



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

TAYLA MARIA RAMOS ARAÚJO

INFLUÊNCIA DA MALTODEXTRINA NAS PROPRIEDADES E NA
MICROESTRUTURA DA POLPA DE COCO VERDE EM PÓ

FORTALEZA
2019

TAYLA MARIA RAMOS ARAÚJO

INFLUÊNCIA DA MALTODEXTRINA NAS PROPRIEDADES E NA
MICROESTRUTURA DA POLPA DE COCO VERDE EM PÓ

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de Concentração: Produtos de Origem Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Kaliana Sítonio Eça.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A692i Araújo, Tayla Maria Ramos.
Influência da maltodextrina nas propriedades e na microestrutura da polpa de coco verde em pó / Tayla Maria Ramos Araújo. – 2019.
94 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso.

Coorientação: Profa. Dra. Kaliana Sitonio Eça.

1. Desidratação. 2. Liofilização. 3. Coco Verde. 4. Maltodextrina. I. Título.

CDD 664

TAYLA MARIA RAMOS ARAÚJO

INFLUÊNCIA DA MALTODEXTRINA NAS PROPRIEDADES E NA
MICROESTRUTURA DA POLPA DE COCO VERDE EM PÓ

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Área de Concentração: Produtos de Origem Vegetal.

Aprovada em: 01/07/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr^ª. Kaliana Sitonio Eça (Co-orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. José Maria Correia da Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Júlio Cesar Barbosa Rocha
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Ana Paula Colares de Andrade
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela oportunidade de participar do programa de pós graduação. À coordenação e secretaria do curso pelo auxílio e informações prestadas.

Ao professor Marcos Rodrigues Amorim Afonso pela orientação prestada nesta larga caminhada de orientação, pelos conselhos simples, diretos e úteis e pela confiança depositada em mim.

À professora Kaliana Sitonio Eça, pela orientação prestada, pela paciência, conselho e competência, dando sempre um rumo e soluções aos problemas encontrados durante a trajetória do mestrado.

Ao professor José Maria Correia da Costa por me confiar o laboratório para realização das análises, e pelos conselhos e orientações.

Aos participantes da minha banca pela atenção, conselhos, correções e colaboração dada para a versão deste trabalho.

Aos demais professores do curso pelos conhecimentos repassados.

Aos meus pais, Alexandre Carneiro e Patrícia Ramos, especialmente minha mãe, por estar ao meu lado sempre, me instruir, amar incondicionalmente e segurar minha mão quando as coisas ficam difíceis.

Ao meu noivo, Arthur Oliveira, por me apoiar em qualquer projeto que eu embarque, ser meu melhor amigo e por estar sempre ao meu lado.

Ao meu avô, Francisco Chagas, que me orientou desde pequena a trilhar os caminhos da honestidade e da perseverança.

Às minhas amigas da turma de mestrado, Carlota, Ana Caroline, Fernanda, Andreza e Thallyne, por transformarem minhas lutas em coisas simples e suportáveis, por me fazerem crescer como pessoa e mostrarem o quanto a vida é um presente.

A todos que fazem parte da minha vida.

