reducing sugars and 2.21% of lipids. A study was made of the approximate age of the fruit, reaching an average age of seven months. The adsorption isotherms at temperatures of 30, 40, 50, 60 and 70° were analyzed and showed curves of type III, typical of foods high in sugar. The GAB model was the best fit with a coefficient of determination (R^2) close to 1 and percentage error (P) less than 5%. The heat of sorption calculated from the data of adsorption isotherms increased with the decreasing of moisture content. The best formulations of coconut pulp tested prior to testing spouted bed were 50 and 100% of maltodextrin and 1% of Tween 80. The test results of drying in spouted bed showed better recovery data (R), smaller data accumulation (Ac) and elutriation (E) for the formulation height of spout of 10.5 cm. The final products were characterized as soluble in water and low moisture values, being possible to obtain a storage for a long period of time.

Keywords: waste, coconut pulp, adsorption isotherms, spouted bed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Constituição do coco.....	4
Figura 2.2. Isotermas de adsorção e dessorção de umidade. Fonte: Ditchfield, 2000).....	8
Figura 2.3. Tipos de isotermas de sorção segundo a classificação de Brunauer <i>et al</i> (1940).....	9
Figura 2.4: Leito de jorro (Mathur e Epstein, 1974).....	15
Figura 2.5. – Curva típica da transição do leito fixo para o leito de jorro. (Fonte: Mathur e Epstein, 1974).....	16
Figura 3.1. a.Coco verde com fina camada de polpa.....	20
Figura 3.1.b. Polpa retirada manualmente.....	20
Figura 3.2. a. Amostras em triplicatas de polpa de coco seca.....	26
Figura 3.2.b. Potes herméticos em estufas com temperatura controlada.....	26
Figura 3.3. Secador de leito de jorro.....	28
Figura 4.1. Isotermas de adsorção com ajuste do modelo de GAB.....	39
Figura 4.2. Isotermas de adsorção com ajuste do modelo de BET.....	39
Figura 4.3. Isotermas de adsorção com ajuste do modelo de Halsey modificado.....	40
Figura 4.4. Isósteres das isotermas de adsorção da polpa de coco verde.....	43
Figura 4.5. Calor isostérico de sorção para polpa de coco verde.....	44
Figura 4.6. Diferentes formulações de polpa de coco dispostas em placas de vidro, teflon e aço inoxidável.....	45
Figura 4.7 Formulação A7 (20% de Amido modificado) seca a 40°C em placa de vidro, teflon e aço inoxidável.....	45
Figura 4.8 Comparação entre as formulações A7 (20% Amido modificado) e A10 (20% de SiO ₂) na temperatura de 50°C	46
Figura 4.9 Comparação entre as formulações A4 (20% de Maltodextrina), A7 (20% Amido modificado) e A10 (20% de SiO ₂) em placas de teflon a 60°C.....	46

Figura 4.10. Apresentação de A7 (20% Amido modificado), melhor formulação para a temperatura de 70°C.....	47
Figura 4.11. Curvas de queda de pressão em função da vazão de gás alimentada no sistema para o ângulo de base cônica de 40o, e duas alturas de leito estático (partículas inertes - teflon).....	50
Figura 4.12. Exp. 01 H ₀ :7cm; T:70°C; 50% de maltodextrina.....	52
Figura 4.13. Exp 05 H ₀ :10,5cm; T:70°C; 50% de maltodextrina.....	52
Figura 4.14. Exp 02 H ₀ :7cm; T:90°C; 50% de maltodextrina.....	52
Figura 4.15. Exp 06 H ₀ :10,5cm; T:90°C; 50% de maltodextrina.....	52
Figura 4.16. Exp 03 H ₀ :7cm; T:70°C; 100% de maltodextrina.....	53
Figura 4.17. Exp07. H ₀ :10,5cm; T:70°C; 100% de maltodextrina.....	53
Figura 4.18. Exp 04 H ₀ :7cm; T:90°C; 100% de maltodextrina.....	53
Figura 4.19. Exp 08 H ₀ :10,5cm; T:90°C; 100% de maltodextrina.....	53
Figura 4.20. Gráfico de Pareto para recuperação do pó de polpa de coco verde...	55
Figura 4.21. Gráfico de Pareto para acúmulo do pó de polpa de coco verde.....	57
Figura 4.22. Gráfico de Pareto para acúmulo do pó de polpa de coco verde.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Atividade de água de soluções salinas saturadas em função da temperatura (Labuza et al, 1985; Young, 1967).....	25
Tabela 3.2. Formulações utilizadas nos testes de aderência.....	27
Tabela 3.3. Variáveis e formulações utilizadas nos testes preliminares de secagem em leito de jorro.....	29
Tabela 3.4. Formulações de polpa e aditivos utilizadas na secagem em leito de jorro.....	30
Tabela 3.5 Variáveis e condições operacionais de secagem.....	32
Tabela 3.6 Condições de secagem em leito de jorro.....	32
Tabela 4.1. Propriedades físico-químicas da polpa de coco verde determinadas experimentalmente, comparadas com resultados apresentados na literatura para polpa de coco verde e seus derivados.....	35
Tabela 4.2. Dados de umidade de equilíbrio obtidos através das isotermas de adsorção nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C.....	38
Tabela 4.3. Parâmetros dos ajustes dos modelos de GAB, BET e Halsey modificado.....	41
Tabela 4.4. Parâmetros de ajuste do modelo proposto por Tsami <i>et al</i> (1990).....	44
Tabela 4.5 Resultados dos testes preliminares de secagem em leito de jorro.....	48
Tabela 4.6. Formulações selecionadas para o teste de aderência.....	49
Tabela 4.7. Parâmetros fluidodinâmicos obtidos a partir da Figura 4.8 para as duas condições estudadas.....	51
Tabela 4.8. Resultados obtidos dos ensaios finais de secagem de polpa de coco em leito de jorro.....	51
Tabela 4.9. Resultados para o teste ANOVA com 95% de confiança para R(%).....	54
Tabela 4.10. Coeficientes de regressão para a resposta dos três fatores estudados para R(%).....	54

Tabela 4.11. Resultados para o teste ANOVA com 95% de confiança para Ac (%).....	56
Tabela 4.12. Coeficientes de regressão para a resposta dos três fatores estudados para Ac (%).....	56
Tabela 4.13. Resultados para o teste ANOVA com 95% de confiança para E (%).....	58
Tabela 4.14. Coeficientes de regressão para a resposta dos três fatores estudados para E (%).....	58
Tabela 4.15. Resultados da caracterização do produto.....	60

NOMENCLATURA

a_w - atividade de água

P - pressão de vapor de água do alimento

P_0 - pressão de vapor de água pura

$UR\%$ - umidade relativa

U_{eq} - teor de umidade de equilíbrio (b.s)

X_m - teor de umidade de monocamada (b.s.)

C - constante de BET relacionada ao calor de sorção; constante de Guggenheim

ΔH_{BET} = calor de sorção total do modelo

T = temperatura (K)

H_m = calor total de sorção da primeira camada

R = constante universal dos gases

k_0 = constante da equação

λ = calor de condensação da água pura

H_n = calor total de sorção das multicamadas

k, c e r são constantes do modelo modificado de Halsey

Q_{st} – calor isostérico de sorção (kJ/mol)

q_0 – calor isostérico de sorção da primeira molécula de água

X_0 – conteúdo de umidade característico do produto alimentício

ΔP_m - queda de pressão máxima

U_{jm} - a velocidade de jorro mínimo

ΔP_j - queda de pressão de jorro estável

Q_{jm} - vazão de jorro mínimo

H_0 – altura de leito estático

γ – ângulo incluído do secador

ÍNDICE

1.INTRODUÇÃO.....	1
2.REVISÃO BLIOGRÁFICA.....	3
2.1Coco.....	3
2.1.1 Características gerais da fruta.....	3
2.1.2 Mercado nacional do coco.....	4
2.1.3. Características dos principais produtos do coco verde.....	4
2.1.4 Aproveitamento dos resíduos.....	6
2.2. Termodinâmica.....	6
2.2.1 Atividade de água e isotermas de sorção.....	6
2.2.2. Métodos de medida de isotermas.....	9
2.2.3. Modelos teóricos e empíricos de isotermas de sorção.....	10
2.2.4 Calor isostérico de sorção.....	12
2.3 Secagem.....	13
2.3.1 Secador de leito de jorro.....	14
2.3.1.1. Fluidodinâmica.....	16
2.3.2. Características de partículas inertes usadas como suporte de secagem.....	17
2.3.3. Aditivos de secagem.....	18
2.3.4. Parâmetros de qualidade de produtos em pó.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Preparo da amostra.....	20
3.2. Análises físico-químicas da polpa de coco.....	20
3.2.1. Umidade.....	21
3.2.2 Açúcares redutores totais.....	21
3.2.3 Proteínas.....	21
3.2.4 Lipídios.....	22

3.2.5 Fibras.....	23
3.2.6 pH.....	24
3.2.7 Sólidos Solúveis.....	24
3.2.8 Acidez.....	24
3.3. Isotermas de adsorção.....	25
3. 4. Definição da composição de secagem.....	26
3.4.1. Teste da aderência de filmes de polpa de coco e preparações com aditivos em superfícies inertes.....	26
3.4.2. Ensaio preliminares de secagem em leito de jorro.....	27
3.4.3. Seleção dos aditivos de secagem.....	30
3.5. Operações finais de secagem em leito de jorro.....	31
3.5.1. Caracterização Fluidodinâmica dos Secadores de Leito de Jorro.....	31
3.5.2. Procedimento de secagem em leito de jorro.....	31
3.5.2.1. Recuperação do Produto.....	32
3.5.2.2. Acúmulo do produto no leito.....	33
3.5.2.3. Elutriação.....	34
3.6. Análise das propriedades do produto final.....	34
3.6.1. Umidade do pó.....	34
3.6.2. Densidade aparente e de compactação.....	34
3.6.3. Solubilidade.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1. Análises físico-químicas da polpa de coco verde.....	35
4.2. Isotermas de adsorção.....	37
4.2.1 Calor isostérico de sorção.....	42
4. 3. Definição da composição de secagem.....	45
4.3.1. Teste da aderência de filmes de polpa de coco e preparações com aditivos em superfícies inertes.....	45
4.3.2. Ensaio preliminares de secagem em leito de jorro.....	47

4.3.3 Seleção dos aditivos de secagem.....	49
4.4. Operações finais de secagem em leito de jorro.....	49
4.4.1. Ensaio fluidodinâmico.....	49
4.4.2 Análise do processo de secagem em leito de jorro.....	51
4.4.2.1. Recuperação do produto.....	53
4.4.2.2. Acúmulo do produto no leito.....	55
4.4.2.3. Elutriação.....	57
4.5. Análise do produto final.....	59
5. CONCLUSÃO.....	62
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICE A.....	72
APÊNDICE B	74

1. INTRODUÇÃO

Produzindo 140 milhões de toneladas de alimentos por ano, o Brasil é considerado um dos maiores exportadores de produtos agrícolas do mundo, se destacando como o terceiro produtor mundial de frutas. A produção nacional de frutas está em torno de 33 milhões de toneladas/ano, ocupando uma área de 2,2 milhões de hectares (GODIM *et al.* 2005; TODA FRUTA, 2009; SANTOS, 2008). Paralelamente ao segmento de frutas frescas, o consumo de produtos naturais vem crescendo, dado a busca cada vez maior de produtos voltados para uma qualidade de vida superior, na qual a água de coco (*Cocos nucifera L.*) apresenta significativa participação (TODA FRUTA, 2009).

A água de coco é tradicionalmente comercializada dentro do próprio fruto, o que acaba envolvendo problemas relacionados a transporte, armazenamento e perecibilidade. No entanto, a industrialização desse produto permite o seu consumo em locais distantes das regiões produtoras (ROSA e ABREU, 2000).

A produção e o consumo de coco verde juntamente com o aumento do consumo da água de coco, devido à qualidade dos frutos (polpa rica em fibras e vitaminas, teor de sais minerais, de potássio, de sódio, de fósforo, de cloro e de vitamina C), têm gerado aproximadamente 6,7 milhões de toneladas de casca por ano. No nordeste o problema se agrava por apenas 15% dos resíduos do coco verde serem utilizados para o consumo e o restante do material descartado no meio ambiente (MOURA *et al.*, 2008; MACHADO, DAMM e FORNARI, 2009).

Dessa forma, os resíduos de coco verde geram volumes significativos e crescentes de material, que atualmente são encaminhados para os lixões, aumentando os problemas ambientais, especialmente em grandes centros urbanos (SENHORAS, 2003).

Em concordância ao Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, que regulamenta a Lei de Resíduos Sólidos nº 12.305 e obriga os municípios a reciclarem os resíduos por eles produzidos, ao incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento das atividades de reciclagem, como já previsto no artigo nº4 inciso VI (PLANALTO, 2011), enfatiza-se neste trabalho o processo de secagem em leito de jorro como uma boa alternativa ao aproveitamento da polpa de coco verde.

Esse processo possibilita que os resíduos de coco verde sejam posteriormente utilizados nas indústrias de alimentos, químicas e farmacêuticas, além de permitir o processamento desses resíduos pelos próprios produtores, gerando oportunidades de trabalho e renda.

A predição do tempo de secagem de frutas pode ser determinada através das propriedades termodinâmicas, como isothermas de adsorção/dessorção de umidade e calor isostérico de sorção. Estudos como os realizados por GABAS, MENEGALLI, TELIS-ROMERO (1999) para uva; GABAS, MENEGALLI, TELIS-ROMERO (2000) para o caqui e Telis *et al.* (2000) para ameixa, destacam a importância das propriedades termodinâmicas, na predição do tempo de secagem das frutas e na determinação da vida de prateleira do produto final.

A secagem de pastas e suspensões realizadas com secadores de leito de jorro com partículas inertes tem sido bastante estudada nos últimos vinte anos, pois esse tipo de secador tem se mostrado uma melhor alternativa em relação ao secador spray, por fornecer produtos de qualidade similar, a custos significativamente inferiores (RUNHA *et al.*, 2001; MEDEIROS *et al.*, 2001). Em contrapartida, a secagem de alguns tipos de polpas de frutas pode apresentar problemas, o que pode ser solucionado com a incorporação de aditivos de secagem (GOMES, FIGUEIREDO e QUEIROZ, 2002).

Assim, o objetivo do presente trabalho é investigar as condições de secagem em leito de jorro para polpa de coco verde (*Cocos nucifera L.*)

Como objetivos específicos se encontram:

- Avaliação de propriedades químicas específicas da polpa *in natura*;
- Determinação das Isothermas e calor isostérico de adsorção da polpa de coco desidratada em temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C;
- Definição de melhor formulação para a secagem da polpa de coco verde;
- Secagem da polpa de coco verde em leito de jorro em diferentes condições;
- Análise do produto final.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Coco

2.1.1 Características gerais da fruta

O coqueiro-da-bahia ou coqueiro-da-praia pertence à espécie *Cocos nucífera* Linn., à subfamília *Cocosidae* e à família *Palmae*. Essa espécie é composta por algumas variedades, entre elas pode-se citar a Gigante (*Typica*) e a variedade Anã (*Nana*) (ARAGÃO *et al.*, 2002). Esta última foi introduzida no Brasil em 1925, apresenta porte baixo e uma produção de 120 a 150 frutos por planta por ano e a idade do coqueiro pode chegar a 40 anos (ROSA e ABREU, 2000).

O fruto do coqueiro é classificado como uma drupa fibrosa (Figura 2.1.). A casca, chamada de exocarpo, apresenta-se como uma película fina e lisa que envolve o fruto e sua coloração pode variar de verde a marrom dependendo do estágio de maturação. Junto a casca é encontrado uma camada grossa e fibrosa chamada de mesocarpo, que tem sido bastante utilizado como matéria-prima para a indústria; o endocarpo é a fina camada entre o mesocarpo e o albúmen sólido que é a polpa branca, oleosa, com espessura variável que toma toda a cavidade interna e parcialmente preenchida com a água de coco ou albúmen líquido podendo alcançar o seu maior volume (aproximadamente 25% do peso do fruto) entre 6 e 7 meses de idade, quando o fruto é colhido para fins de utilização da água (MEDINA, 1980, CHILD, 1974 e RESENDE *et al.*, 2002). A partir dos oito meses de idade, a quantidade de água, o tamanho e o peso do fruto diminuem muito (GOMES, 1984). Quando o fruto alcança a maturação máxima, a polpa é retirada e seca e é chamada de copra, de onde se extrai o óleo e o leite de coco (MEDINA, 1980).

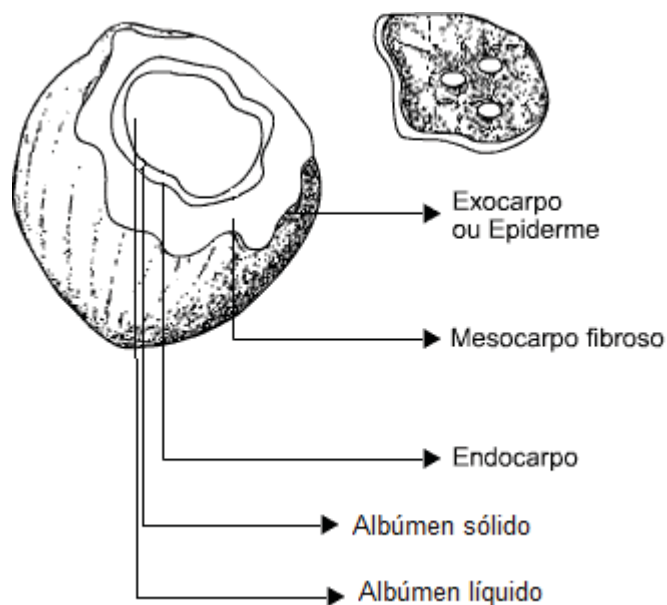


Figura 2.1. Constituição do coco. Fonte: Projeto Coco Verde, 2011.

2.1.2 Mercado nacional do coco

O Brasil é o 3º produtor mundial de coco (*Cocos nucifera* Linn.), com uma produção anual de mais de 1,8 milhões de toneladas (FAO, 2010), e o Nordeste se destaca pela área cultivada e produção, sendo essa região responsável pela distribuição de coco verde, coco seco e de subprodutos para todo o País (SILVA, 2006).

A produção nacional de coco é direcionada para a produção de coco seco (aproximadamente 85% da produção) e o restante para a produção de coco verde, destinado a extração de água. Os dois tipos de produção de coco são destinados tanto para o consumo caseiro quanto para industrialização (SENHORAS, 2003). A industrialização da água de coco, que é tradicionalmente comercializada dentro do próprio fruto, permite seu consumo em locais fora das regiões produtoras, pois diminui o volume e o peso transportados e, conseqüentemente, reduz custos de transporte e aumenta sua vida de prateleira (ROSA e ABREU, 2000).

2.1.3. Características dos principais produtos do coco verde

Existem poucos estudos sobre o aproveitamento da polpa de coco verde pela indústria. Em 2004, PEREIRA, FABIANO e SILVA desenvolveram um trabalho de graduação utilizando a polpa de coco verde na composição de gelado comestível sabor chocolate e

obtiveram 93,2% de aceitação após análise sensorial. Em 2010, KAJI, SISLIAN e PAVÃO, apresentaram como trabalho de graduação, um estudo sobre a aplicação de polpa de coco verde em pão de forma. Outros trabalhos que envolvem o aproveitamento da polpa de coco verde estão sendo elaborados e ainda não foram publicados.

As partes comestíveis do fruto (polpa branca e a água) podem ser consumidas no próprio fruto ou processadas pela indústria, quando o fruto ainda está verde. A polpa verde do fruto, conhecida popularmente como castanha, tem consistência de uma geléia que pode ser consumida *in natura*, após o consumo da água. Em casos de industrialização da água, a polpa é direcionada à produção de doces caseiros, alimentação animal e até mesmo às plantações de coqueiro, servindo de manto protetor do solo.