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência da maltodextrina nas propriedades e na microestrutura do pó da polpa de coco verde obtido por liofilização. As características físico-químicas da polpa utilizada foram determinadas. A melhor condição de secagem foi escolhida por meio de um planejamento experimental completo (DCCR), variando-se tempo de liofilização e a concentração de maltodextrina e verificou-se a influência dessas variáveis sobre a umidade, higroscopicidade, solubilidade e os parâmetros de cor (L^* , a^* , b^*) dos pós. O pó na melhor condição foi caracterizado físico-quimicamente e sua estabilidade foi analisada por 90 dias. A fim de avaliar a influência da maltodextrina, pós contendo de 5,8 a 18% de maltodextrina foram avaliados através de microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-X, índices de fluxo, densidades aparentes, ângulos de fricção com a parede e isotermas de sorção. A melhor condição obtida foi com 24,7 h de liofilização e 11,9% de concentração de maltodextrina (m/m). O estudo da estabilidade do pó da polpa de coco permitiu observar o aumento da umidade, higroscopicidade e da coordenada b^* , a diminuição das coordenadas L^* e a^* e da solubilidade. Para as isotermas de adsorção dos pós, o modelo de melhor ajuste foi o de BET com erros médios estimados abaixo de 3,5%. Os resultados das análises dos índices de fluxo indicaram que todos os pós de polpa coco avaliados se apresentaram coesos, embora o pó com 18% de maltodextrina tenha obtido um menor ângulo de atrito com a parede e maior densidade aparente. Na microscopia eletrônica de varredura verificou-se que os pós tinham formatos irregulares, e a medida em que a concentração do adjuvante aumentava, as superfícies se tornavam mais lisas e menos aglomeradas. Já na difração de raios-X, demonstrou-se a estrutura completamente amorfa desses pós. Pode-se concluir que a adição da maltodextrina até 18% melhora todas as características estudadas do pó, porém o pó com 11,9% de adjuvante ainda é considerado melhor, por não precisar de maior quantidade de maltodextrina e se apresentar amplamente satisfatório na manutenção e/ou melhoria das características estudadas.

Palavras-chave: Desidratação. Liofilização. Coco Verde. Maltodextrina.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the influence of maltodextrin on the properties and microstructure of green coconut pulp powder obtained by lyophilization. The physicochemical characteristics of the pulp used were determined. The best drying condition was chosen by means of a complete experimental design (DCCR), varying freeze-drying time and maltodextrin concentration and the influence of these variables on humidity, hygroscopicity, solubility and color parameters (L^* , a^* , b^*) of the powders. The powder in the best condition was physically and chemically characterized and its stability was analyzed for 90 days. In order to evaluate the influence of maltodextrin, powders containing 5.8 to 18% maltodextrin were evaluated by scanning electron microscopy, X-ray diffraction, flow indices, apparent densities, wall friction angles and isotherms sorption. The best condition obtained was 24.7 h of lyophilization and 11.9% maltodextrin concentration (m/m). The study of coconut pulp powder stability allowed to observe the increase of humidity, hygroscopicity and b^* coordinate, decrease of L^* and a^* coordinates and solubility. For the adsorption isotherms of powders, the best fit model was the BET model with estimated average errors below 3.5%. The results of the flow index analyzes indicated that all evaluated coconut pulp powders were cohesive, although the 18% maltodextrin powder had a lower friction angle with the wall and higher apparent density. Scanning electron microscopy showed that the powders had irregular shapes, and as the concentration of the adjuvant increased, the surfaces became smoother and less crowded. In X-ray diffraction, the completely amorphous structure of these powders was demonstrated. It can be concluded that the addition of maltodextrin up to 18% improves all characteristics of the powder studied, but the powder with 11.9% adjuvant is still considered better because it does not need more maltodextrin and is largely satisfactory in maintenance and/or improvement of the characteristics studied.