O leite de coco é obtido da amêndoa e da água do fruto. Trata-se de uma emulsão de óleo em água com um grande conteúdo de lipídios (31 a 35% de gordura) quando comparado com o teor de gordura do leite de vaca (3 a 4% de gordura) (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2011). A gordura do leite de coco possui uma alta porcentagem de ácidos graxos saturados, como o ácido láurico e o ácido mirístico, e uma pequena quantidade de ácidos insaturados, como o linoleico (HASSAN, 1985). O óleo de coco é utilizado na alimentação e na fabricação de sabão, cosméticos, detergentes e margarina.

A água de coco contém sais minerais (sódio, potássio e cloro) e açúcares (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2011). Em estudos das propriedades da água de coco, PENHA, CABRAL e MATTA (2007) destacaram como um dos principais componentes os açúcares, principalmente glicose e frutose, cuja concentração pode alcançar nível máximo de 6,0 g/100mL, próximo ao 6º e 7º mês de idade do fruto, ocorrendo variações no conteúdo com o decorrer do amadurecimento e com as diferentes regiões de plantio do coqueiro. Nota-se também a presença de enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (PDO), que devem ser consideradas como um fator de grande relevância por causar alterações indesejáveis, como o desenvolvimento de coloração rósea a castanho escuro. As PPOs catalisam a oxidação dos fenóis naturalmente encontrados nas frutas, formando quinonas que podem polimerizar, formando melanoidinas, causando a pigmentação marrom das frutas e de seus derivados (VÁMOS-VIGYAZO, 1981). As indústrias de água de coco vêm utilizando, como alternativa ao tratamento térmico, a utilização de aditivos, como o ácido ascórbico, pois, além de estabelecer o valor nutricional perdido durante o processamento, também inibi o escurecimento enzimático, resultando em uma melhor coloração e palatabilidade

(TORALLES, *et al.*, 2010). ABREU e FARIA (2007) recomendam o uso de ácido ascórbico para estabilização química da água de coco.

2.1.4 Aproveitamento dos resíduos

A grande quantidade de resíduos gerados pela indústria de processamento de coco (aproximadamente 6,7 milhões de toneladas de casca por ano), verde ou maduro, vem aumentando o problema ambiental, devido ao material, que é de difícil descarte, ser enviado para lixões e aterros sanitários (COELHO, 2001).

Embora orgânico, o resíduo do coco é de difícil degradação, serve de foco para proliferação de doenças, e atualmente diminui a vida útil de aterros sanitários e lixões. Enquanto matéria-prima não utilizada, esses resíduos apresentam custos de desova significativos para a sociedade, sendo, portanto, de grande importância o aproveitamento dos mesmos para o avanço da cadeia agroindustrial do coco, que gera oportunidades de trabalho e de renda, e amplia bases sociais da produção (SENHORAS, 2003).

Os resíduos do fruto do coqueiro podem ser aproveitados por completo. Da camada externa (exocarpo) e do mesocarpo fibroso, podem ser fabricados capachos, brochas, escovas, tecidos grossos, objetos caseiros, etc.

O aproveitamento da polpa do coco verde, em específico, é uma maneira de reduzir as perdas e consequentemente evitar desperdícios. Esses frutos a serem reaproveitados apresentam, no estágio de maturação indicado, um conteúdo de polpa pequeno, cujo aproveitamento não é economicamente viável, entretanto, no caso da presença deste material ser representativa, devido ao volume trabalhado, as indústrias podem, opcionalmente, aproveitá-lo na forma de polpa. Esta pode ser utilizada, principalmente, na formulação de doces, sorvetes, iogurtes, drinques, etc. (ROSA e ABREU, 2000).

2.2. Termodinâmica

2.2.1 Atividade de água e isothermas de sorção

A água exerce uma função muito importante na estabilidade dos alimentos devido sua contribuição nos processos de reações químicas, físicas e microbiológicas. A água disponível em um alimento, que permite estas reações, pode ser facilmente retirada por processos de secagem e é denominada de atividade de água (a_w). Este parâmetro pode ser obtido pela razão

da pressão de vapor de água do alimento (P) e a pressão de vapor de água pura (P_0) a uma única condição de temperatura e pressão (Equação 2.1) (BARBOSA-CÁNOVAS *et al.*, 2007).

$$a_w = \frac{P}{P_0} = \frac{UR}{100} \quad (2.1)$$

Segundo RIZVI (1995), essa relação apresentada na Equação 2.1 é um parâmetro crítico para a análise do fenômeno de transferência de massa e calor e das propriedades termodinâmicas que ocorrem durante a desidratação, pois determinam o ponto final ao qual o alimento pode ser desidratado.

Isotermas de sorção de água é uma relação de equilíbrio que vincula a capacidade de retenção de água por alimentos sólidos em função da atividade de água (a_w) ou da umidade relativa ($UR\%$) de seu armazenamento em uma temperatura constante, sendo de fundamental importância no estudo da conservação de alimentos desidratados (LABUZA 1968). Essa relação depende de muitos fatores, incluindo a composição química do alimento, o estado físico-químico dos ingredientes e estrutura física. Se a umidade foi absorvida, as isotermas são chamadas de isotermas de adsorção, caso contrário, são chamadas de isotermas de dessorção (STRUMILLO e KUDRA, 1986). Na Figura 2.2 pode ser observada a região que corresponde à adsorção de camadas adicionais sobre a monocamada (Região A); e a região B, que corresponde à condensação da água nos poros do produto, seguida pela dissolução do material solúvel presente. Nesta mesma figura, pode ser observado também o fenômeno de histerese, que é quando a quantidade de água adsorvida pelo produto é menor que a quantidade de água dessorvida, e o caminho do produto quando perde água se difere de quando o mesmo ganha água. Tal fenômeno ocorre devido às propriedades físicas da água com os capilares da estrutura dos produtos (RODOVALHO, 2008).

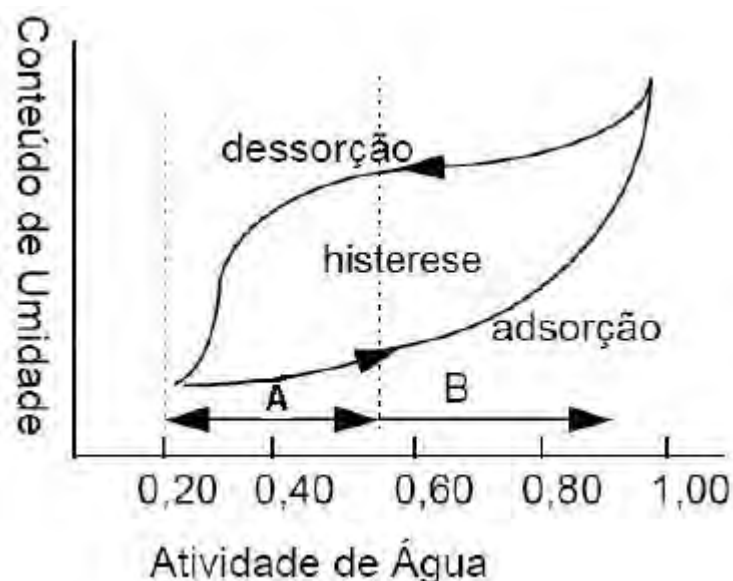


Figura 2.2. Isotermas de adsorção e dessorção de umidade FONTE: DITCHFIELD, 2000.

BRUNAUER *et. al* (1940) classificou as isotermas de sorção em cinco tipos gerais, baseando-se na força de Van der Waals na adsorção de gases não polares sobre diversos substratos sólidos não porosos (Figura 2.3). Nesta figura, observa-se que a curva I é quando a água se apresenta fortemente ligada ao produto; na curva II a água está pouco ligada ao produto e geralmente presente em pequenos capilares; na curva III o conteúdo de água presente no produto encontra-se em grandes capilares onde pode ser considerada como água livre; já para as curvas IV e V, a adsorção máxima ocorre a uma pressão inferior à pressão de vapor do gás (BARBOSA-CÁNOVAS *et al.* 2007).

Nos sólidos, o tamanho dos poros da estrutura interna é um limitante para adsorver água, porém, para a maioria dos alimentos, as isotermas de sorção de umidade apresentam-se não linearmente, mas, geralmente, no formato sigmoidal, sendo classificadas como do tipo II. Alimentos ricos em componentes solúveis como açúcares, apresentam comportamento do tipo III. A forma das isotermas pode ser modificada correspondentemente, passando do tipo III para o tipo IV e/ou V (AL-MUHTASEB, MCMINN e MAGEE, 2002).

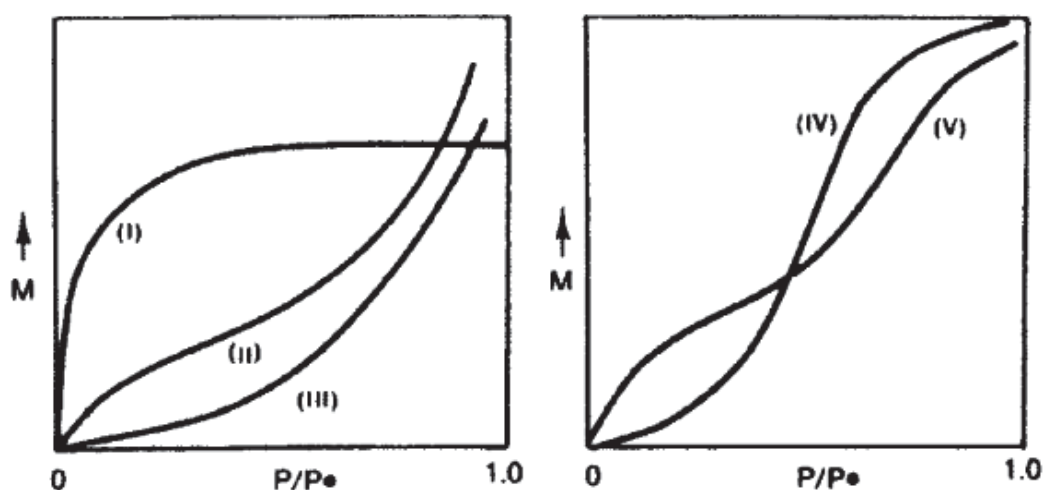


Figura 2.3. Tipos de isotermas de sorção segundo a classificação de BRUNAUER *et. al* (1940)

2.2.2. Métodos de medida de isotermas

Os dados da relação entre o teor de umidade de equilíbrio de um produto e sua atividade de água a temperatura constante podem ser medidos através de diferentes métodos que podem ser classificados como gravimétrico, manométrico e higrométrico (AL-MUHTASEB, MCMINN e MAGEE, 2002). O método que mais se destaca é o gravimétrico por fornecer informações completas da curva de sorção do produto e ser de simples aplicação (GABAS, 1998).

O método gravimétrico consiste em colocar o material seco (adsorção) ou *in natura* (dessorção), em contato com diversas umidades relativas conhecidas, até atingir o equilíbrio e, subsequentemente, determinar a umidade das amostras, através do método padrão recomendado para cada produto (JOWITT *et al.*, 1983). Entre as vantagens desse método, encontram-se: a determinação do peso exato da amostra; a diminuição da atuação da temperatura entre a superfície da amostra e o vapor de água circundante; o registro das variações de pesos das amostras em equilíbrio com sua respectiva pressão de vapor de água; e a obtenção de um equilíbrio higroscópico entre as amostras e a pressão de vapor da superfície (GAL, 1981).

2.2.3. Modelos teóricos e empíricos de isothermas de sorção

Podem ser encontrados mais de 270 modelos matemáticos na literatura e são propostos para avaliar o conteúdo de umidade nas isothermas de sorção, tendo dois ou mais parâmetros utilizados como constantes (BARBOSA-CÁNOVAS, *et al.* 2007).

Os modelos teóricos são baseados na cinética de monocamada e suas constantes fornecem as propriedades físicas do material em estudo. Já alguns modelos empíricos podem fornecer maior quantidade de parâmetros, que muitas vezes não possuem significados físicos e podem não ser satisfatórios (HALL, 2006)

O modelo de BET (Brunauer, Emmett e Teller), porém, é um dos mais utilizados; por fornecer um bom ajuste para uma variedade de alimentos com atividade de água baixa (entre 0,05 e 0,45), sua aplicabilidade é limitada para esta faixa de a_w , sendo expresso na Equação 2.2 (RIZVI, 1986).

$$U_{eq} = \frac{X_m C a_w}{1 - a_w} \frac{1}{1 + C - 1 a_w} \quad (2.2)$$

Na qual:

U_{eq} = teor de umidade de equilíbrio (b.s)

a_w = atividade de água

X_m = teor de umidade de monocamada (b.s.)

C = constante de BET relacionada ao calor de sorção, sendo

$$C = k \exp\left(\frac{\Delta H_{BET}}{RT}\right) \quad (2.3)$$

sendo:

k = constante da equação

ΔH_{BET} = calor de sorção total do modelo

T = temperatura (K)

O modelo de GAB (Guggenheim, Anderson e de Boer) fornece três parâmetros (Equação 2.4) que representam adequadamente os dados experimentais e tem sido muito utilizado recentemente em alimentos devido a sua aplicação em uma ampla faixa de a_w (0,1 a 0,9) (IGLESIAS E CHIRIFE, 1995; LABUZA, KAAANANE e CHEN, 1985).

$$U_{eq} = X_m \left[\frac{C - 1}{1 + C - 1} \frac{K a_w}{K a_w} + \frac{K a_w}{1 - K a_w} \right] \quad (2.4)$$

Em que,

X_m = conteúdo de água na camada monomolecular (b.s.)

C = constante de Guggenheim, sendo:

$$C = k \exp \left(\frac{H_m - H_n}{RT} \right) \quad (2.5)$$

Em que:

H_m = calor total de sorção da primeira camada

H_n = calor total de sorção das multicamadas

R = constante universal dos gases

T = temperatura (K)

k = constante da equação

$$k = k_0 \exp \left(\frac{\lambda - H_n}{RT} \right) \quad (2.6)$$

Em que:

k_0 = constante da equação

λ = calor de condensação da água pura (kJ/mol)

H_n = calor total de sorção das multicamadas

GOMES, FIGUEIREDO e QUEIROZ (2002) estudaram o efeito da temperatura nas isotermas de adsorção de polpa de acerola em pó, utilizando o método estático gravimétrico com soluções salinas e obtiveram boa interpretação para ajustar os dados experimentais a partir do modelo de GAB.

Um dos modelos empíricos mais utilizados para alimentos é o de Halsey modificado, que desenvolveu uma equação considerando a condensação da multicamada a uma distância relativamente grande da superfície e assumindo que a magnitude do parâmetro caracteriza o tipo de interação entre o vapor e o sólido (Equação 2.7) (RIZVI, 1986).

$$U_{eq} = \left(\frac{k}{\ln \frac{c}{a_w}} \right)^{1/r} \quad (2.7)$$

Em que:

k , c e r são constantes do modelo modificado de Halsey.

2.2.4 Calor isostérico de sorção

O calor isostérico de sorção (q_{st}) é um parâmetro termodinâmico obtido através de dados de umidade de equilíbrio. Representa a quantidade de energia necessária para adsorver ou dessorver água dos alimentos e seu valor é definido como o calor total de sorção (Q_{st}) menos o calor de vaporização da água, à temperatura do sistema. Baseando-se em princípios termodinâmicos, o calor isostérico de sorção pode ser determinado pela Equação 2.8, que deriva da equação de Clausius-Clapeyron aplicada para sistemas de água pura (AL-MUHTASEB MCMINN e MAGEE 2004).

$$q_{st} = -R \frac{\partial \ln a_w}{\partial \frac{1}{T}} = Q_{st} - \lambda \quad (2.8)$$

Na qual:

T – temperatura absoluta

a_w – atividade de água

R – constante universal dos gases (kJ/mol)

Q_{st} – calor isostérico de sorção (kJ/mol)

λ - calor de vaporização da água pura

Dois métodos podem ser utilizados para a determinação do calor isostérico de sorção: o primeiro, por medida direta calorimétrica do calor envolvido; e, o segundo, pela aplicação da equação de Clausius-Clapeyron a diferentes temperaturas. Devido à dificuldade de medir pequenas quantidades de calor envolvido, o primeiro método é pouco utilizado, sendo mais comum o cálculo a partir dos dados de isotermas de sorção (AL-MUHTASEB MCMINN e MAGEE 2004).

O conhecimento da dependência do calor de sorção da água em função do teor de umidade poderá ser utilizado para estimar as necessidades energéticas no processo de secagem e fornecer dados importantes do comportamento da água nos produtos alimentícios (TSAMI *et al.*, 1990). A equação 2.9 apresenta a relação exponencial empírica entre o calor de sorção e o teor de umidade proposta por TSAMI *et al.* (1990).

$$q_{st} = q_0 \exp(-X_{eq} / X_0) \quad (2.9),$$

Na qual:

q_0 – calor isostérico de sorção da primeira molécula de água

X_0 – conteúdo de umidade característico do produto alimentício

X_{eq} – umidade de equilíbrio

2.3 Secagem

O processo de desidratação possui grande aplicação na área de alimentos, sendo a secagem uma das maiores e mais complexas operações nesta área por envolver simultaneamente transferência de massa e de calor, juntamente com a mudança da estrutura física (FUSCO *et. al*, 1991).

Durante o processo de secagem, as frutas, por exemplo, perdem grande quantidade de umidade, resultando em um aumento da concentração dos outros componentes (proteínas, carboidratos, lipídios, etc). No entanto, este tipo de processamento pode acarretar na oxidação de componentes termossensíveis, como as vitaminas e ácido ascórbico (FELLOWS, 2006).

A qualidade do produto final depende das condições iniciais e das alterações ocorridas durante o processo de secagem, como, por exemplo, a mudança da forma e do tamanho das partículas que influenciam as propriedades físicas. Ao serem modificadas, estas propriedades mudam a textura final e as propriedades de transporte do produto seco (KAREL, 1991 e RATTI, 1994).

A secagem de materiais biológicos é caracterizada por apresentar um importante período de redução brusca de peso (decrecente), que pode ser dividido em duas fases distintas: na primeira fase, o coeficiente de difusão é constante, e, na segunda, é consideravelmente reduzido (HOLDSWORTH, 1971). Os principais mecanismos de transporte de massa que podem ocorrer simultaneamente durante a primeira fase da secagem são a difusão líquida, o escoamento capilar e a difusão de vapor (CHIRIFE, 1983). Já na segunda fase do período decrecente, a difusão da fase vapor é o mecanismo predominante de transporte de umidade, quando a umidade de equilíbrio está abaixo da umidade de saturação (KING, 1968).

O processo de secagem mais antigo e utilizado até hoje é a secagem solar, que contém, no entanto, muitas desvantagens, tendo como principal delas a contaminação microbiológica do material a ser seco devido ao tempo de exposição (AGUILERA *et al.*, 2003).

A secagem em leito de jorro tem sido bastante estudada para a secagem de polpas de frutas por se tratar de um equipamento com baixo custo de construção e manutenção, além de apresentar altas taxas de transferência de calor e massa.

2.3.1 Secador de leito de jorro

A técnica do leito de jorro foi primeiramente utilizada como uma modificação do leito fluidizado com intuito da secagem de partículas de diâmetros maiores que aquelas que eram secas em leito fluidizado. Desde então, o leito de jorro vem sendo utilizado para tratamento de partículas com diâmetros maiores que 1mm e que não podem ser fluidizadas da forma tradicional (COSTA, 1998).

O secador de leito de jorro é composto por três regiões distintas (Figura 2.4), sendo elas: a região central, ou de jorro, onde ocorre o transporte pneumático das partículas devido à velocidade do fluido; a região da fonte, que está localizada acima da superfície do leito em que as partículas advindas da região central movimentam-se em regime desacelerado, como

em uma fonte, caindo na região anular; e a região anular, ou deslizante, onde as partículas caem da região da fonte e deslizam para baixo, operando como um leito deslizante (MARQUES, 2007). O regime de jorro é estabelecido no leito de partículas sólidas através da injeção de um fluido (normalmente ar) na parte inferior do equipamento, no sentido vertical, através de um único ponto cujo diâmetro é reduzido em relação ao diâmetro do leito (SOUZA, 2003).

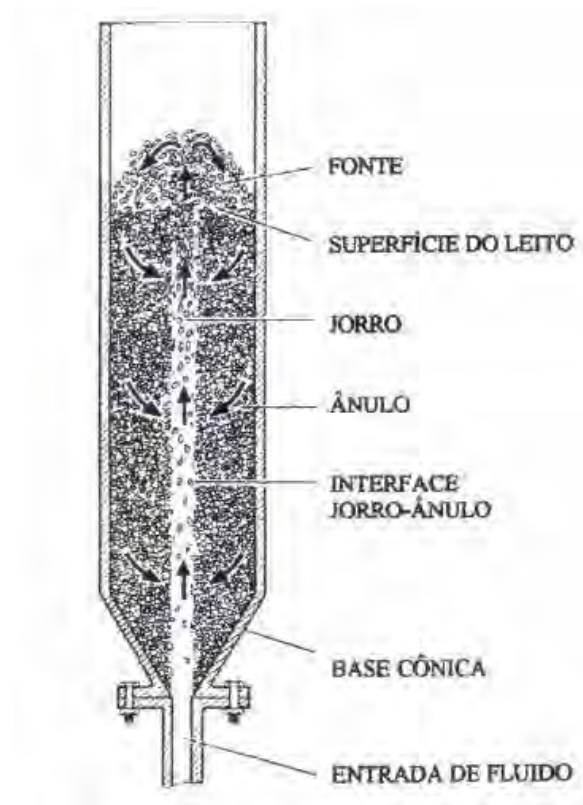


Figura 2.4: Leito de jorro (MATHUR e EPSTEIN, 1974)

A secagem de polpas de frutas em secadores de leito de jorro tem mostrado bom desempenho juntamente com partículas inertes e com agentes de secagem. Esses secadores podem ser competitivos em relação aos outros convencionais devido ao seu baixo custo de construção e à possibilidade de obter alimentos em pó em pequena escala (SOUZA e OLIVEIRA, 2005).

Em casos em que partículas inertes são utilizadas no processamento de secagem em leito de jorro, a alimentação pode ser efetuada de três diferentes formas: na parte superior do equipamento, através de aspersão ou gotejamento da suspensão; na base central da coluna, por aspersão da suspensão juntamente com ar comprimido; e no interior da região anular. A

suspensão, ao entrar em contato com as partículas inertes, forma uma película que é seca rapidamente por convecção e condução e que se fragiliza devido às colisões das partículas dentro do jorro. Essa película é então fraturada e arrastada pela corrente de ar produzidas pelo ciclone, sendo finalmente recolhida em um frasco coletor (SOUZA, 2009).

Neste tipo de secagem, dois fatores se tornam limitantes: as taxas de transferência de calor e massa e a aderência da película sobre a partícula inerte, que poderá acarretar em aglomeração no leito, seguido de acúmulo do material dentro do secador. Esses fatores podem ser influenciados pelas variáveis do processo, tais como: vazão da alimentação da suspensão e do ar; as propriedades do material a ser seco; e pela localização da alimentação, que influencia o desempenho do secador e consequentemente a qualidade do produto final (umidade, granulometria, densidade, etc.) (SOUZA, 2009).

2.3.1.1. Fluidodinâmica

A Figura 2.5 representa uma curva característica da queda de pressão do leito de jorro em função da vazão do gás em diferentes alturas de leito estático (H_0). Através desta curva, podem ser obtidos os principais parâmetros fluidodinâmicos como: a velocidade de jorro mínimo U_{jm} ; queda de pressão máxima ΔP_m ; e queda de pressão de jorro estável ΔP_j .

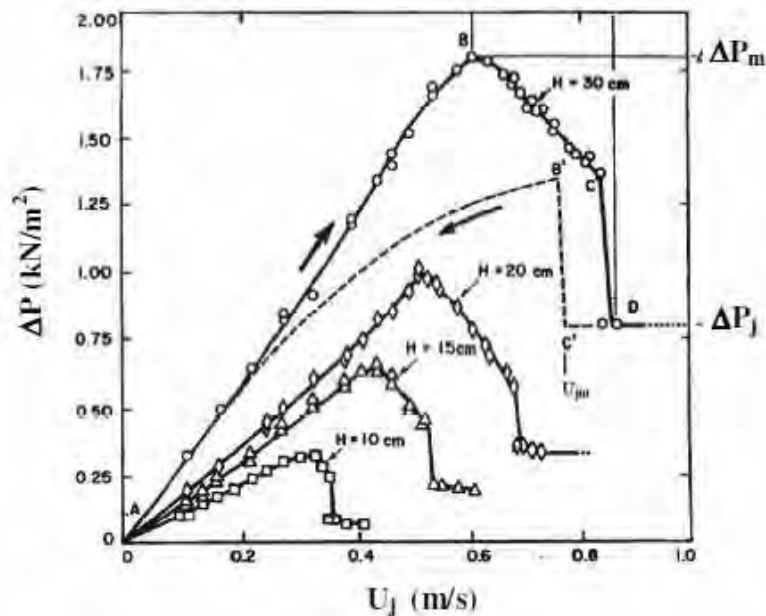


Figura 2.5. – Curva típica da transição do leito fixo para o leito de jorro. (Fonte: MATHUR e EPSTEIN, 1974)

Analisando a Figura 2.5 pode-se observar um comportamento similar ao de um leito fixo às baixas vazões de ar, fazendo com que o gás apenas passe entre as partículas. Com o aumento da vazão do gás (do ponto A-B), ocorre um deslocamento das partículas próximas ao orifício de entrada. Forma-se, então, uma cavidade circundada por uma camada sólida compacta, que faz com que ocorra uma maior queda de pressão no leito, seguido de uma formação de jorro interno, até atingir o valor de maior queda de pressão (ΔP_m). Devido ao efeito do jorro interno ser maior que o da camada de sólido que limita a cavidade, neste ponto a queda de pressão começa a diminuir (ponto B - C). Nessa fase, o jorro é denominado de incipiente, quando qualquer incremento na vazão de gás faz com que a queda de pressão caia bruscamente até atingir o ponto D, quando o jorro aflora através da superfície do leito, e a vazão é denominada de vazão de jorro mínimo com queda de pressão constante, sendo que qualquer aumento na vazão acarretará apenas em aumento da fonte (SOUZA, 2003).

Alguns trabalhos mostram que a velocidade de jorro incipiente (ponto C) e o início de jorro estável (ponto D) não são exatamente reprodutíveis. Assim sendo, o processo mais utilizado é o processo inverso, no qual ocorre a diminuição da vazão do gás, com a queda de pressão constante até atingir o valor do jorro mínimo (ponto C'), quando é determinado o jorro estável. A partir desse ponto, a diminuição da vazão provoca um colapso do jorro e a queda de pressão chega a um ponto máximo (B'), inferior ao ponto máximo no incremento da vazão, já que, no processo inverso, a perda de carga deve-se apenas à interação gás-sólido. A partir de B', a queda de pressão decresce com a vazão (SOUZA, 2003).

A altura máxima do leito, a taxa de alimentação, a temperatura de saída do ar, etc, são parâmetros que influenciam a qualidade do produto final, pois são elas que controlam a taxa de transferência de calor e circulação de sólidos durante o processo de secagem em leito de jorro (SOUZA, 2003).

2.3.2. Características de partículas inertes usadas como suporte de secagem

Partículas inertes de alguns tipos de materiais podem ser utilizadas como suportes para a secagem de pastas e polpas de frutas em leito de jorro. Entre os materiais inertes que merecem destaque estão o vidro e o Teflon®.

O vidro é um produto inorgânico obtido pelo resfriamento a uma taxa apropriada do material fundido sem que haja cristalização, obtendo-se um sólido amorfo (VAN VLACK, 1984). Esse produto tem excelente resistência a quase todos os ácidos, exceto ao ácido

fluorídrico com aquecimento e ao ácido fosfórico concentrado, e também está sujeito ao ataque de soluções alcalinas aquecidas (PERRY, GREEN e MALONEY, 1984).

O Teflon® é um polímero que contém somente átomos de carbono e flúor, quimicamente inertes. São conhecidos pela sua estabilidade térmica e baixa tensão superficial (BRADY e HOLUM, 1996).

2.3.3. Aditivos de secagem

A secagem de alguns tipos de polpas de frutas pode apresentar problemas como a aglomeração das partículas dentro do secador, devido às altas quantidades de açúcares e lipídios presentes nestes produtos, o que pode ser resolvido ao lançar mão de artifícios, tais como a incorporação de aditivos ou adjuvantes (GOMES, FIGUEIREDO e QUEIROZ, 2002). Os aditivos de secagem têm por objetivo facilitar o processo de secagem, melhorar a qualidade do produto final (tempo de prateleira, por exemplo) e reduzir custos de processos.

Diversos produtos além de amidos e dextrinas podem ser utilizados como adjuntos de secagem de polpas de frutas por atomização. Entre os aditivos de amido e derivados, podemos citar: amidos modificados, féculas, pirodextrinas ou dextrinas ácidas, dextrinas enzimáticas, maltodextrinas, ciclodextrinas e xaropes. A maltodextrina é um dos aditivos mais utilizados, pois além do baixo custo, apresenta baixa higroscopicidade, evita a aglomeração das partículas, possui efeito antioxidante, e retém os voláteis na faixa de 65 a 80% (OLIVEIRA, FIGUEIREDO, QUEIROZ 2006).

A seleção desses adjuntos leva em conta uma série de fatores que envolvem qualidade do produto, preço do aditivo e desempenho durante o processo (BRENNAN; HERRERA e JOWITT, 1971).

2.3.4. Parâmetros de qualidade de produtos em pó

A produção de alimentos em pó pelas indústrias vem aumentando devido às vantagens que consumidores e indústrias estão percebendo na utilização desses produtos, como a facilidade no manejo e conservação, baixo custo de transporte, longo prazo de validade, entre outras. Porém, para que um produto em pó seja produzido e distribuído, ele deve manter um padrão de qualidade que pode ser controlado através de propriedades químicas e físicas dos pós. Para tanto, as indústrias devem se aperfeiçoar nas condições de processamento, a fim de

se evitar modificações que afetam o comportamento das polpas tanto durante o processo quanto como produto final, implicando na necessidade de pesquisa das influências das condições de secagem e dos equipamentos utilizados nesses processos (Jayraman e DAS GUPTA, 1995).

Dentre as propriedades importantes para o controle de qualidade dos pós, podemos destacar a umidade, o tamanho das partículas, densidade aparente, densidade de compactação, solubilidade, porosidade, entre outras.

A umidade do pó é um dos parâmetros que mais afeta a qualidade, pois ela influenciará os aspectos físicos e químicos do produto. O tamanho das partículas, por sua vez, além de influenciar na densidade aparente, compressibilidade, escoamento e dispersibilidade em água, é um parâmetro que influencia a aparência dos produtos finais e faz com que as indústrias o controle por diferentes métodos (SOUZA, 2009). A densidade aparente é a relação entre a massa e o volume da amostra, e, em se tratando dos pós, elas são divididas em densidade aparente livre e densidade aparente de compactação (PELEG, 1983).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Preparo da amostra

Este trabalho foi realizado no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da UNESP/IBILCE, Campus de São José do Rio Preto (SP) e no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Processos Farmacêuticos (LAPROFAR) da Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto/USP.

A polpa de coco foi obtida a partir de coco verde adquirido no mercado de São José do Rio Preto (SP). Estes apresentavam coloração verde, uma fina camada de polpa (Figura 3.1.a) e grande quantidade de água, se aproximando das condições do produto utilizado pelas indústrias para a retirada da água. A água do coco foi removida e os frutos foram partidos ao meio. Em seguida, a polpa foi retirada manualmente (Figura 3.1.b) e processada em liquidificador caseiro por 2 minutos. A polpa foi previamente congelada até início das análises químicas.

Ácido ascórbico e ácido cítrico foram adicionados à polpa destinada aos ensaios de secagem em leito de jorro para evitar o escurecimento enzimático. A quantidade de ácido ascórbico e ácido cítrico respeitaram a quantidade máxima permitida pela Resolução CNS/MS N.º 04, de 24 de novembro de 1988 (Tabela A1 e A2, Apêndice A) até que alcançasse pH 4,5.



Figura 3.1. a) Coco verde com fina camada de polpa.b) Polpa retirada manualmente.

3.2. Análises físico-químicas da polpa de coco

As análises químicas da polpa de coco foram realizadas em triplicatas. As análises realizadas foram de umidade, pH, cinzas, sólidos solúveis, acidez, açúcares redutores totais,

proteínas, lipídeos e fibras. Os resultados foram expressos com a média das triplicatas e seu desvio padrão.

3.2.1. Umidade

Foram pesados 5g da polpa de coco em cadinhos previamente tarados e as amostras foram levadas em estufa a vácuo a 60°C até peso constante. A Equação 3.1 apresenta o cálculo para a determinação da umidade em porcentagem (IAL, 1985).

$$\% X_p = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100 \quad (3.1)$$

Na qual,

P_i = massa (g) da amostra,

P_f = massa (g) final da amostra após a secagem

3.2.2 Açúcares redutores totais

Para a determinação dos açúcares redutores totais foi utilizado o método de DNS. Por se tratar de um método colorimétrico, foi necessário realizar uma curva padrão com solução de glicose (0,4%) e solução de DNS (ácido dinitrosalicílico a 1%) (Figura B1, Apêndice B).

A polpa de coco foi diluída em balão volumétrico. Após a diluição, foi realizada uma hidrólise ácida (ácido sulfúrico concentrado) seguida de neutralização com solução de hidróxido de sódio. Cinco tubos foram preparados com 0,5mL - um com a solução da curva padrão; um com água; e três com a amostra diluída. Foram adicionados mais 0,5 mL de solução DNS em cada um dos cinco tubos e em seguida agitados, levados a ebulição por 5 minutos em banho-maria, esfriados e em seguida 5mL de água destilada foram adicionados a cada tubo. Após 15minutos de repouso, foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 540 nm, empregando-se uma curva calibração.

3.2.3 Proteínas

O método de Kjeldahl é considerado o método químico mais útil para a determinação de proteína através da determinação do teor do nitrogênio total. Como o teor de nitrogênio dos diferentes tipos de proteínas é aproximadamente o mesmo (em torno de 16%), pode-se

multiplicar a porcentagem de Nitrogênio total encontrado por um fator de 6,25 para obter a porcentagem de proteína na amostra (AOAC, 1990). Pode-se também usar fatores específicos para cada tipo de amostra. Nesse trabalho utilizou-se o fator de correção de 5,3, quantidade de proteína supostamente presente na polpa de coco (IAL, 1985).

A análise de proteína se divide em três partes: digestão da matéria orgânica por ácido sulfúrico; destilação, quando a amônia é liberada do sal amoniacal pela reação com hidróxido e recebida numa solução ácida de volume e concentração conhecidos; e a titulação, em que é determinada a quantidade de nitrogênio presente na amostra titulando-se o excesso do ácido utilizado na destilação com hidróxido.

A amostra foi pesada em papel de seda (aproximadamente 1 g) e o conjunto foi transferido para o balão de Kjeldahl. Foram adicionados 25 mL de ácido sulfúrico e cerca de 6 g de mistura catalítica, e levados ao aquecimento até a solução se tornar azul-esverdeada e livre de material não digerido (pontos pretos). Em seguida foi realizada a destilação. A extremidade afilada do refrigerante foi mergulhada em 25mL de ácido bórico contido em um frasco Erlenmeyer. Ao tubo de Kjeldahl com a amostra digerida foi adicionada solução de hidróxido de sódio a 30 % até garantir um ligeiro excesso de base. A amostra foi destilada até obter cerca de 250 a 300 mL. Por fim, o excesso de ácido sulfúrico 0,05 M foi titulado com solução de hidróxido de sódio 0,1 M, usando vermelho de metila (IAL, 1985). A porcentagem de proteína foi calculada de acordo com a Equação 3.2.

$$\% P = \frac{V \times 0,14 \times f}{m} \times 100 \quad (3.2)$$

Em que,

V = volume (mL) gasto na titulação,

f = fator de conversão (5,3),

m = massa (g) da amostra.

3.2.4 Lipídios

Um cartucho de papel de filtro foi preparado com um diâmetro que se ajustasse ao extrator de Soxhlet. O cartucho foi pesado numa balança analítica até +/-0,1 mg. Adicionou-se aproximadamente 3g de amostra. Os balões de fundo chato foram pesados, certificando-se

que os mesmos estavam limpos e secos e, em seguida, adicionou-se 120 mL de éter de petróleo ao balão. Os balões foram previamente aquecidos à 105°C por uma hora, e esfriados em dessecador.

Após o preparo, o cartucho com a amostra foi inserido no extrator Soxhlet e iniciou-se a extração, controlando a vazão com aproximadamente 4 – 5 gotas/segundo, totalizando 6 horas de extração. Ao final do tempo de extração, os balões foram levados à estufa a aproximadamente 105°C para remover o resíduo do solvente, esfriado e pesado até peso constante, em balança analítica (IAL, 1985). O cálculo foi realizado de acordo com a Equação 3.3

$$\% L = \frac{N}{m} \times 100 \quad (3.3)$$

Na qual,

N = diferença do peso do balão inicial e final (g),

m = massa (g) da amostra inicial.

3.2.5 Fibras

Dois gramas de polpa de coco seca e desengordurada foram transferidos para um balão de fundo chato, acrescentados de 200 mL de solução ácida (H₂SO₄ a 1,25% (p/v)) e levados à ebulição em banho-maria. Após 30 minutos, a amostra foi filtrada em papel de filtro qualitativo. Em seguida, o material foi lavado com aproximadamente 500 mL de água destilada quente e com auxílio de uma solução alcalina (NaOH 1,25% (p/v)), sendo as fibras colocadas novamente ao balão e aquecidas por 30 minutos. Ao final deste período, a fibra foi filtrada novamente em papel de filtro qualitativo previamente pesado e seco em estufa (105°C por 1 hora). A água quente (aproximadamente 500mL) foi utilizada para lavar o papel de filtro e fibras, que em seguida foram lavados com 10 mL de etanol, sendo posteriormente colocadas em estufa a 105°C até peso constante. Ao final, o material foi resfriado em dessecador e o peso foi anotado. A Equação 3.4 foi utilizada para obter a porcentagem de fibra bruta na polpa de coco (AOAC, 1990).

$$\% F_b = \frac{P_f - P_i}{m} \times 100 \quad (3.4)$$

Em que,

P_f = a massa (g) do papel filtro com a fibra,

P_i = massa (g) do papel filtro sem amostra,

m = massa (g) da polpa de coco seca.

3.2.6 pH

As leituras de pH tanto da polpa quanto da água foram determinadas diretamente em pHmêtro previamente calibrado com soluções tampão de pH 4 e 7 (IAL, 1985).

3.2.7 Sólidos Solúveis

Os sólidos solúveis foram determinados por refratometria com a adição de algumas gotas de amostra de polpa e de água de coco verde em refratômetro digital para a leitura da concentração de sólidos solúveis em graus Brix, referente à temperatura em que foi realizada a leitura.

3.2.8 Acidez

Foi pesado 5 gramas da polpa e da água de coco verde em um Erlenmeyer de 125mL e adicionados 100 mL de água destilada e 3 gotas de solução de fenolftaleína. A titulação foi feita com solução de hidróxido de sódio 0,1M até que a solução presente no Erlenmeyer se tornasse rósea (IAL, 1985). O cálculo foi realizado de acordo com a Equação 3.5.

$$\% A = \frac{V \times f \times M}{m} \times 100 \quad (3.5)$$

Na qual,

V = volume (mL) gasto na titulação,

f = fator de correção da solução,

M = molaridade da solução de NaOH,

m = massa (g) da amostra.

3.3. Isotermas de adsorção

O conteúdo de umidade de equilíbrio foi determinado pelo método estático gravimétrico (JOWITT *et al.* 1983) seguindo os procedimentos para a obtenção de isotermas de adsorção para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C. A polpa de coco verde foi previamente seca em estufa a vácuo por 48 horas. Os experimentos foram realizados em triplicata, empregando-se amostras de 1 g da polpa de coco seca (Figura 3.2.a). Dez soluções salinas saturadas com umidades relativas na faixa de 2 a 90% foram utilizadas (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Atividade de água de soluções salinas saturadas em função da temperatura (LABUZA *et al.*, 1985; YOUNG, 1967).