Keywords: Dehydration. Lyophilization. Green Coconut. Maltodextrin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Descrição das etapas do projeto -----	29
Figura 2 –	Células de solução salina das isotermas de adsorção contendo amostras de pós de coco, colocadas em B.O.D -----	37
Figura 3 –	Superfície de resposta para a variável higroscopicidade do pó da polpa de coco -----	47
Figura 4 –	Curva de contorno para a variável higroscopicidade do pó da polpa de coco -----	47
Figura 5 –	Superfície de resposta para a variável b^* do pó da polpa de coco -----	52
Figura 6 –	Curva de contorno para a variável b^* do pó da polpa de coco -----	53
Figura 7 –	Difratograma dos pós de polpa de coco liofilizada sem maltodextrina e adicionada de 5,8; 11,9 e 18% de maltodextrina -----	59
Figura 8 –	Micrografias do pó de polpa de coco obtido por liofilização com 5,8% (A e B), 11,9% (C e D) e 18% (E e F) de maltodextrina -----	60
Figura 9 –	Tensão principal de consolidação e tensão não confinada de deslizamento para os pós de polpa de coco, nas concentrações de 5,8; 11,9; e 18% de maltodextrina -----	63
Figura 10 –	Densidade aparente dos pós de polpa de coco obtidos por liofilização contendo 5,8; 11,9; e 18% de maltodextrina, em função da tensão principal de consolidação (σ_1) -----	64
Figura 11 –	Isoterma de sorção da polpa de coco em pó com 5,8% de maltodextrina em diferentes temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) -----	69
Figura 12 –	Isoterma de sorção da polpa de coco em pó com 11,9% de maltodextrina em diferentes temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) -----	70
Figura 13 –	Isoterma de sorção da polpa de coco em pó com 18% de maltodextrina em diferentes temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) -----	70
Figura 14 –	Isoterma de sorção da polpa de coco em pó a 25 $^{\circ}\text{C}$ em diferentes concentrações de maltodextrina (%) -----	71
Figura 15 –	Isoterma de sorção da polpa de coco em pó a 40 $^{\circ}\text{C}$ em diferentes concentrações de maltodextrina (%) -----	72
Figura 16 –	Comportamento do parâmetro umidade do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições ----	74

Figura 17 –	Comportamento do parâmetro higroscopicidade do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições -----	76
Figura 18 –	Comportamento do parâmetro de cor L* do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições -----	77
Figura 19 –	Comportamento do parâmetro de cor a* do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições -----	79
Figura 20 –	Comportamento do parâmetro de cor b* do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições -----	81
Figura 21 –	Comportamento do parâmetro solubilidade do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições -----	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos matemáticos para o ajuste das isotermas de adsorção do pó da polpa de coco verde -----	26
Tabela 2 – Níveis das variáveis independentes -----	32
Tabela 3 – Ensaios do planejamento experimental -----	33
Tabela 4 – Classificação do tipo de escoamento de produtos sólidos armazenados --	35
Tabela 5 – Atividade de água das soluções salinas saturadas a $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ -----	36
Tabela 6 – Caracterização físico-química da polpa de coco -----	38
Tabela 7 – Ácidos graxos presentes na polpa de coco verde -----	41
Tabela 8 – Valores reais dos fatores e valores das respostas do planejamento experimental da obtenção de polpa de coco em pó -----	43
Tabela 9 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente umidade -----	44
Tabela 10 – Análise de variância para o modelo de regressão da umidade -----	44
Tabela 11 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente higroscopicidade -----	45
Tabela 12 – Análise de variância para o modelo de regressão da higroscopicidade ----	46
Tabela 13 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente L^* -----	48
Tabela 14 – Análise de variância para o modelo de regressão da luminosidade (L^*) --	49
Tabela 15 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente a^* -----	50
Tabela 16 – Análise de variância para o modelo de regressão do parâmetro de cor a^*	50
Tabela 17 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente b^* -----	51
Tabela 18 – Análise de variância para o modelo de regressão do parâmetro b^* -----	52
Tabela 19 – Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente solubilidade -----	53
Tabela 20 – Análise de variância para o modelo de regressão da solubilidade -----	54
Tabela 21 – Caracterização físico-química do pó da polpa de coco -----	55
Tabela 22 – Umidade dos pós da polpa de coco -----	60

Tabela 23 – Tensões dos pós da polpa de coco adicionados de 5,8; 11,9; e 18% de maltodextrina -----	62
Tabela 24 – Densidade aparente (kg/m ³) e ângulo de atrito com a parede (°) dos pós de polpa de coco contendo 5,8; 11,9; e 18% (m/m) de maltodextrina -----	65
Tabela 25 – Resultados dos ajustes das isotermas de adsorção do pó -----	67
Tabela 26 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável umidade (%) -----	73
Tabela 27 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável higroscopicidade (%) -----	75
Tabela 28 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável L* -----	77
Tabela 29 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável a* -----	78
Tabela 30 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável b* -----	80
Tabela 31 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável solubilidade (%) -----	81

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Coco (<i>Cocos nucifera</i> L.)	17
3.1.1	<i>Subprodutos do coco</i>	18
3.2	Secagem de alimentos	19
3.2.1	<i>Liofilização</i>	22
3.2.2	<i>Adjuvantes de secagem</i>	23
3.3	Pós de frutas	24
3.4	Isotermas	26
4	MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1	Matérias-primas	28
4.2	Etapas do projeto	28
4.3	Caracterização da polpa de coco	30
4.4	Planejamento experimental e análise estatística	32
4.5	Secagem da polpa	33
4.6	Caracterização do pó da polpa de coco	34
4.6.1	<i>Propriedades morfológicas do pó da polpa de coco</i>	34
4.6.2	<i>Propriedades de escoamento do pó da polpa de coco</i>	35
4.6.3	<i>Determinação das isotermas de adsorção dos pós</i>	36
4.7	Avaliação da estabilidade do pó	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Caracterização da polpa de coco	38
5.1.1	<i>Composição de ácidos graxos da polpa de coco</i>	41
5.2	Resultados do planejamento experimental	42
5.2.1	<i>Umidade</i>	43
5.2.2	<i>Higroscopicidade</i>	45
5.2.3	<i>Parâmetro de cor L*</i>	48
5.2.4	<i>Parâmetro de cor a*</i>	49
5.2.5	<i>Parâmetro de cor b*</i>	51
5.2.6	<i>Solubilidade</i>	53

5.3	Caracterização do pó da polpa de coco -----	54
5.3.1	<i>Propriedades morfológicas do pó da polpa de coco</i> -----	58
5.3.1.1	<i>Difração de Raios-X (Dr-X)</i> -----	58
5.3.1.2	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i> -----	59
5.3.2	<i>Propriedades de escoamento do pó da polpa de coco</i> -----	61
5.3.3	<i>Determinação das isotermas de adsorção dos pós</i> -----	66
5.4	Avaliação da estabilidade do pó -----	72
5.4.1	<i>Umidade</i> -----	73
5.4.2	<i>Higroscopicidade</i> -----	75
5.4.3	<i>Parâmetro de cor L*</i> -----	76
5.4.4	<i>Parâmetro de cor a*</i> -----	78
5.4.5	<i>Parâmetro de cor b*</i> -----	79
5.4.6	<i>Solubilidade</i> -----	81
6	CONCLUSÃO -----	83
	REFERÊNCIAS -----	84

1 INTRODUÇÃO

O coco é cultivado em mais de 86 países e o Brasil ocupa a quarta posição no mundo, com uma produção anual de cerca de 2,8 milhões de toneladas. A indústria de coco no Brasil é responsável por 4,8% da produção total mundial de coco e deve crescer ainda mais com o aumento global da demanda (KANOJIA; JAIN, 2017). Milhões de pessoas consomem produtos alimentícios contendo coco diariamente, especialmente água de coco, leite, óleo e a polpa da própria castanha (FERREIRA et al., 2016).

O coco (*Cocos nucifera* L.) é muito valorizado comercialmente, sendo o principal interesse, a água de coco para consumo e uso na indústria de envasamento. Estima-se que 85% da produção nacional seja destinada ao mercado de coco seco (maduro), tanto para consumo culinário quanto para a indústria de derivados do coco para produção de leite, óleo, sabão, dentre outros (PENHA et al., 2010).

Na maioria das aplicações, não foram encontrados dados relatando uso da polpa de coco verde ou apontando valor comercial. Após retirar a água de coco do fruto, a indústria frequentemente descarta a polpa, que muitas vezes está presente em quantidade e qualidade suficientes para aproveitamento (SOARES, 2014).

Como uma alternativa para estender a vida útil e facilitar a comercialização, a secagem de frutas tropicais pode ser utilizada com facilidade. Devido à redução da atividade de água e conseqüentemente, a prevenção de contaminação microbológica e de reações bioquímicas indesejáveis, a secagem permite que um produto perecível se torne um produto estável para a comercialização e consumo. Além disso, a secagem reduz as perdas pós-colheita e pode agregar valor aos produtos (JÚNIOR et al., 2016; MARQUES; SILVEIRA; FREIRE, 2006).