Atividade de água (%)					
Temperatura (°C)					
Sais	30	40	50	60	70
NaOH	0,069	0,066	0,059	0,045	0,02
LiCl	0,112	0,111	0,11	0,11	0,11
KC ₂ H ₃ O ₂	0,223	0,206	0,189	0,175	0,162
MgCl ₂	0,324	0,319	0,314	0,307	0,294
K ₂ CO ₃	0,439	0,432	0,432	0,432	0,432
Mg(NO ₃) ₂	0,526	0,506	0,489	0,473	0,458
NaNO ₂	0,635	0,615	0,599	0,59	0,587
NaCl	0,756	0,753	0,746	0,74	0,739
KCl	0,835	0,82	0,809	0,8	0,795
BaCl ₂	0,9	0,893	0,884	0,876	0,87

Amostras com massa inicial conhecida de polpa de coco verde desidratada foram colocadas sobre um recipiente de plástico suportado por um tripé e inseridas no interior de potes herméticos contendo soluções salinas saturadas dos sais apresentados na Tabela 3.1. Os potes foram fechados e mantidos em estufa com circulação de ar e temperatura controlada (Figura 3.2.b). Foram realizadas quantificações semanais das massas das amostras em balança analítica de exatidão $\pm 0,0001$ g, até atingirem massa constante. Após o equilíbrio, a umidade de equilíbrio foi obtida em estufa a vácuo por 60°C até peso constante.



Figura 3.2. a) Amostras em triplicatas de polpa de coco seca. b) Potes herméticos em estufas com temperatura controlada.

Os resultados das umidades de equilíbrio foram plotados em função da atividade de água. Os dados experimentais foram ajustados com o auxílio do software gráfico *Origin 6.0 Professional* com os modelos matemáticos de BET (Equação 2.2) e de GAB (Equação 2.4), um dos mais utilizados para produtos alimentícios, e o modelo empírico de Halsey modificado (Equação 2.7). Assim, é possível encontrar o modelo que melhor se ajuste aos dados experimentais, permitindo a determinação da umidade de monocamada através de seus parâmetros. O valor de umidade da monocamada (X_m) é de particular interesse, já que indica o conteúdo de água que está fortemente adsorvida em sítios específicos na superfície do alimento, sendo considerado o conteúdo ótimo de umidade para que se assegure a estabilidade do alimento (MARTINELLI, 2008).

3. 4. Definição da composição de secagem

3.4.1. Teste da aderência de filmes de polpa de coco e preparações com aditivos em superfícies inertes

O teste de aderência de filmes de polpa de coco e preparações com aditivos em superfícies inertes é um ensaio preliminar empregado para se avaliar a influência de aditivos no processo de secagem da polpa de coco. As concentrações de aditivos utilizadas na polpa estão de acordo com a quantidade máxima permitida pela Portaria nº 540 - SVS/MS, de 27 de outubro de 1997 que aprova o regulamento técnico: Aditivos Alimentares – definições, classificação e emprego.

Pequenas lâminas de material inerte (teflon, vidro e aço inox), previamente submetidas a tratamento térmico em estufa a 105 °C por 1 hora para remoção da umidade superficial, foram posicionadas em um suporte. A partir da polpa de coco homogeneizada (descrita na seção 3.1) foram elaboradas 10 formulações, contendo diferentes concentrações de aditivos. As formulações elaboradas estão apresentadas na Tabela 3.2. Após o preparo, uma fina

camada de polpa de coco e suas preparações com os aditivos (dióxido de silício coloidal, maltodextrina DE 10, e amido modificado) foram uniformemente espalhadas (aproximadamente 0,10 mm) sobre as superfícies inertes e submetidas à secagem durante uma hora e meia em estufa de circulação de ar às temperaturas de 40, 50, 60, 70°C. Ao final da secagem, as amostras foram analisadas quanto à facilidade de desprendimento das placas (análise visual), sendo o comportamento registrado por fotografias.

Tabela 3.2. Formulações utilizadas nos testes de aderência

Formulações	Polpa de Coco (%)	Maltodextrina DE 10 (%)	Amido Modificado (%)	SiO₂ (%)
A1	100	0	0	0
A2	99,97	0,03	0	0
A3	90	10	0	0
A4	80	20	0	0
A5	99,97	0	0,03	0
A6	90	0	10	0
A7	80	0	20	0
A8	99,97	0	0	0,03
A9	90	0	0	10
A10	80	0	0	20

3.4.2. Ensaios preliminares de secagem em leito de jorro

A partir dos resultados obtidos do teste de aderência, a composição que apresentou melhores resultados foi selecionada para a secagem em leito de jorro.

Os ensaios de secagem foram conduzidos em um equipamento para a secagem de pastas, soluções e suspensões, tipo leito de jorro cônico-cilíndrico, construído no Laboratório de P&D em Processos Farmacêuticos (LAPROFAR) do Departamento de Ciências Farmacêuticas da USP de Ribeirão Preto (Figura 3.3).



Figura 3.3. Secador de leito de jorro

O secador de leito de jorro (Figura 3.3) consiste em uma base cônica com um ângulo interno 40° e um orifício de entrada do gás de secagem com diâmetro de 33 mm. Uma coluna cilíndrica com um diâmetro de 150 mm e altura de 400 mm é conectada à base cônica do secador. A parte superior do equipamento é composta de um cone e um ciclone. Todas as peças são feitas de aço inoxidável. Os principais componentes do sistema são um ventilador de 7,5 HP, um medidor de vazão, um aquecedor elétrico e um controlador de temperatura. O sistema de alimentação consiste de um atomizador duplo de fluido com mistura interna (orifício 0,8 mm), uma bomba peristáltica e um compressor de ar. Termopares, transdutores de pressão e um psicrômetro foram empregados na instrumentação do secador.

Foram realizados experimentos em diferentes condições, todos eles iniciados com a introdução de uma quantidade de partículas inertes no equipamento, seguida de injeção de ar na base do leito e início do aquecimento do ar. Frascos coletores de pó foram previamente pesados e acoplados ao secador a fim de determinar a massa de produto seco recuperado durante a secagem. Com o início do aquecimento, iniciou-se a alimentação de água ao secador, para sua estabilização. Para ajustar a vazão da polpa, a bomba peristáltica foi anteriormente calibrada utilizando-se água. Após atingir a estabilidade das condições de secagem, o processo de secagem foi iniciado com alimentação contínua da polpa de coco,

sendo monitorado o tempo de processo. O becker contendo a polpa de coco preparada foi previamente pesado para que ao final a massa de polpa alimentada pudesse ser constatada. Ao final da alimentação, o produto obtido no ciclone foi recuperado em um frasco e as esferas retiradas para pesagem, visando a determinação do acúmulo de produto no sistema.

Para o controle e aquisição dos dados de temperatura de entrada e saída do ar foram acoplados termopares no secador, e a variação de perda de carga também foi monitorada no processo por meio de transdutores de pressão. Durante os ensaios de secagem foram feitas medidas das umidades relativas e temperatura ambiente com auxílio de um termohigrômetro digital, Minipa (modelo MTH-1361).

Outros aditivos de secagem foram acrescentados à formulação previamente selecionada com o objetivo de aumentar o rendimento do processo, em termos de recuperação de produto seco. Para tanto, foram utilizados a carboximetilcelulose (CMC) e o Tween 80. O Tween 80 é especificamente um ester de ácido oleico industrial conjugado com aproximadamente 20 unidades de óxido de etileno por molécula. Este surfactante é principalmente empregado para estabilizar ou solubilizar agentes em medicamentos e produtos farmacêuticos e também considerado um aditivo alimentar bem estabelecido devido ao seu custo atraente e toxicidade relativamente baixa (SIMÕES *et al.* 2005).

A Tabela 3.3 apresenta as formulações e as condições de secagem empregadas. Para o ensaio B1 foi utilizada a formulação com melhor resultado do teste de aderência, e para os dois outros ensaios (B2 e B3) foram testados os aditivos carboximetilcelulose (CMC) e Tween 80. Nesses três ensaios foram mantidas constantes: temperatura (T) de 90°C, vazão do ar (Q) de 1,20m³/min, vazão da alimentação da polpa (W_{susp}) de 6 g/min e altura do leito estático (H₀) de 7cm.

Tabela 3.3. Formulações utilizadas nos testes preliminares de secagem em leito de jorro.

Formulações	Amido modificado (%)	CMC (%)	Tween80 (%)
B1	20	-	-
B2	10	10	-
B3	20	-	0,2

3.4.3. Seleção dos aditivos de secagem

Os resultados dos testes preliminares foram utilizados para aprofundamento da pesquisa dos possíveis aditivos a serem utilizados em alimentos e seus comportamentos que auxiliam na secagem em leito de jorro.

A partir dos resultados dos testes do item anterior, foram realizados outros ensaios de estabilidade e não aderência às placas de material inertes com 15 diferentes formulações utilizando o Tween 80 e a maltodextrina DE 10 como aditivos (Tabela 3.4), devido à facilidade de secagem e melhoria na qualidade do produto final.

Tabela 3.4. Formulações de polpa e aditivos utilizadas na secagem em leito de jorro.

Formulações	Maltodextrina (%)	Tween 80 (%)
C1	0	0,5
C2	50	0,5
C3	100	0,5
C4	150	0,5
C5	200	0,5
Formulações	Maltodextrina (%)	Tween 80 (%)
C6	0	1
C7	50	1
C8	100	1
C9	150	1
C10	200	1
Formulações	Maltodextrina (%)	Tween 80 (%)
C11	0	1,5
C12	50	1,5
C13	100	1,5
C14	150	1,5
C15	200	1,5

Primeiramente, foram adicionadas à polpa de coco as quantidades de maltodextrina em solução a 50% e mantidas sob agitação de 14000 rpm durante 2 minutos em Turrax[®]. Em seguida foram adicionadas Tween 80[®], sendo submetidas à agitação em agitador magnético por mais 5 minutos. A estabilidade da emulsão foi analisada visualmente em intervalos de duas horas. As formulações que apresentaram um melhor comportamento foram selecionadas para o teste de aderência em placas de Teflon e vidro assim como descrito na seção 3.4.1.

3.5. Operações finais de secagem em leito de jorro

3.5.1. Caracterização Fluidodinâmica dos Secadores de Leito de Jorro

A caracterização fluidodinâmica do equipamento foi realizada anteriormente por Souza (2003), em que foram determinados os parâmetros fluidodinâmicos globais do leito de jorro, velocidade de jorro mínimo, queda de pressão máxima e queda de pressão do jorro estável a partir de gráficos de queda de pressão em função da vazão de gás introduzida ao sistema. As variáveis utilizadas foram a altura do leito estático (7 cm e 10,5cm) e Teflon como partículas inertes. Essas faixas operacionais foram realizadas de acordo com a literatura e com a capacidade do equipamento do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento em Processos Farmacêuticos da FCFRP/USP.

3.5.2. Procedimento de secagem em leito de jorro

As formulações que apresentaram menor aderência às placas foram selecionadas para secagem em leito de jorro. A Tabela 3.5 apresenta as variáveis: altura de leito estático (H_0), ângulo estático do secador (γ), temperatura do gás de entrada (T_{ge}) e vazão do ar (Q) e faixas operacionais investigadas.

Os experimentos de secagem realizados e condições de operação utilizadas estão apresentados na Tabela 3.6 que apresenta os números dos ensaios (de 01 a 08), a porcentagem de maltodextrina DE 10 utilizada, a quantidade de Tween 80, a temperatura do gás de entrada (T_{ge}), a altura de leito estático (H_0) e a vazão da alimentação (W_s).

Tabela 3.5 Variáveis e condições operacionais de secagem

Equipamento	Material Inerte	Variável	Faixa	Unidade
Leito de jorro convencional	Teflon [®]	H ₀	7 e 10,5	cm
		γ	40	graus
		T _{ge}	70 e 90	°C
		Q	1,20 e 1,85	m ³ /min

Tabela 3.6 Planejamento experimental 2³ – condições de secagem da polpa de coco em leito de jorro.

Exp	Maltodextrina		Tween80 (%)	T _{ge} (°C)	H(cm)	W _s (g/min)
	DE10 (%)					
01	50		1,5	70	7	6
02	100		1,5	70	7	6
03	50		1,5	90	7	6
04	100		1,5	90	7	6
05	50		1,5	70	10,5	9
06	100		1,5	70	10,5	9
07	50		1,5	90	10,5	9
08	100		1,5	90	10,5	9

*conservante: ácido ascórbio e ácido cítrico

O desempenho do secador de leito de jorro foi avaliado pela determinação da recuperação de produto (R), da taxa de acúmulo de material na superfície do material inerte e no interior do secador durante a secagem (A_c), e pela elutriação de produto (E), segundo metodologia apresentada em SOUZA (2003), apresentadas a seguir.

3.5.2.1. Recuperação do Produto

O rendimento do processo foi avaliado pela recuperação do produto, determinada pela relação percentual entre a massa de pó total coletada pelo ciclone e a massa de sólidos alimentada no equipamento (Equação 3.6).

$$R(\%) = \frac{M_c \times (1 - X_p)}{W_s C_s \theta} \times 100 \quad (3.6)$$

Na qual:

R – recuperação do produto (%)

M_c – massa de produto coletado (g)

X_p – umidade do produto (g)

W_s – vazão de suspensão alimentada (g)

C_s – concentração de sólidos totais (g)

θ – tempo de processo (min)

3.5.2.2. Acúmulo do produto no leito

O acúmulo do produto (Equação 3.7) foi determinado pesando as partículas inertes antes e depois de cada experimento de secagem, acrescentando-se a massa do pó preso na câmara de secagem e no ciclone do secador que foram retiradas manualmente com a utilização de espátulas e pesadas separadamente.

$$A_c (\%) = \frac{M_{as} + (M_{pf} - M_{pi})}{W_s C_s \theta} \frac{1 - X_p}{1} \times 100 \quad (3.7)$$

Em que:

A_c – taxa de acúmulo do produto (g)

M_{as} - massa de pó aderida ao secador (g)

M_{pi} – massa de partículas inertes inicial (g)

M_{pf} – massa de partículas inertes final (g)

X_p - umidade do produto (g)

W_s – vazão de suspensão alimentada (g)

C – concentração de sólidos totais (g)

θ – tempo de processo (min)

3.5.2.3. Elutriação

A elutriação (Equação 3.8) é a quantidade de produto perdido durante a secagem, arrastada junto com o gás efluente do sistema.

$$E(\%) = 100 - (R(\%) + A_c(\%)) \quad (3.8)$$

Em que:

E – taxa de elutriação do produto (%)

R – recuperação do produto (%)

Ac – taxa de acúmulo do produto (g)

3.6. Análise das propriedades do produto final

3.6.1. Umidade do pó

A umidade residual da polpa de coco em pó foi analisada como descrito na seção 3.2.1.

3.6.2. Densidade aparente e de compactação

A densidade aparente ou densidade bruta da polpa de coco em pó foi realizada, em triplicata, através da medição do volume ocupado por 10 gramas do produto em uma proveta de 50mL. A densidade de compactação foi também determinada em triplicata após o pó contido na proveta ser submetido a 250 quedas (POP, 2011).

3.6.3. Solubilidade

A solubilidade em água da polpa de coco em pó foi determinada de acordo com a metodologia descrita por WANG, LU e LV (2009). Em um becker de 100 mL foi feita uma solução em água deionizada a 40 °C (0,3 % w/v) das amostras secas. A solução foi agitada com agitador magnético até solubilização completa do pó, mantendo a temperatura de 40 °C. As amostras foram consideradas solúveis quando o tempo de solubilização não foi superior a 5 minutos através do teste visual. Os ensaios foram conduzidos em triplicata.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises físico-químicas da polpa de coco verde

Os resultados das análises de umidade, açúcares redutores totais (ART), lipídios, cinzas, proteínas e fibras da polpa de coco verde estão apresentados na Tabela 4.1 e são imprescindíveis para entender o comportamento desta matéria-prima durante o processo de secagem, e quais aditivos podem ser adicionados para melhorar o desempenho da secagem em leite de jorro. Esses resultados obtidos foram comparados com resultados encontrados na literatura para polpa de coco verde, água de coco e leite de coco industrializado.

Tabela 4.1. Propriedades físico-químicas da polpa de coco verde determinadas experimentalmente, comparadas com resultados apresentados na literatura para polpa de coco verde e seus derivados.

	Umidade (%)	ART (%) (p/v)	Lipídios (%)	Cinzas (%)	Proteína (%)	Fibras (%)
Polpa de coco verde (analisada)	92,65	3,31	2,21	0,45	0,02	0,82
Água de coco*	94,30	5,30	Traços	0,50	Traços	0,10
Leite de coco*	78,00	2,20	18,40	0,40	1,00	0,70
Polpa coco verde*	43,70	9,80	41,70	1,00	3,80	5,00
Polpa coco verde**	76,15	-	15,33	0,53	2,77	-

*Fonte: TACO. Tabela de composição de alimentos. 2ª Edição. Campinas 2006.

**Fonte: OLIVEIRA *et al.* (2010)

O teor de umidade encontrado para a matéria-prima estudada foi de 92,65% com desvio padrão de 0,01, valor próximo do teor de umidade da água de coco (94,3%), diferindo dos valores reportados para polpa do coco verde (43% e 76,15%). Este resultado pode ser devido à diferença entre os estágios de maturação do fruto analisado neste trabalho e dos frutos utilizados por TACO (2006) e por OLIVEIRA *et al* (2010), que segundo os autores apresentavam idade aproximada de 11 meses, indicando estar em um estágio de amadurecimento mais avançado do que os frutos estudados neste trabalho, destinados as indústrias de água de coco.

A quantidade de açúcares redutores totais encontrada foi de 3,310%, com desvio padrão de 0,004. Essa quantidade se encontra abaixo do fornecido pela TACO (2006), tanto para a polpa de coco quanto para a água de coco. Entretanto, em base seca, o teor de açúcares redutores corresponde a 24,36%, sendo o componente presente em maior quantidade nos sólidos da polpa de coco.

Analisando a quantidade de lipídios presentes, 2,20% com desvio padrão de 0,03, observa-se que estes também se encontram abaixo dos valores reportados na literatura, sendo valores que vão aumentando de acordo com o grau de amadurecimento do fruto. Em base seca, o teor de lipídios presente corresponde a 16,22%, totalizando, juntamente com o resultado dos açúcares redutores totais, a maior parte dos sólidos da polpa. ROCHA e TARANTO (2008) mostram que para a obtenção de um processo de secagem em leito de jorro eficiente, o conhecimento da composição química das polpas de frutas, principalmente dos açúcares redutores e dos lipídios, é fundamental. Os resultados obtidos nessa caracterização evidenciam a necessidade de ensaios de formulação para a secagem desta matéria-prima, já que ambos os elementos interferem negativamente no processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro (SOUZA, 2009).

A quantidade de fibras (0,82% com desvio padrão de 0,01), assim como a quantidade de cinzas (0,45% com desvio padrão de 0,03), foram muito próximas dos valores reportados por TACO (2006) para água de coco e leite de coco industrializado. LIMA *et al.* (2000) observaram a composição de algumas frutas tropicais na produção de pó através de secagem em leito de jorro, e avaliaram a influência do conjunto lipídios-açúcares redutores- fibras no desempenho do secador.

As proteínas apresentaram um resultado baixo, indicando apenas “traços” deste componente na polpa de coco, assim como os valores encontrados água de coco (TACO, 2006).

Para o conhecimento da idade do fruto realizou-se a análise de sólidos solúveis totais, pH e acidez da polpa de coco e principalmente da água de coco. CARVALHO, FERNANDES e PIRES (2006) analisaram as características de água de coco de frutos em diferentes estágios de maturação, e OLIVEIRA *et al.* (2010) analisou as características do albúmen sólido do coco, chegando a uma conclusão da idade do fruto.

Os valores de sólidos solúveis totais (SST) foram de 9,3 °Brix para a polpa de coco e 8,9 °Brix para a água de coco. Os valores referentes à polpa apresentam-se inferiores aos encontrados por OLIVEIRA *et al.* (2010) que foram de 16 °Brix e umidade de 76,15%, indicando que, provavelmente, o fruto utilizado por estes autores se encontravam em um estágio de maturação mais avançado do que o estudado neste trabalho, o que poderá ser comprovado com a análise de SST juntamente com os resultados de pH e acidez tanto da polpa quanto da água de coco verde. Tais valores podem interferir na formação do pó durante a secagem, levando a uma redução do rendimento e aumentando a aglomeração das partículas inertes dentro do secador.

O pH para a polpa de coco verde homogeneizada foi de 6 e o valor de pH para a água de coco foi de 4,7. O pH da polpa foi reduzido para 4,5 com a adição de ácido cítrico e ácido ascórbico para a inibição de escurecimento enzimático e crescimento microbiano, o que é permitido pela legislação (BRASIL, 2002). Após a redução do pH, a polpa de coco, segundo a classificação de RIBEIRO e SEVERALLI (2001) passou de alimento de baixa acidez (pH > 4,5) para alimento ácido (pH entre 4 e 4,5). MEDEIROS (2001) afirma que a redução do pH (abaixo de 3) pode alterar as propriedades dos alimentos quando realizadas em alimentos com grande quantidade de açúcares redutores, podendo influenciar no processo de secagem.

O principal ácido encontrado na água de coco e na polpa é o ácido málico (SREBERNICH, 1998). A acidez encontrada foi de 0,6 mL/100mL de polpa de coco e 0,8 mL/100mL de água de coco.

A partir dos resultados encontrados, pode-se dizer que o fruto estudado neste trabalho encontrava-se com uma idade de aproximadamente 7 meses, de acordo com os resultados apresentados por CARVALHO, FERNANDES e PIRES (2006) onde um fruto com 7 meses de idade possuía pH da água de coco entre 4,7 a 4,9; acidez de 0,8 a 1,2 mL/100mL; e SST de 5,2 a 8,9 °Brix.

4.2. Isotermas de adsorção

Os dados de umidade de equilíbrio (U_{eq}) obtidos através das isotermas de adsorção nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C para a polpa de coco verde desidratada estão apresentados na Tabela 4.2, na qual cada valor de umidade de equilíbrio (U_{eq}) representa a média da triplicata realizada. Pode-se observar que com o aumento da temperatura, ocorreu a diminuição da umidade de equilíbrio em um mesmo valor de atividade de água, indicando que

a polpa de coco se torna menos higroscópica nessas condições (IGLESIAS e CHIRIFE, 1995). Porém, para atividades de água maiores que 0,8 ocorre a inversão do comportamento esperado na umidade de equilíbrio entre as temperaturas de 60 e 70 °C. Os mesmos resultados foram encontrados por TELIS *et al.* (2000) para a casca e polpa de caqui, bem como em YOSHIDA (1996) para isothermas de adsorção de umidade de pó de milho superdoce liofilizado, e em PARK, BIN e BROD (2001) para pêra desidratada. Esses resultados podem estar relacionados com o fato da temperatura afetar a mobilidade das moléculas de água e também o equilíbrio dinâmico entre as fases de vapor e a adsorvida (AL-MUHTASEB MCMINN e MAGEE, 2004). Segundo RIZVI (1995), a composição dos alimentos pode influenciar na diminuição da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura a determinada atividade de água. A alta concentração de açúcares presentes na polpa de coco pode ter sido a responsável para a inversão de comportamento das isothermas às altas atividades de água.

Tabela 4.2. Dados de umidade de equilíbrio obtidos através das isothermas de adsorção nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C.

Temperatura (°C)									
30		40		50		60		70	
a_w	U_{eq} (g/g)	a_w	U_{eq} (g/g)	a_w	U_{eq} (g/g)	a_w	U_{eq} (g/g)	a_w	U_{eq} (g/g)
0,069	0,012	0,066	0,008	0,059	0,006	0,045	0,004	0,020	0,001
0,112	0,020	0,111	0,014	0,110	0,012	0,110	0,010	0,110	0,009
0,223	0,042	0,206	0,033	0,189	0,024	0,175	0,017	0,162	0,013
0,324	0,066	0,319	0,053	0,314	0,047	0,307	0,035	0,294	0,030
0,439	0,102	0,432	0,085	0,432	0,078	0,432	0,068	0,432	0,057
0,526	0,139	0,506	0,108	0,489	0,095	0,473	0,080	0,458	0,067
0,635	0,204	0,615	0,180	0,599	0,156	0,590	0,134	0,587	0,119
0,756	0,345	0,753	0,309	0,746	0,298	0,740	0,267	0,739	0,253
0,835	0,524	0,820	0,425	0,809	0,407	0,800	0,374	0,795	0,345
0,900	0,785	0,893	0,720	0,884	0,701	0,876	0,591	0,870	0,606

As Figuras 4.1, 4.2, e 4.3 apresentam os ajustes dos resultados experimentais através dos modelos de GAB, BET e Halsey modificado, respectivamente. As curvas obtidas são consideradas isothermas do tipo III típicas de alimentos ricos em componentes solúveis, tais

como café, maçã, banana, abacaxi e soluções com alto teor de açúcares, de acordo com a classificação de BRUNAUER *et al.* (1940).

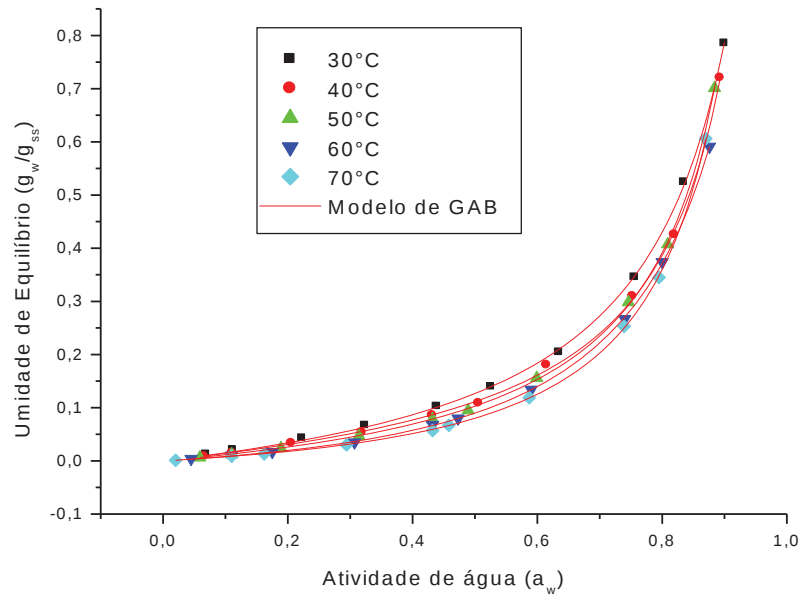


Figura 4.1. Isotermas de adsorção com ajuste do modelo de GAB.

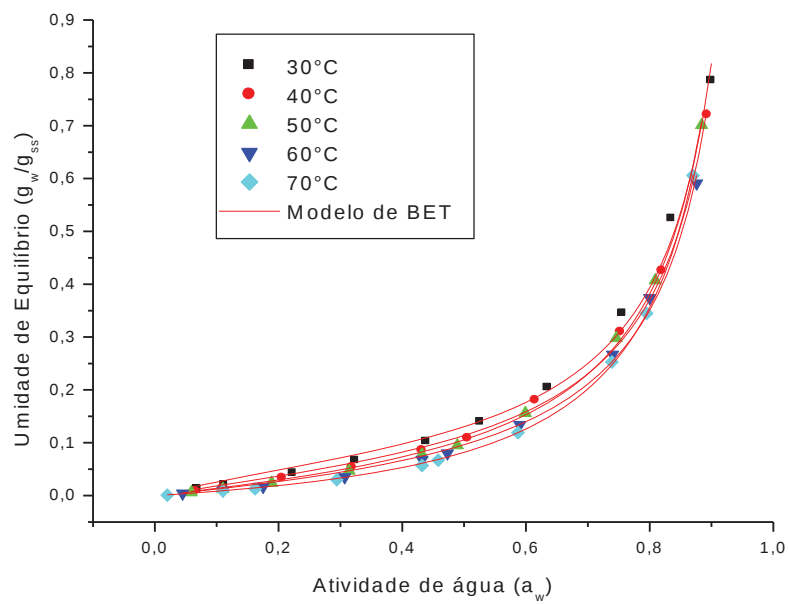


Figura 4.2. Isotermas de adsorção com ajuste do modelo de BET.

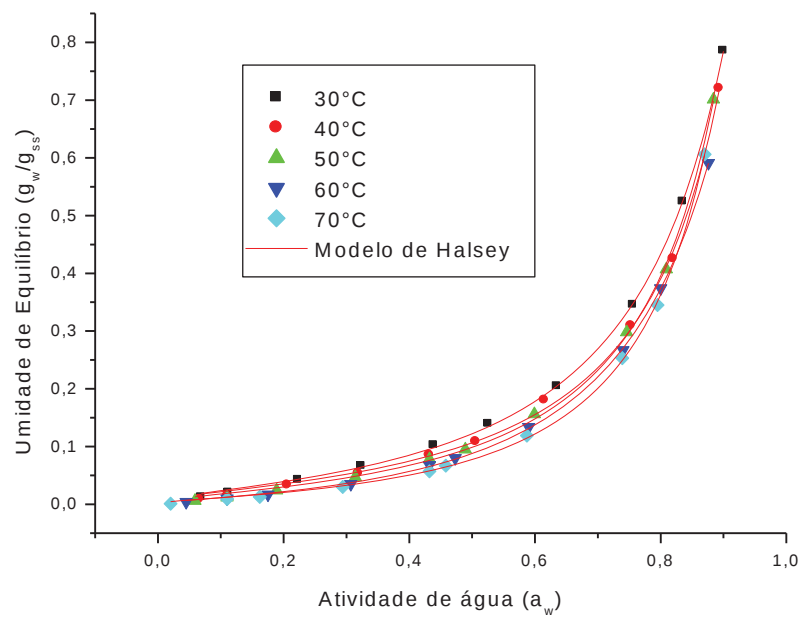


Figura 4.3. Isotermas de adsorção com ajuste do modelo de Halsey modificado.

A partir dos ajustes, construiu-se a Tabela 4.3 com os parâmetros dos modelos, coeficiente de determinação (R^2) e desvio percentual médio (P).

Tabela 4.3. Parâmetros dos ajustes dos modelos de GAB, BET e Halsey modificado

Modelos	Parâmetros	Temperatura (°C)				
		30	40	50	60	70
GAB	C	1,0923	1,3032	0,9894	0,4273	0,6200
	K	0,9470	0,9756	0,9806	0,9168	0,9877
	X_m	0,1347	0,1031	0,1077	0,1832	0,1077
	P	4,7322	5,0663	2,9082	3,2914	5,5360
	R^2	0,9998	0,9995	0,9998	0,9999	0,9999
BET	C	3,3931	2,2226	1,4419	1,3876	0,7637
	X_m	0,0845	0,0825	0,1365	0,0829	0,0945
	P	17,1185	15,6674	66,2291	16,7064	8,0644
	R^2	0,9932	0,9980	0,9992	0,9965	0,9998
Halsey-modificado	K	0,2131	0,1645	0,1786	0,2710	0,1841
	C	1,1551	1,0991	1,1073	1,2463	1,1124
	R	0,6512	0,6997	0,6453	0,5000	0,5749
	P	9,8807	21,3282	21,1496	11,9438	45,2482
	R^2	0,9998	0,99867	0,9992	0,9999	0,9997

Observando os ajustes dos modelos apresentados na Tabela 4.3 nota-se que os três modelos testados apresentam R^2 superior a 0,99. Comparando-se o modelo de GAB com o modelo de BET, observa-se que o R^2 do primeiro é mais próximo de 1,0 e apresenta $P \leq 5$. Segundo TIMMERMAN, *et al.* (2001), os modelos de GAB e BET estão intimamente relacionados, sendo o modelo de GAB uma extensão do modelo BET. Entretanto, o modelo de GAB abrange faixa de atividade de água de 0,05 até 0,95.

Comparando-se os modelos de GAB e de Halsey modificado, nota-se que, além do modelo de GAB ser utilizado para faixas de atividades de água entre 0,05 e 0,95 e o de Halsey modificado utilizado em atividades de água entre 0,05 e 0,8, os parâmetros do primeiro, X_m e K , possuem significados físicos. Portanto, o modelo de GAB foi o que melhor se ajustou em comparação com os outros dois modelos avaliados. O modelo de GAB também apresentou

ótimo ajuste para isotermas de adsorção de cajá em pó, em estudo realizado por SILVA, MATA e DUARTE (2005).

Analisando os valores da umidade de monocamada (X_m) no modelo de GAB, observa-se um aumento deste parâmetro com o aumento da temperatura entre as temperaturas de 40 e 60°C, o que pode ser explicado pela facilidade das moléculas de água formar uma monocamada na superfície do alimento (AL-MUHTASEB MCMINN e MAGEE, 2002). O mesmo comportamento foi notado por YOSHIDA (1997) para milho super doce, para uvas por MISHRA, ORAIKUL, TEMELLI (1996), por ALEXANDRE (2005) para pitanga em pó e FERREIRA e PENA (2003) para farinha de pupunha.

O parâmetro C do modelo de GAB que é função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água também sofreu influência da temperatura, diminuindo com o aumento de temperatura. O parâmetro K , que representa o fator de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido, apresentou valores entre 0,91 e 0,99 e não sofreu grande influência da temperatura, diferentemente do comportamento observado por ALEXANDRE (2005) para pitanga em pó, COSTA, MEDEIROS e MATA (2003) para beterraba, cenoura e abóbora em pó, em que o parâmetro K diminuiu com o aumento da temperatura. FERNANDEZ (1995) relata que valores de K menores que 1,0 caracterizam produtos alimentícios.

4.2.1 Calor isostérico de sorção

Para o cálculo do calor isostérico de sorção foram utilizados os dados das isotermas de adsorção da polpa de coco e utilizado o melhor modelo que se ajustou aos dados, no caso, o modelo de GAB.

Primeiramente foram calculadas as isósteres (Figura 4.4) com valores de umidade escolhidos arbitrariamente dentro da faixa experimental encontrada nas isotermas. Para cada valor de atividade de água foi calculado o logaritmo neperiano e relacionados com os valores inversos das temperaturas (K^{-1}). É possível observar uma dependência da temperatura na Figura 4.4, pois a atividade de água aumenta com o aumento da temperatura. Um ajuste linear foi realizado onde o coeficiente angular foi utilizado para o cálculo de q_{st} para cada valor de umidade através da Equação 2.8.

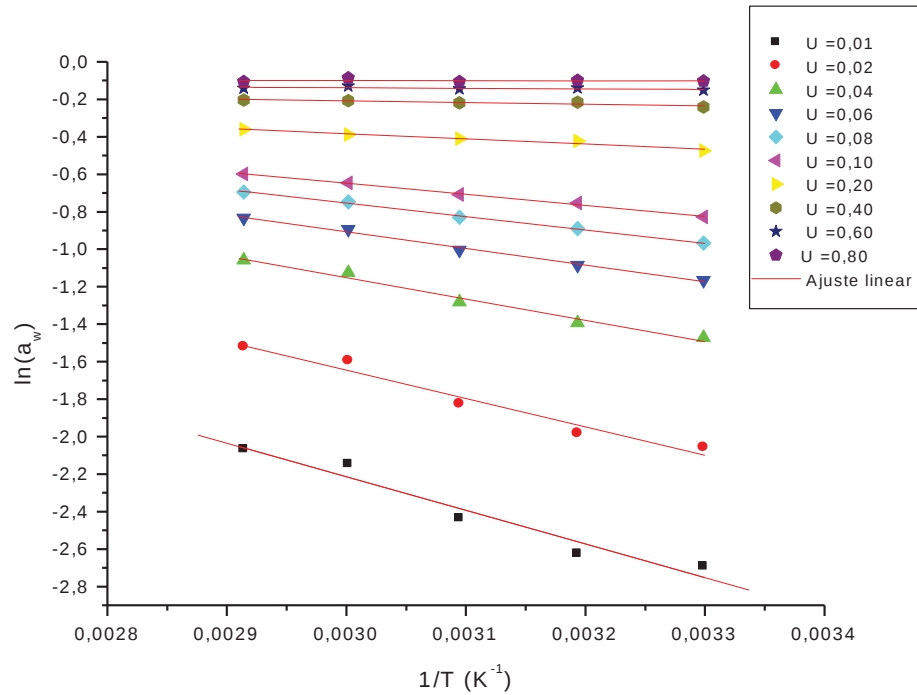


Figura 4.4. Isósteres das isotermas de adsorção da polpa de coco verde

A relação entre o calor isostérico e o conteúdo de umidade da polpa de coco está apresentado na Figura 4.5, que representa aumento do calor isostérico com a diminuição do conteúdo de umidade da polpa de coco. Tal comportamento é uma indicação de fortes interações entre a água e componentes da polpa, já que o calor isostérico representa a energia necessária para remover água dos alimentos. Resultados similares foram também observados para abacaxi (SIMAL *et al.* 2006), polpa e casca de caqui (TELIS *et al.* 2000), sementes de melão (AVIARA e AJIBOLA, 2002), e grãos de milho (SAMAPUNDO *et al.*, 2007).

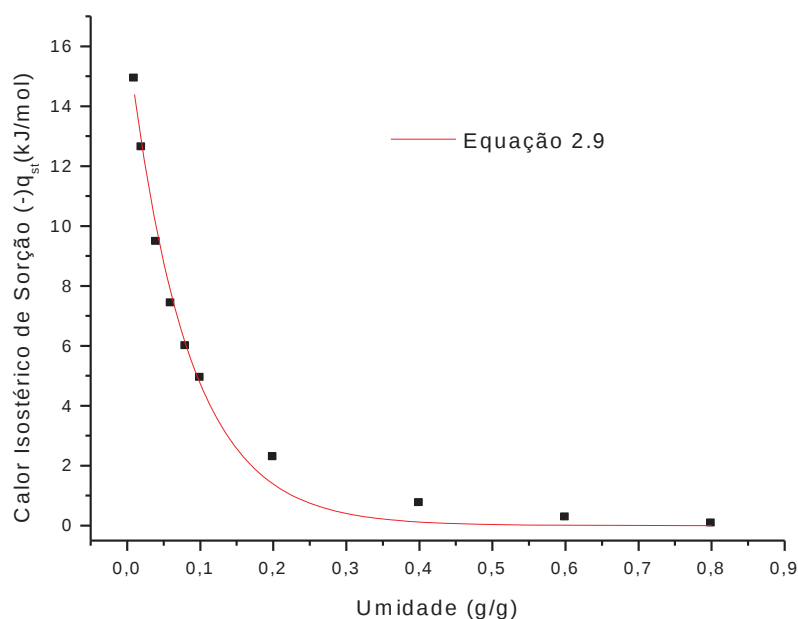


Figura 4.5. Calor isotérico de sorção para polpa de coco verde.

Os dados experimentais do calor isotérico de adsorção apresentados na Figura 4.6 para polpa de coco verde foram ajustados através da equação exponencial empírica (Equação 2.9) aplicada por TSAMI *et al.* (1990) e seus parâmetros estão na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Parâmetros de ajuste do modelo proposto por TSAMI *et al.* (1990).

Parâmetro	Polpa de Coco
q_0 (kJ/mol)	16,281
X_0 (kg/kg)b.s.	0,0811
R^2	0,992

Os valores de q_0 fornecem informações importantes tanto sobre as interações físico-químicas dos componentes dos alimentos com a água, quanto do estado da água dentro do alimento (BOQUET, IGLESIAS e CHIRIFE, 1978). Os resultados para q_0 e X_0 aproximam-se dos resultados encontrados por TSAMI *et al.* (1990) de 10,3 kJ/mol e 0,06 kg/kg (b.s), respectivamente, no estudo de damasco desidratado.

4. 3. Definição da composição de secagem

4.3.1. Teste da aderência de filmes de polpa de coco e preparações com aditivos em superfícies inertes

O teste de aderência foi realizado assim como descrito no item 3.4. As Figuras 4.6 a 4.10 apresentam as imagens obtidas dos ensaios realizados, para as formulações avaliadas.



Figura 4.6. Diferentes formulações de polpa de coco dispostas em placas de vidro, teflon e aço inoxidável.

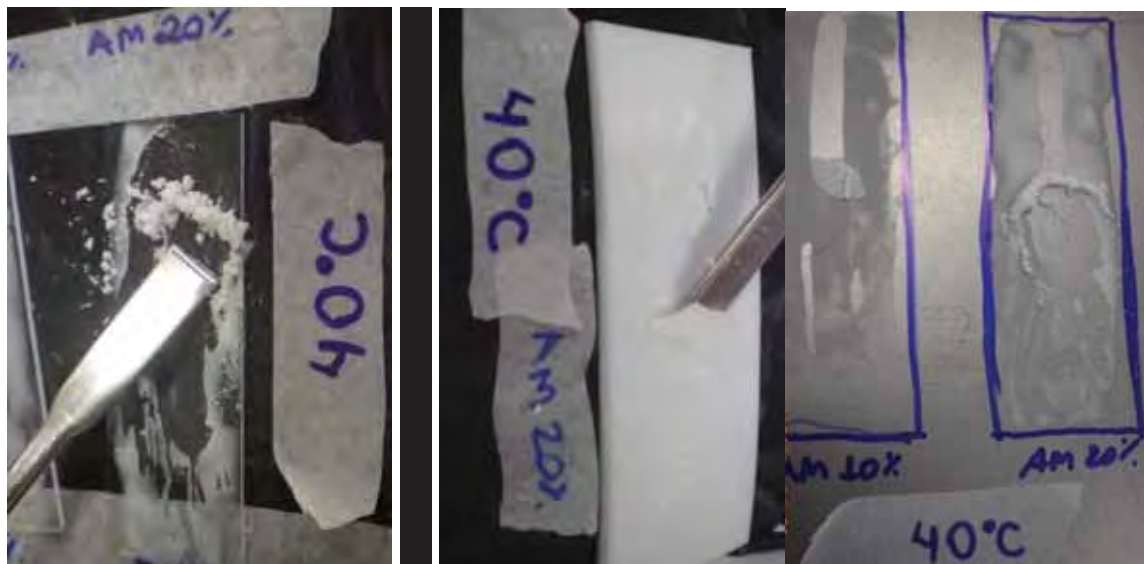


Figura 4.7 Formulação A7 (20% de amido modificado) seca a 40°C em placa de vidro, teflon e aço inoxidável.

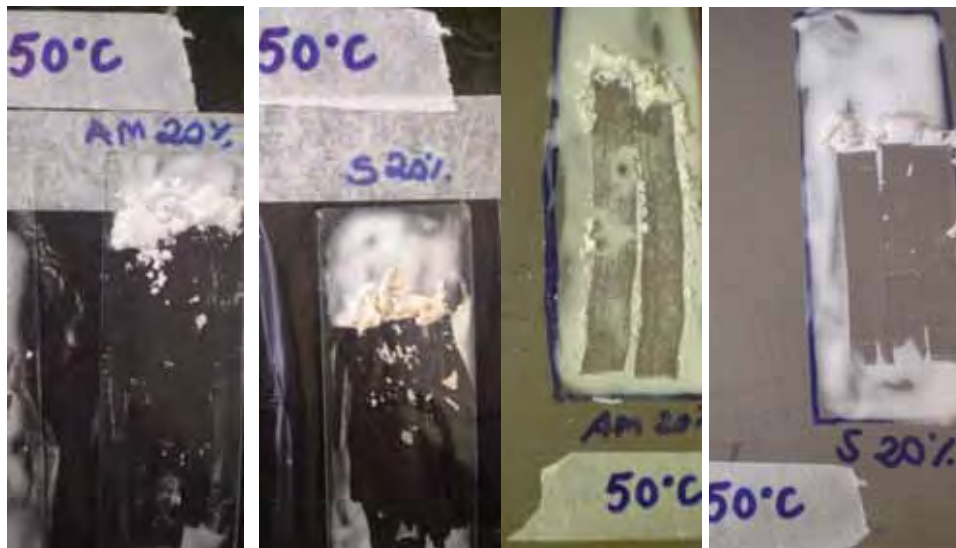


Figura 4.8 Comparação entre as formulações A7 (20% de amido modificado) e A10 (20% de SiO_2) na temperatura de 50°C.

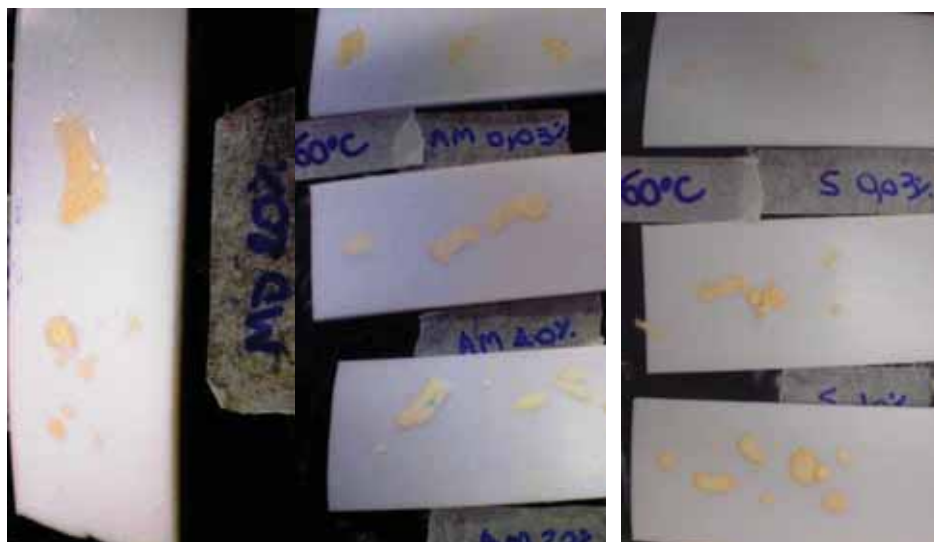


Figura 4.9 Comparação entre as formulações A4 (20% de maltodextrina), A7 (20% de amido modificado) e A10 (20% de SiO_2) em placas de teflon a 60°C.



Figura 4.10. Apresentação de A7 (20% de amido modificado), melhor formulação para a temperatura de 70°C.

Através das Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 pode ser observado que a melhor formulação foi a composta por 20% de amido modificado (A7), que se desprendeu facilmente e em forma de pó para quase todas as temperaturas e materiais analisados. É importante observar que apenas os filmes das placas de teflon à temperatura de 60 e 70°C se desprenderam com muita facilidade sem a necessidade de utilizar uma espátula, diferente dos outros resultados onde a utilização da espátula foi essencial. Experimentos similares foram realizados por COLLARES (2001) e SOUZA (2007).

Analisando a variável temperatura, o comportamento das formulações não variou nas diferentes temperaturas avaliadas: 40, 50, 60 e 70°C. Portanto, é possível a utilização de temperaturas superiores a 70°C para o ensaio de secagem em leito de jorro, pois o processo ocorrerá mais rapidamente e os resultados obtidos serão similares.

4.3.2. Ensaio preliminares de secagem em leito de jorro

Após os resultados dos testes de aderência, a melhor formulação foi submetida à secagem em leito de jorro na temperatura de 90°C. Entretanto, os resultados obtidos foram abaixo das expectativas, com baixa produção de material seco, e elevada aderência da polpa no leito de jorro e nas partículas inertes (teflon). Visando melhorar a operação de secagem, foram realizados outros ensaios de secagem empregando-se as mesmas condições de secagem (temperatura, vazão da alimentação, vazão de ar), incluindo na formulação além do amido modificado, a carboximetilcelulose (CMC) e o Tween 80[®] (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 Resultados dos testes preliminares de secagem em leito de jorro

Ensaio	Amido Modificado (%)	CMC (%)	Tween 80 (%)	Recuperação (%)	Acúmulo(%)	Umidade do pó (b.s.)
B1	20	10	20	29,58	41,11	5,323
B2	0	10	0	27,65	50,27	4,094
B3	0	0	0,2	29,6	31,36	5,637

As taxas de recuperação para as três diferentes formulações, nas mesmas condições de secagem, foram baixas em comparação com a porcentagem de acúmulo no secador. No entanto, a menor quantidade de acúmulo observada entre os três testes foi para o teste B3, que provavelmente se deve à adição de carboximetilcelulose e Tween 80, emulsificantes em potencial.

Foi observado durante esses testes de secagem que em todos eles ocorreram separações de fase das composições, pois aparentemente a parte lipídica da mistura se depositava na altura do jorro e o restante da composição era coletada no frasco coletor e/ou elutriada com o gás de secagem. Algumas alterações foram realizadas, como a substituição do amido modificado por maltodextrina DE 10, em concentrações mais elevadas que as avaliadas no item 4.3.1., tomando como referências da literatura e testes com diferentes concentrações de Tween 80.

GOMES, FIGUEIREDO e QUEIROZ (2004) avaliaram a estabilidade da polpa de acerola em pó a partir da polpa *in natura* com adição de 10% de maltodextrina. TONON, BRABET, HUBINGER, 2009 estudaram a influência da temperatura e da concentração de maltodextrina na secagem de suco de açaí, confirmando a eficiência deste material como agente encapsulante. MARTINELLI (2008) estudou a secagem de suco de limão em spray dryer e constatou a necessidade da adição de no mínimo 65% de maltodextrina para uma boa recuperação do produto.

Em relação à melhoria da emulsificação e da estabilidade da polpa de coco, a utilização do Tween 80 em maior quantidade do que a avaliada poderia minimizar o problema de separação, sendo necessário a realização de outro teste de aderência e estabilidade.

4.3.3 Seleção dos aditivos de secagem

A partir dos resultados dos testes de estabilidade, observou-se que os testes realizados com quantidades de 0,5% e 1% de Tween 80 foram os menos estáveis, assim como as formulações com 200 % de Maltodextrina. Portanto, foram utilizadas as formulações da Tabela 4.6 para o teste de aderência em placas.

Tabela 4.6. Formulações selecionadas para o teste de aderência

Formulações	Maltodextrina	Tween
	DE 10 (%)	80 (%)
C12	50	1,5
C13	100	1,5
C14	150	1,5

Os resultados dos testes de aderência em estufa a 90 °C mostraram que todas as formulações (C12, C13 e C14) se desprenderam facilmente do Teflon, sem a necessidade de intervenção de espátula para a remoção da polpa seca. Portanto, com o intuito de não ultrapassar a quantidade de 100 % de Maltodextrina, foram destinadas aos ensaios finais de secagem em leito de jorro as formulações C12 e C13 em diferentes condições de secagem.

4.4. Operações finais de secagem em leito de jorro

4.4.1. Ensaio fluidodinâmico

Assim como as propriedades da matéria-prima contribuem para um bom comportamento durante o processo de secagem, o material inerte empregado também interfere no bom resultado, sendo que neste tipo de processo o desempenho da secagem depende da estabilidade fluidodinâmica do leito de partículas em presença da suspensão (Souza, 2007).

Em experimentos anteriores, SOUZA (2007) realizou a caracterização fluidodinâmica do secador de leito de jorro com ângulo incluso de 40° e partículas inertes de Teflon, para as alturas de leito estático de 7cm e 10,5 cm, condições idênticas às empregadas nesse trabalho. A Figura 4.11 apresenta os resultados das curvas de queda de pressão em função da vazão de

gás alimentado ao secador, obtidas experimentalmente. As condições e a configuração do secador foram escolhidas por terem apresentado em estudos anteriores (SOUZA 2003 e 2007) bons resultados e alta produtividade por unidade de volume do equipamento.

A partir dos dados de queda de pressão em função da vazão de gás alimentado ao secador, determinaram-se os principais parâmetros fluidodinâmicos globais do secador: vazão de jorro mínimo (Q_{jm}), velocidade de jorro mínimo (U_{jm}), queda de pressão máxima (ΔP_m) e queda de pressão de jorro estável (ΔP_j), de grande importância para a definição das condições operacionais utilizadas nos ensaios de secagem. Esses dados estão apresentados na Tabela 4.7. Verifica-se que com o aumento da altura do leito de jorro estático, ocorre um aumento da queda de pressão máxima e da queda de pressão de jorro estável, que pode ser explicado devido ao aumento da carga do material inerte no interior do leito, que aumenta a resistência ao escoamento do ar e a queda de pressão, o que exige uma maior vazão de jorro mínimo.

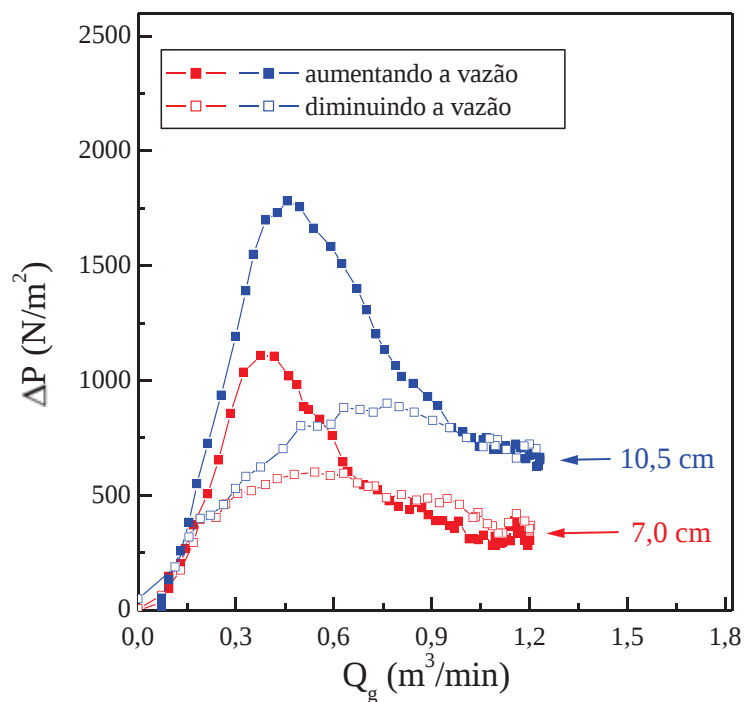


Figura 4.11. Curvas de queda de pressão em função da vazão de gás alimentada no sistema para o ângulo de base cônica de 40° , e duas alturas de leito estático (partículas inertes - teflon). FONTE: SOUZA (2007).

Tabela 4.7. Parâmetros fluidodinâmicos obtidos a partir da Figura 4.8 para as duas condições estudadas.

	γ	H_0	Q_{jm}	U_{jm}	ΔP_m	ΔP_j
Material	(grau)	(cm)	(m ³ /min)	(m/s)	(N/m ²)	(N/m ²)
Teflon	40	7,0	0,65	12,67	1150	350
		10,5	1,0	19,49	1850	700

FONTE: SOUZA (2007)

4.4.2 Análise do processo de secagem em leito de jorro

Os resultados de Recuperação (R), Acúmulo (A_c), Elutriação (E) e os respectivos conteúdos de água (X_p) para os ensaios finais de secagem de polpa de coco em leito de jorro estão apresentados na Tabela 4.8 que também apresenta as condições de secagem como temperatura (T, °C), altura de leito estático (H_0 , cm) e concentração de maltodextrina DE 10 (C, %). Em todas as formulações foram mantidas constante a quantidade de 1,5% de Tween80 assim como mostra a Tabela 3.6 (Item 3.5.2).

Tabela 4.8. Planejamento experimental 2³. Resultados obtidos da secagem da polpa de coco verde em leito de jorro.

Ensaio	Variáveis			Resultados			
	T (°C)	H_0 (cm)	C (%)	X_p (kg/kg)	R (%)	A_c (%)	E (%)
01	70	7,0	50	0,0615	53,28	24,76	21,96
02	70	7,0	100	0,064	50,68	28,14	21,18
03	90	7,0	50	0,048	59,05	19,69	21,26
04	90	7,0	100	0,045	54,73	24,86	20,41
05	70	10,5	50	0,065	59,19	31,07	9,74
06	70	10,5	100	0,068	63,73	26,42	9,85
07	90	10,5	50	0,0484	57,82	35,66	6,52
08	90	10,5	100	0,0474	66,96	24,93	8,11

Comparando-se os resultados da Tabela 4.8 com as Figuras 4.12 a 4.19, pode-se dizer que as variáveis de secagem causaram diferenças na qualidade dos produtos obtidos, pois as figuras evidenciam a presença de um pó de menor granulometria, com maiores valores de

recuperação, apesar do valor de umidade não ter variado muito com a variação da altura do leito estático.

Os resultados obtidos para os ensaios de secagem foram analisados pelo teste ANOVA, através do software Statística 8.0, com um planejamento fatorial 2^3 (três fatores e dois níveis). Os três fatores analisados foram: temperatura de secagem (T, °C); altura do leito estático (H_0 , cm); e concentração de maltodextrina (C, %). Foram levados em consideração os efeitos de interação entre os resultados, o coeficiente t e a significância estatística (p). O valor do coeficiente t indica quanto o efeito da variável é maior que o desvio padrão, logo, quanto maior o valor de t, menor o de p e, conseqüentemente, maior a possibilidade da variável ser estatisticamente significativa. Através do teste ANOVA com 95% de confiança, avaliou-se numericamente a significância e o ajuste da regressão dos fatores, através do teste F ($p \geq 0.05$). Os resultados dos testes estatísticos podem ser acompanhados nos itens seguintes (4.4.2.1., 4.4.2.2. e 4.4.2.3.)



Figura 4.12 - Exp. 01 H_0 :7cm; T:70°C; 50% de maltodextrina.



Figura 4.13- Exp. 05; H_0 :10,5cm; T:70°C; 50% de maltodextrina



Figura 4.14- Exp. 02 H_0 :7cm; T:70°C; 100% de maltodextrina.



Figura 4.15- Exp. 06; H_0 :10,5cm; T:70°C; 100% de maltodextrina



Figura 4.16 - Exp. 03 H_0 :7cm; T:90°C;
50% de maltodextrina.



Figura 4.17- Exp. 07; h:10,5cm;
T:90°C; 50% de maltodextrina



Figura 4.18 - Exp. 04 H_0 :7cm; T:90°C;
100% de maltodextrina.



Figura 4.19- Exp. 08; h:10,5cm;
T:90°C; 100% de maltodextrina

4.4.2.1. Recuperação do produto

A recuperação do pó de polpa de coco obtido para as composições com 50 e 100% de adição de maltodextrina DE 10 (Tabela 4.6) nas temperaturas estudadas variou de 50,68 a 59,05% para as secagens realizadas no equipamento com altura de leito estático de 7 cm e de 57,82 a 66,96% para altura de leito estático de 10,5 cm.

A recuperação do produto apresenta uma tendência de aumento com o incremento na temperatura para a maioria das condições estudadas. O incremento da temperatura pode ocasionar uma maior velocidade de evaporação, resultando em menor umidade relativa do gás no interior secador e menor umidade do produto final. Isso pode ter contribuído para a redução na ocorrência de aglomeração entre a polpa de coco e as partículas inertes, assim como entre a polpa e a parede do secador (Figura 4.12 a 4.19).

Estatisticamente, avaliando os dados obtidos para ANOVA e coeficiente de regressão (Tabelas 4.9 e 4.10) através do gráfico de Pareto (Figura 4.20), nenhum fator influenciou significativamente a quantidade de pó recuperado ($p \leq 5\%$). Porém, se quanto menor o p , maior o t , e consequentemente maior a significância do resultado, pode-se dizer que a altura de leito estático (H_0) foi o que mais influenciou nos resultados de R nos ensaios de secagem.

Tabela 4.9. Resultados para o teste ANOVA com 95% de confiança para a recuperação do pó da polpa de coco verde.

ANOVA de R (%) $R^2 = 0,97528$					
Fatores	SQ	GL	MQ	F	p
T (°C) (1)	17,0528	1	17,0528	3,41548	0,31575
H_0 (cm) (2)	112,2	1	112,2	22,4724	0,13235
C (%) (3)	5,7122	1	5,7122	1,14409	0,47859
1 x 2	7,9202	1	7,9202	1,58632	0,42721
1 x 3	1,0368	1	1,0368	0,20766	0,72779
2 x 3	53,045	1	53,045	10,6243	0,18951
Erro	4,9928	1			
Total	201,96	7			

Tabela 4.10. Coeficientes de regressão para a resposta dos três fatores estudados.

Regressão de R (%) $R^2 = 0,97528$				
Fatores	Coef. Regressão	Erro Padrão	t	p
Média/Interação	58,18000	0,79000	73,64557	0,00864
T (°C) (1)	2,92000	1,58000	1,84810	0,31575
H_0 (cm) (2)	7,49000	1,58000	4,74051	0,13235
C (%) (3)	1,69000	1,58000	1,06962	0,47859
1 x 2	-1,99000	1,58000	-1,25949	0,42721
1 x 3	0,72000	1,58000	0,45570	0,72779
2 x 3	5,15000	1,58000	3,25949	0,18951

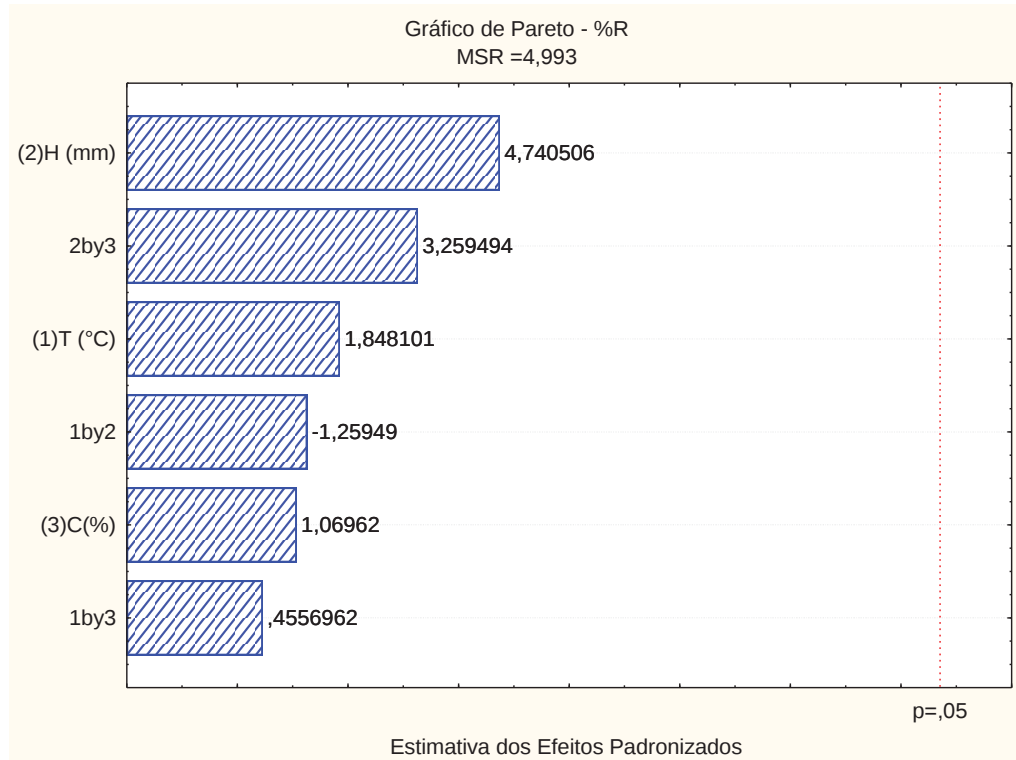


Figura 4.20. Gráfico de Pareto para recuperação do pó de polpa de coco verde

4.4.2.2. Acúmulo do produto no leito

Para a análise do acúmulo do produto no leito de jorro, o material inerte (Teflon) foi pesado no início e ao final de cada processo. Como foi observado grandes quantidades de pó aderido no leito e no ciclone, ao final de cada processo foram obtidas fotografias do interior do secador para comparação. Em seguida, procedeu-se uma raspagem dessas áreas e o pó retirado também foi pesado.

O acúmulo do pó de polpa de coco observado no secador para as composições de 50 e 100% de maltodextrina DE 10 e 1,5% de Tween 80 (experimentos de 01 a 08) nas temperaturas estudadas variou de 19,69 a 28,14% para altura de leito estático 7cm. Para a altura de leito estático de 10,5 cm o acúmulo variou entre 24,93 e 35,66% (Tabela 4.8). Nessa mesma tabela, o aumento do acúmulo foi observado entre os testes 03 e 07 à temperatura de 90 °C, contribuindo para uma diminuição da recuperação do pó de coco verde. Pode-se constatar que o acúmulo tende a reduzir com o aumento da temperatura, exceto na comparação entre os ensaios 05 e 07, nos quais pode se observar uma elevação do acúmulo (de 31,07 para 35,66%) com o aumento da temperatura (Figuras 4.14 e 4.16). A partir dos valores obtidos pela ANOVA (Tabela 4.11), assim como o gráfico de Pareto (Figura 4.21),

obtido pelo coeficiente de regressão (Tabela 4.12) dos resultados observados de recuperação (R), nenhum fator influenciou significativamente a quantidade de pó acumulado ($p \leq 5\%$), sendo a altura o valor mais significativo entre os fatores avaliados.

Tabela 4.11. Resultados para o teste ANOVA com 95% de confiança para elutriação do pó da polpa de coco verde.

ANOVA de A_c (%) $R^2 = 0,95176$					
Fatores	SQ	GL	MQ	F	p
T (°C) (1)	3,4453	1	3,4453	0,445	0,62547
H_0 (cm) (2)	53,199	1	53,1996	6,87146	0,23201
C (%) (3)	8,831	1	5,8311	0,75316	0,54496
1 x 2	16,387	1	16,3878	2,11671	0,38335
1 x 3	2,3005	1	2,3005	0,29714	0,68227
2 x 3	71,5806	1	71,5806	9,24561	0,20227
Erro	7,7423	1			
Total	160,487	7			

Tabela 4.12. Coeficientes de regressão para a resposta dos três fatores estudados.

Regressão de A_c (%) $R^2 = 0,95176$				
Fatores	Coef. Regressão	Erro Padrão	t	p
Média/Interação	26,94125	0,98375	27,38628	0,02324
T (°C) (1)	-1,31250	1,96750	-0,66709	0,62548
H_0 (mm) (2)	5,15750	1,96750	2,62135	0,23201
C (%) (3)	-1,70750	1,96750	-0,86785	0,54497
1 x 2	2,86250	1,96750	1,45489	0,38336
1 x 3	-1,07250	1,96750	-0,54511	0,68228
2 x 3	-5,98250	1,96750	-3,04066	0,20228

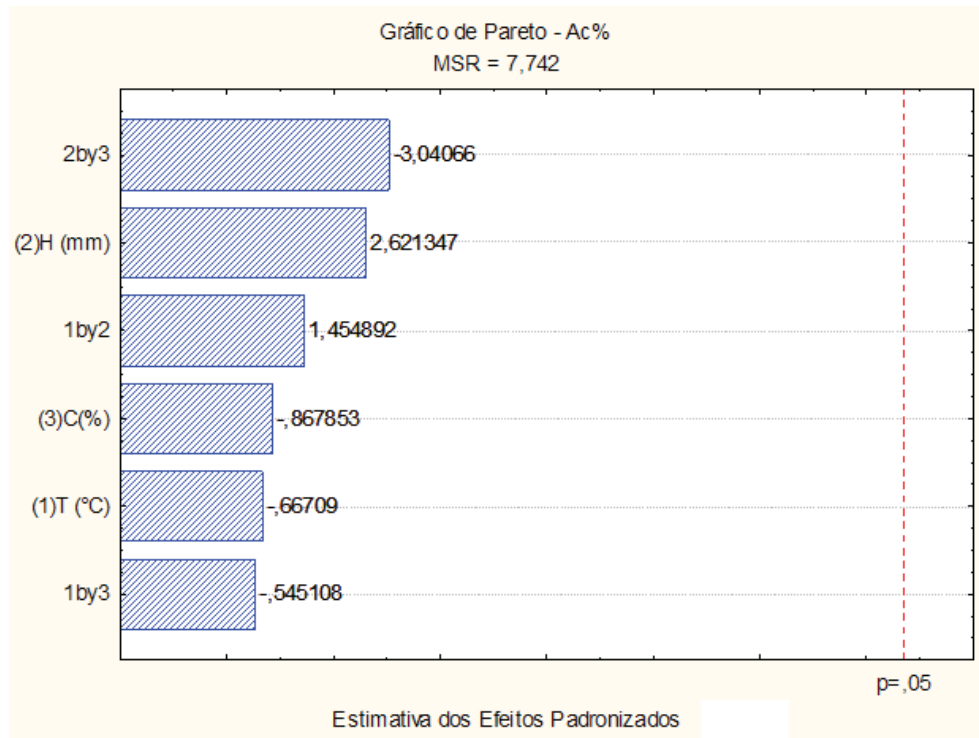


Figura 4.21. Gráfico de Pareto para acúmulo do pó de polpa de coco verde

4.4.2.3. Elutriação

A elutriação observada para o sistema com altura de leito estático de 7cm variou de 20,41 a 21,96%. Para a secagem realizada com altura de leito de 10,5cm, a elutriação foi maior, entre 6,52 e 9,85%. Comparando-se os testes 03 e 07 realizados à temperatura de 90°C (Tabela 4.8), pode-se observar uma diminuição de mais de 14% de elutriação, correspondendo também a um aumento de acúmulo e redução da recuperação. Para uma mesma altura de leito estático, aumentando-se a temperatura de 70 para 90°C, ocorreu uma pequena diminuição da elutriação para todos os testes realizados.

A partir dos resultados estatísticos obtidos pela ANOVA e coeficiente de regressão (Tabelas 4.13 e 4.14), pode-se observar através do gráfico de Pareto (Figura 4.22) que o fator H_0 (altura de leito estático) foi o único que influenciou significativamente a quantidade de pó perdido durante a secagem ($p > 5\%$).

Tabela 4.13. Resultados para o teste ANOVA com 95% de confiança.

ANOVA de R (%) $R^2 = 0,97528$					
Fatores	SQ	GL	MQ	F	p
T (°C) (1)	17,0528	1	17,0528	3,41548	0,31575
H ₀ (mm) (2)	112,2002	1	112,2002	22,4724	0,13235
C (%) (3)	5,7122	1	5,7122	1,14409	0,47859
1 x 2	7,9202	1	7,9202	1,58632	0,42721
1 x 3	1,0368	1	1,0368	0,20766	0,72779
2 x 3	53,045	1	53,045	10,6243	0,18951
Erro	4,9928	1			
Total	201,96	7			

Tabela 4.14. Coeficientes de regressão para a resposta dos três fatores estudados para a elutriação (E) do pó de coco verde.

Regressão de E (%) $R^2 = 0,99909$				
Fatores	Coef. Regressão	Erro Padrão	t	p
Média/Interação	14,8788	0,1937	76,7935	0,0082
T (°C) (1)	-1,6075	0,3875	-4,1484	0,1558
H ₀ (mm) (2)	-12,6475	0,3875	-32,6387	0,0195
C (%) (3)	0,0175	0,3875	0,0452	0,9712
1 x 2	-0,8725	0,3875	-2,2516	0,2660
1 x 3	0,3525	0,3875	0,9097	0,5300
2 x 3	0,8325	0,3875	2,1484	0,2773

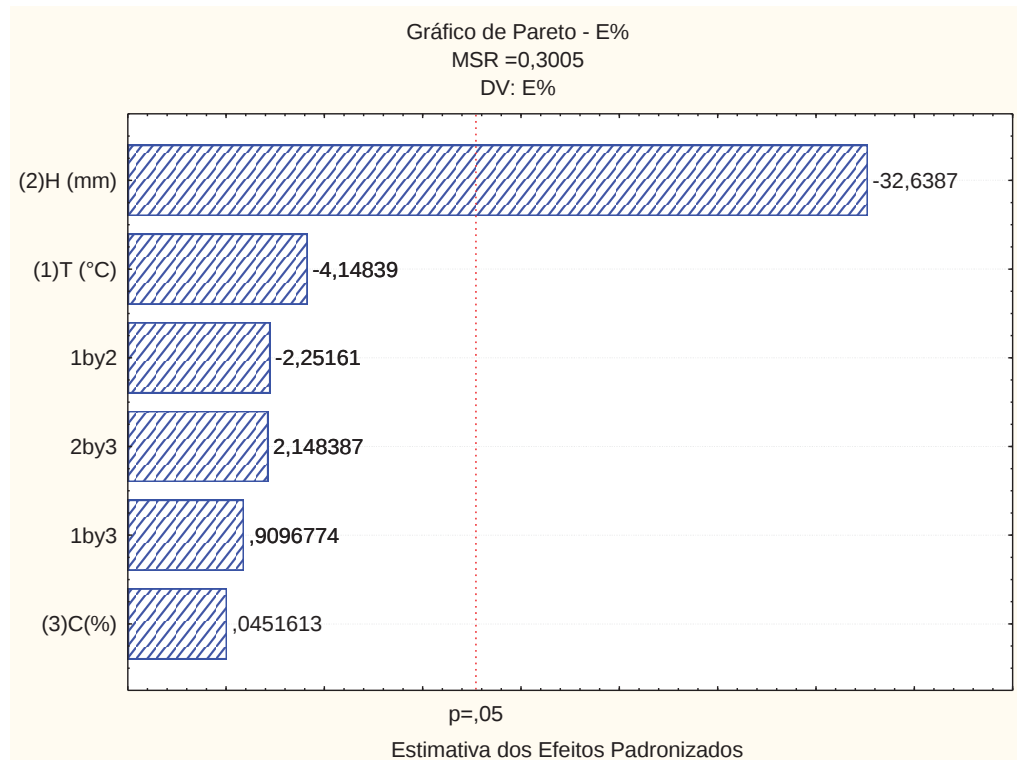


Figura 4.22. Gráfico de Pareto para acúmulo do pó de polpa de coco verde

4.5. Análise do produto final

Os produtos da secagem foram caracterizados através da determinação da umidade, densidade aparente máxima ($\rho_{ap(max)}$) e mínima ($\rho_{ap(min)}$), e solubilidade. Os resultados das análises realizadas estão apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15. Resultados da caracterização do produto

	H= 7cm (com aditivos)				H= 10,5cm (com aditivos)			
	70°C		90 °C		70 °C		90 °C	
	01/03	01/04	02/03	02/04	01/05	03/05	02/05	04/05
Umidade(%)	6,20	6,40	4,80	4,50	6,50	6,80	4,80	4,70
$\rho_{ap(min)}$ (g/mL)	0,466	0,509	0,471	0,495	0,520	0,531	0,482	0,476
$\rho_{ap(max)}$ (g/mL)	0,627	0,594	0,608	0,597	0,622	0,625	0,585	0,587
Solubilidade	< 1,5min	< 1,5min	< 1,5min	< 1,5min	< 1,5min	< 1,5min	< 1,5min	< 1,5min

Pode ser observado que os teores de umidade obtidos não variaram quando comparados em relação à formulação (50 e 100% de maltodextrina) e ao aumento da altura de leito estático (7 e 10,5cm). Entretanto, houve uma variação perceptível da umidade do valor máximo de 6,8% até o valor mínimo de 4,5%, quando a temperatura de secagem foi elevada de 70 para 90°C, respectivamente. Esses dados de umidade encontram-se abaixo dos valores para polpas de frutas tropicais secas em leito de jorro a temperatura de 70° C (8,15 e 7,30%) (SOUZA, 2009) e dentro dos valores encontrados por SOUZA (2003) para a secagem de extratos vegetais em leito de jorro.

As análises de densidade aparente mínima ($\rho_{ap(min)}$) forneceram resultados que variaram de 0,46 até 0,53 g/mL, com uma pequena variação entre as temperaturas e formulações, apresentando concordância com os resultados obtidos para substitutos de cacau em pó (0,49 a 0,69g/mL) por MEDEIROS e LANNES (2010) e acima do encontrado para pó de polpas de frutas tropicais (0,29 e 0,21g/mL), reportados por SOUZA (2009).

As densidades de compactação ($\rho_{ap(max)}$) apresentaram resultados entre 0,585 e 0,627g/mL com pouca variação entre as formulações e temperaturas estudadas. Esses valores estão na faixa dos resultados encontrados por MARTINS (2006) para pós a base de maltodextrina (0,599g/mL).

Todas as formulações foram consideradas solúveis em tempos inferiores a 1 minuto e 30 segundos. As informações da qualidade do pó são importantes para o entendimento do comportamento durante estocagem e posterior processamento.

5. CONCLUSÃO

De acordo com as análises da polpa de coco verde in natura e da água de coco, chegou-se a conclusão que o fruto estudado estava com idade aproximada de sete meses. A polpa deste fruto apresentou qualidades próximas da água de coco, porém com quantidades de açúcares e lipídios em maior concentração levando em conta a quantidade de sólidos presentes. A quantidade elevada desses dois componentes pode interferir negativamente no resultado da secagem em leito de jorro, fazendo-se necessário a realização de ensaios para definir as melhores concentrações de aditivos de secagem a ser utilizados, obtendo melhores resultados as concentrações de 50% e 100% de maltodextrina e 1% de Tween 80, pois se apresentaram estáveis após a homogeneização e pouco aderentes às placas testes de Teflon, utilizado como partícula inerte de secagem. As curvas das isotermas de adsorção para a polpa de coco foram do tipo III, típicas de alimentos ricos em componentes solúveis, e os valores de umidade de equilíbrio diminuíram com o aumento da temperatura em um mesmo valor de atividade de água, indicando que a polpa de coco vai se tornando menos higroscópica. O melhor modelo que se ajustou aos dados das isotermas de adsorção da polpa de coco foi o de GAB com um coeficiente de determinação próximo de 1,0 e $P \leq 5,0$. Os valores das umidades de monocamada (X_m) para o modelo de GAB aumentaram com o aumento da temperatura. Os dados de calor isostérico de sorção (q_{st}) aumentaram com a diminuição do conteúdo de umidade da polpa de coco, indicando fortes interações entre a água e componentes da polpa. Esses valores foram ajustados com o modelo de Tsami (1990) obtendo um valor de q_0 de 16,28kJ/mol e X_0 de 0,08kg/kg (b.s.). Analisando as condições de secagem em leito de jorro, não foi possível obter nenhuma situação ideal, porém os melhores valores de recuperação da polpa de coco em pó foram para os ensaios com altura de leito estático de 10,5cm a temperatura de 90°C com uma formulação de 100% de maltodextrina e 1% e Tween 80. Estatisticamente, nos níveis estudados, nenhum fator influenciou significativamente os resultados de recuperação (R) e acúmulo (Ac) e apenas a altura de leito estático teve influencia nos resultados de elutriação (E). Avaliando o produto final, os valores de umidade foram baixos, sendo possível obter um armazenamento por um longo período de tempo e não variaram com a variação da altura de leito estático (H_0), no entanto mostraram-se menor para os ensaios com temperaturas de 90°C. Todas as amostras de pó foram consideradas solúveis em água. Todas as análises em conjunto facilitam futuros trabalhos com a polpa de coco verde e dão um ponto de partida para o entendimento do comportamento desta matéria-prima tão pouco estudada em processos de secagem em leito de jorro.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar as isothermas de dessorção e adsorção e o calor isostérico de sorção da polpa de coco verde com adição de maltodextrina;
- Testar outras formulações que utilizem menor quantidade de aditivos possíveis mas mantenham ou melhorem os resultado de secagem em leito de jorro;
- Avaliar a fluidodinâmica da polpa de coco no secador de leito de jorro;
- Analisar a temperatura de transição vítrea da polpa de coco;
- Analisar o comportamento reológico da polpa de coco verde;
- Testar a secagem da polpa de coco em outros tipos de secadores que não sejam tão influenciáveis pela quantidade de açúcares e lipídios presentes na matéria-prima
- Analisar a composição físico-química do produto final;

7. REFERÊNCIAS

ABREU, L. F.; FARIA, J. A. F. Influência da temperatura e do ácido ascórbico sobre a estabilidade físico-química e atividade enzimática da água de coco (*Cocos nucifera* L) acondicionadas assepticamente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 226-232, 2007.

AGUILERA, J. M.; CHIRALT, A.; FITO, P. Food dehydration and product structure. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 14, p. 432-437, 2003.

ALEXANDRE, H. F. **Secagem de polpa de pitanga e armazenamento do pó**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 80, n. 2, p. 118-128, 2002.

_____; _____. Water sorption isotherm characteristic of food products: a review. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 62, p. 135-142, 2004.

ARAGÃO, W. M. et al. Variedades e híbridos do coqueiro. In: _____. (Ed.). **Coco pós-colheita**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2002. p. 26-34. (Série Frutas do Brasil, 29; Informe Tecnológico, b)

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis**. Washington: AOAC International, 1990.

AVIARA, N. A.; AJIBOLA, O. O. Thermodynamics of moisture sorption in melon seed and cassava. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 55, p. 107-113, 2002.

BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. et al. **Water activity in foods: fundamentals and applications**. Ames: Blackwell Publishing Profesional, 2007.

BONDAR, G. A **cultura do coqueiro (Cocos nucifera) no Brasil**. Salvador: Tipografia Naval, 1955. 91 p.

BOQUET, R.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Equations for fitting water sorption isothermsfoods II: evaluation of various two-parameters models. **International Journal of Food Science & Technology**, Pakistan, v. 13, n. 14, p. 319-327, 1978.

BRADY, J. E.; HOLUM, J. R. **Chemistry: the study of matter and its changes**. New York: John Wiley and Sons, 1996. 955 p.

BRASIL. **Regulamento Técnico para fixação de identidade e qualidade da água de coco**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/sda/ddiv/pdf/in_39_2002.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2010.

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

BRUNAUER, S. et al. On theory of the van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, Easton, v. 62, p. 1723-1732, 1940.

CARVALHO, G. G. P.; FERNANDES, F. É. P.; PIRES, A. J. V. Métodos de determinação dos teores de pectina em alimentos para animais. **Revista Electrónica de Veterinária REDVET**, Málaga, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2006.

CHILD, R. **Coconuts**. 2nd ed. London: Longman, 1974. 335 p.

CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: MUJUMDAR, A. S. (Ed.). **Advances in drying**. Washington: Hemisphere, 1983. p. 73-102.

COLLARES, F. P. **Desprendimento de filmes de pastas alimentícias durante a secagem sobre superfícies de sólidos e sua relação com a transição vítrea**. 2002. 190 f. Tese (Doutorado)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D; MATA, A. L. M. L. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris* L.), abóbora (*Cucurbita moschata*) e cenoura (*Daucus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 34, n. 1, p. 5-9, 2003.

COSTA, M. A. **Fluidodinâmica e ampliação de escala de leito de jorro bidimensionais**. 1998. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

DITCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para medida da atividade de água**. 2000. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

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

FERNANDEZ, C. S. Isotermas de sorção em substâncias alimentares. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 1., 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: FEA/UNICAMP-CYTED-SBCTAItal, 1995.

FERREIRA, C. D.; PENA, R. S. Comportamento higroscópico da farinha de pupunha (*Bactris gasipaes*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 251-255, 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Coconut production**. FAO: Statistics, 2009. Acesso em: 20 out. 2010. – <<https://www.fao.org.br>>

FUSCO, A. J. et al. A diffusion model for drying with volume change. **Drying Technology**, New York, v. 9, n. 2, p. 397-417, 1991.

GABAS, A. L. **Secagem de uva Itália em leito fixo**. 1998. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

_____; MENEGALLI, F. C.; TELIS-ROMERO, J. Thermodynamic models for water sorption by grape skin and pulp. **Drying Technology**, New York, v. 17, n. 4-5, p. 961-974, 1999.

_____; _____. Water sorption enthalpy-entropy compensation based on isotherms of plum skin and pulp. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 65, n. 4, p. 680-684, 2000.

GAL, S. **Techniques for obtain completes sorption isotherms**. Water activity: influences on food quality. New York: Academic Press, 1981.

GODIM, J. A. M. et al. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 825-827, out.-dez. 2005.

GOMES, P. **O coqueiro-da-baía**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1984. 111p.

GOMES, P. M. A.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 4, n. 3, p. 384-389, 2004.

_____; _____. Caracterização e isoterma de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, p. 157-165, 2002.

HALL, C. W. **Handbook of industrial drying**. Montreal: Taylor e Francis Group, 2006. 110 p.

HASSAN, M. A. Production of spray-dried coconut milk powder. **Pertanika**, Selangor, v. 8, n. 1, p. 127-130, 1985.

HOLDSWORTH, S. D. Dehydration of food products: a review. **Journal of Food Technology**, Oxford, v. 6, p. 331-370, 1971.

IGLESIAS, H. A.; CHIRIFE, J. An alternative to the GAB model for the mathematical description of moisture sorption isotherms of foods. **Food Research International**, Barking, v. 28, p. 317-321, 1995.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985.

JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, D. K. Drying of fruits and vegetables. In: MUJUMDAR, A. S. **Handbook of industrial drying**. New York: Marcel Dekker, 1995. p. 643-690.

JOWITT, R. et al. **Physical properties methods of foods**. London: Applied Science Publishers, 1983.

KAJI, C. I., SISLIAN, P., PAVÃO, V. S. Disponível em: <<http://blog.maua.br/2010/10/eureka-2010-polpa-de-coco-verde-em-pao-de-forma/>>. Acesso em: 29/10/2010.

KAREL, M. Physical structure and quality of dehydrated food. In: MUJUMDAR, A. S.; FILKOVA, I. (Ed.). **Drying '91**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1991. p. 26-35.

KING, C. J. Rates of moisture sorption and desorption in porous dried foodstuffs. **Food Technology**, Chicago, v. 22, p. 165-171, 1968.

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

_____; KAAANANE, A.; CHEN, J. Y. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrates foods. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, p. 385-389, 1985.

LIMA, M. F. M. et al. Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 13., 2000, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro, 2000. v. 1, p. 65-77.

MACHADO, K. C.; DAMM, D. D.; FORNARI, C. C. M. J. Reaproveitamento tecnológico de resíduo orgânico: casca de coco verde na produção de gabinetes ecológicos de computadores. In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2., 2009, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, 2009.

MARQUES, A. M. M. **Influência da adesão partícula-suspensão durante o processo de recobrimento em leito de jorro com atomização na base**. 2007. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

MARTINELLI, L. **Construção e desenvolvimento de um secador de leito pulso-fluidizado para secagem de pastas e polpas**. 2008. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2008.

MARTINS, P. C. **Estudo da influência de uma fase lipídica na aglomeração de pós-alimentícios**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MATHUR, K. B.; EPSTEIN, N. **Spouted beds**. New York: Academic Press, 1974. 304 p.

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

MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. Propriedades físicas de substitutos do cacau. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, p. 243-253, 2010. Suplemento 1.

MEDINA, J. C. **Coco**: da cultura ao processamento e comercialização. Campinas: ITAL, 1980. (Frutas Tropicais, 5)

MISHRA, V. K.; ORAIKUL, B.; TEMELLI, F. Physical characterization and water sorption of freeze dried dulce Palmaria palmata powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 20, n. 1, p. 25-39, 1996.

MOURA, E. G. et al. Produção e qualidade de frutos de coqueiro anã-verde conduzido em sistema silvipastoril e monocultura no leste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2008, Vitória. **Anais...** Vitória, 2008.

OLIVEIRA, E. A. et al. Caracterização físico-química do albúmen sólido do coco (*Cocos nucifera* L.), variedade híbrida. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 5., 2010, Maceió. **Anais...** Maceió, 2010.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Análise comparativa de polpas de pitanga integral, formulada e em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, p. 25-33, 2006.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*Pyrus* sp.) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, 2001.

PELEG, M. Physical characteristics of food powders. In: _____; BAGLEY, E. B. **Physical properties of foods**. Westport: AVI Publishing, 1983. cap. 10, p. 293-323.

PENHA, E. M.; CABRAL, L. M. C.; MATTA, V. M. **Água de coco verde**: um produto industrializável. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2007. Disponível em: <<http://www.floraeflora.com/artigos/aguadecocoverde.htm>>. 15/10/2010.

PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. **Perry's chemical engineers handbook**. 6. ed. New York: McGraw-Hill, 1984.

PLANALTO. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm>. Acesso em: 21/11/2011.

POP. Determinação da densidade aparente de pós. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/55357750/POP-Determinacao-da-densidade-aparente-de-pos>>. Acesso em: 06/07/2011.

PORTAL SÃO FRANCISCO. Coco. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/coco/coco-1.php>>. Acesso em: 18/10/2011.

PROJETO COCO VERDE. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/programa_e_projetos/projeto_coco_verde.html?query=projeto+coco+verde> . Acesso em: 06/07/2011.

RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 23, p. 91-105, 1994.

RESENDE, J. M. et al. Colheita e manuseio pós-colheita. In: ARAGÃO, W. M. (Ed.). **Coco pós-colheita**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2002. p. 35-41. (Série Frutas do Brasil, 29)

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 184 p.

RIZVI, S. S. H. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In: RAO, M. A.; _____. (Ed.). **Engineering properties of foods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1986. p. 133-214.

_____. Thermodynamic properties of foods in dehydration. In: RAO, M. A.; _____. (Ed.). **Engineering properties of foods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1995. 531 p.

ROCHA, S. C. S.; TARANTO, O. P. Advances in spouted bed drying of foods. In: RATTI, Cristina (Org.). **Advances in food dehydration**. Boca Raton: Taylor & Francis; CRC Press, 2008. v. 5, p. 153-186.

RODOVALHO, R. S. **Determinação e modelagem matemática das isotermas de sorção de arroz-vermelho (*Oryza sativa* L.)**. 2008. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual de Goiás, Goiânia, 2008.

ROSA, M. F.; ABREU, F. A. P. **Água de coco: métodos de conservação**. Brasília, DF: Embrapa, 2000.

RUNHA, F. P. et al. Production of dry extracts of medicinal brazilian plants by spouted bed process: development of the process and evaluation of thermal degradation during the drying operation. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 79, n. 3, p. 160-168, 2001.

SAMAPUNDO, S. et al. Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 79, p. 168-175, 2007.

SANTOS, A.V. **Obtenção e incorporação da farinha da casca de maracujá para a produção de bolos de chocolate**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Tiradentes, Aracajú, 2008.

SENHORAS, E. M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco: transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes**. Monografia - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILVA, G. G. **Desenvolvimento e qualidade da água de frutos de coqueiro anão**. Areia, 2006.

SILVA, Y. C.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Atividade de água em pó microencapsulado com amido modificado: estudo de dois modelos matemáticos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS COLHEITA DE FRUTOS TROPICAIS, 1., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2005.

SIMAL, S. et al. Water desorption thermodynamic properties of pineapple. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 80, p. 1293-1301, 2007.

SIMÕES, S. I. et al. **Permeabilisation and solubilisation of soybean phosphatidylcholine bilayer vesicles, as membrane models, by polysorbate, Tween 80.** Lisboa: UNFAB/Departamento de Biotecnologia, 2005.

SOUZA, C. R. F. **Estudo comparativo da produção de extrato seco de *Bauhinia forficata* link pelos processos de spray-dryer e leito de jorro.** 2003. Dissertação (Mestrado)-Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2003.

_____. **Produção de extratos secos de plantas medicinais brasileiras: estudo da viabilidade técnica e econômica do processo em leito de jorro.** 2007. Tese (Doutorado)-Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.

_____; OLIVEIRA, W. P. Spouted bed drying of *Bauhinia forficata* link extract: the effects of feed atomizer position and operating conditions on equipment performance and product properties. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 239-247, 2005.

SOUZA, J. S. **Secagem de misturas de polpas de frutas tropicais em leito de jorro.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SREBERNICH, S. M. **Caracterização física e química da água de fruto de coco (*Cocos nucifera*), variedades gigante e híbrido PB-121, visando o desenvolvimento de uma bebida com características próximas às da água de coco.** 1998. Tese (Doutorado)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. **Drying: principles, applications and design.** New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. 448 p.

TABELA Brasileira de composição de alimentos (TACO). 2. ed. Campinas, 2006.

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**, Amsterdam, v. 343, p. 49-56, 2000.

TIMMERMAN, O.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 48, p. 19-31, 2001.

TODA FRUTA. **Produção de suco e polpa de maracujá.** Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2009.

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

TORALLES, R. P., VENDRUSCOLO, J. L., VENDRUSCOLO, C. T. ; DEL PINO, F. A. B. ; ANTUNES, P. L. Controle da atividade da polifenoloxidase de pêssego por interação do pH,

da temperatura e da concentração de ácido ascórbico. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 120-127, 2010.

TSAMI, E. Net isosteric heat of sorption in dried fruits. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 14, p. 327-335, 1991.

VÁMOS-VIGYÁZÓ, L. Poliphenoloxidase and peroxidase in fruit and vegetables. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Cleveland, v. 15, p. 49-127, 1981.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciências e tecnologia dos materiais**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1984. 567 p.

WANG, Y. et al. Study on microencapsulation of curcumin pigments by spray drying. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 229, p. 391-396, 2009.

YOSHIDA, C. M. P. Estudo da cinética de secagem do milho superdoce em leito fixo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 24., 1996, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1996. v. 1, p. 307-312.

YOUNG, J. F. Humidity control in the laboratory using salt solutions: a review. **Journal of Applied Chemistry**, London, v. 17, n. 9, p. 241-245, 1967.

APÊNDICE A –

RESOLUÇÃO CNS/MS N.º 04, DE 24 DE NOVEMBRO DE 1988

TABELA A1 - ACIDULANTES

ADITIVO	ALIMENTOS EM QUE PODEM SER ADICIONADOS	LIMITE MÁXIMO g/100g – g/100ml
ACIDÚ- C/TRÍCO (H.I.)	Conservas de pescado	q.s.p
	Doce em pasta	q.s.p
	Filtrado doce	q.s.p
	Gelados comestíveis	q.s.p
	Geléias	q.s.p
	Gomas de mascar	q.s.p
	Hortaliças em conservas	q.s.p
	Lácte de coco	q.s.p
	Licores	0,20
	Maioneses	q.s.p
	Mistela compostas	q.s.p
	Mistela	q.s.p
	Molhos e coberturas para saladas	q.s.p
	Néctares de frutas	q.s.p
	Pós para coberturas de bolos	q.s.p
	Preparados sólidos e líquidos para refrescos e refrigerantes	q.s.p
	Produtos cárneos	0,30
	Produtos de panificação	q.s.p
	Produtos de confeitaria	q.s.p
	Queijos não curados	q.s.p
	Refrescos e refrigerantes	q.s.p
	Sangria	q.s.p
	Sobremesas e pós para sobremesas de gelatinas flans pudins e similares	0,20 no p.s.c.
	Preparados concentrados e desidratados para sopas e caldos	q.s.p
	Vinhos	q.s.p
	Vinhos compostos	0,50
	Vinhos de frutas	q.s.p
	Xaropes para refrescos	q.s.p

No p.s.c – no produto a ser consumido

q.s.p – quantidade suficiente para obter o efeito desejado

TABELA A2 - ANTIOXIDANTES

ADITIVOS	ALIMENTOS EM QUE PODEM SER ADICIONADOS	LIMITE MAXIMO g/100g – g/100ml
ÁCIDO ASCÓRBICO (ÁCIDO L-ASCÓR- BICO E SEUS SAIS DE POTÁSSIO, SÓ- DIO E CÁLCIO) (A.I)	Licores	0,03
	Margarina	0,30
	Mistela composta	0,03
	Molhos e coberturas para saladas	q.s.p
	Néctares de frutas	0,03
	Produtos cárneos curados	0,20
	Óleos e gorduras	0,03
	Picles	0,03
	Polpa de frutas	0,03
	Preparados sólidos e líquidos para refrescos e refrigerantes	0,03 no p.s.c
	Preparados desidratados e concentrados para sopas e caldos	0,10 no p.s.c
	Produtos de frutas	0,05
	Refrescos e refrigerantes	0,03
	Saquê	0,01
	Sangria	0,03
	Sobremesas, pós para sobremesas de gelatinas, flans, pudins e similares	0,03 no p.s.c
	Sucos de frutas	0,03
	Vinhos	0,01
	Vinhos de frutas	0,01
	Xaropes para refrescos	0,03 no p.s.c

No p.s.c – no produto a ser consumido

q.s.p – quantidade suficiente para obter o efeito desejado

APÊNDICE B

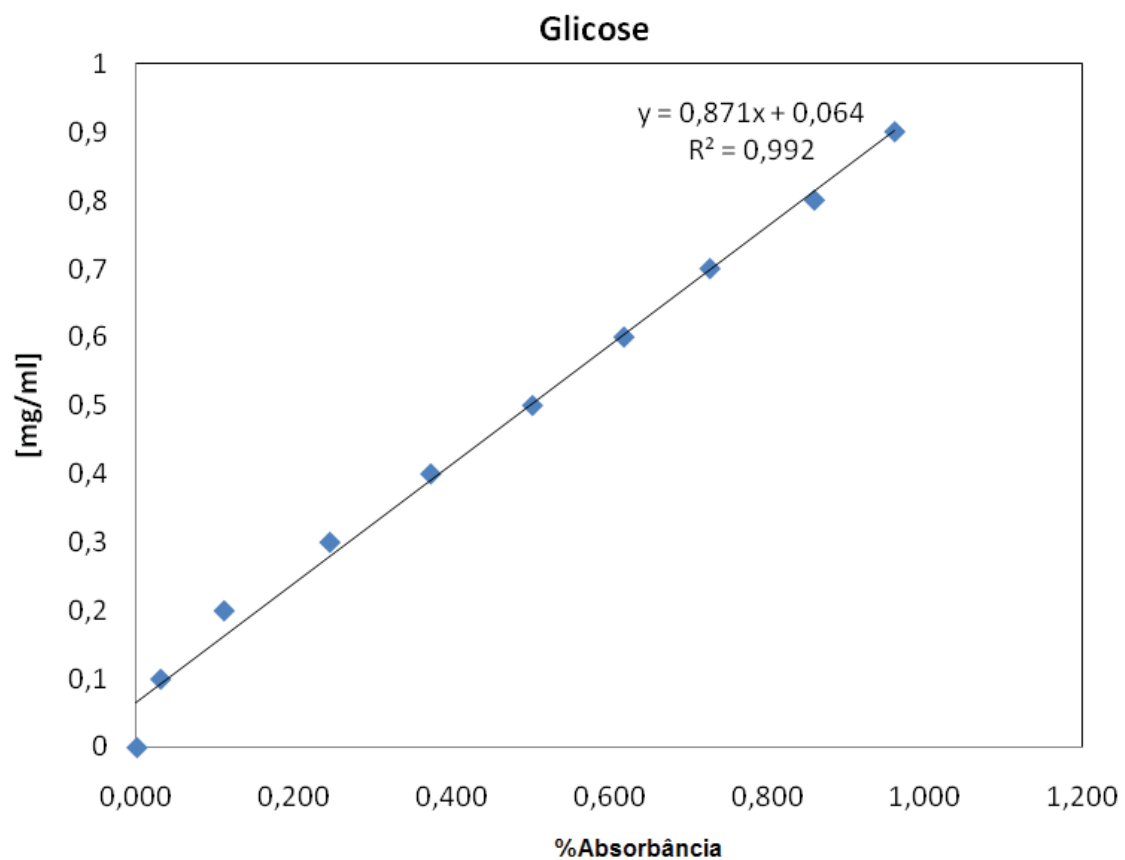


Figura B1. Curva Padrão de glicose para análise de açúcares redutores totais pelo método de DNS.

Autorizo a reprodução xerográfica para fins de pesquisa.

Fábia Carolina Gonçalves Lavoyer

São José do Rio Preto, 09/02/2012