Devido às propriedades das frutas tropicais, a liofilização tem sido amplamente utilizada, pois é um processo onde ocorre a preservação e retenção de atributos da fruta, como por exemplo, aparência, nutrientes, cor e sabor (SHOFIAN et al., 2011). O estudo sobre liofilização é de suma importância quando se trata de materiais para os quais as informações sobre o comportamento de secagem são escassas, possibilitando o estudo da influência das variáveis do processo (JÚNIOR et al., 2016; MARQUES, 2008).

Na desidratação de polpas de frutas, o alto conteúdo de açúcares pode acarretar na obtenção de produtos com alta higroscopicidade, diminuindo assim o rendimento do processo (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012; OLIVEIRA et al., 2013). Portanto, se faz necessária a utilização de agentes adjuvantes com alto peso molecular antes da secagem, a fim de facilitar

a produção e as operações de transporte e armazenamento dos produtos obtidos (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012). A maltodextrina é um dos principais aditivos utilizados para auxiliar a secagem de polpa de frutas, pois apresenta baixo custo e baixa higroscopicidade, o que evita a aglomeração de partículas que comumente ocorre nesses processos (CEBALLOS; GIRALDO; ORREGO, 2012; FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012).

A utilização de agentes adjuvantes, como a maltodextrina, pode favorecer um melhor manuseio do produto final obtido, conferindo-lhe maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente e tornando-o menos higroscópico (CAVALCANTE et al., 2018; TONON; BRABET; HUBINGER, 2009). A higroscopicidade de um alimento está ligada à sua estabilidade física, química e microbiológica por isso, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento higroscópico desses produtos (CAVALCANTE et al., 2018; OLIVEIRA; CLEMENTE; DA COSTA, 2014).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi obter o pó de polpa de coco verde através do processo de liofilização e avaliar suas características físicas e físico-químicas.

2 OBJETIVOS

2.1. Geral

Obter e avaliar as características do pó da polpa de coco verde adicionado de maltodextrina através de secagem por liofilização.

2.2. Específicos

- Caracterizar, através de análises físico-químicas, a polpa de coco e os pós adicionados de maltodextrina obtidos por liofilização;
- Avaliar a influência da concentração da maltodextrina nas propriedades de escoamento do pó através dos parâmetros: ângulo de fricção interno e de parede, densidade aparente e avaliação do escoamento;
- Avaliar a influência da concentração da maltodextrina nas propriedades morfológicas do pó da polpa de coco verde;
- Avaliar o comportamento higroscópico e a influência da maltodextrina através das isotermas de adsorção;
- Avaliar a estabilidade da polpa de coco em pó na melhor condição obtida.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Considerações gerais do Coco (*Cocos nucifera* L.)

A palmeira de coco (*Cocos nucifera* L.) é uma das plantas mais utilizadas no mundo. É amplamente distribuída em ambientes tropicais e subtropicais; É uma planta importante para a economia de países encontrados em torno dessas regiões (OCHOA-VELASCO et al., 2018; ZHAO et al., 2015). O coco é uma drupa composta por exocarpo, mesocarpo, endocarpo, tegumento, albúmen sólida (carne ou polpa), albúmen líquida (água de coco) e embrião, sendo as partes comestíveis apenas a albúmen sólida e líquida (SOARES et al., 2017).

Os principais produtos obtidos do coco são o óleo, o leite, o coco ralado, a copra, a farinha de copra, entre outros. A fruta é composta por uma concha muito dura, endosperma (carne branca) e líquida (água de coco), sendo o endosperma o mais importante economicamente (OCHOA-VELASCO; CRUZ-GONZÁLEZ; GUERRERO-BELTRÁN, 2014).

O Brasil tem mais de 266 mil hectares de terras cultivadas com coco (IBGE, 2015). Dessa área, mais de 80% estão concentrados no Nordeste e, portanto, houve um aumento no consumo de coco verde fresco e industrializado e na produção de resíduos e coprodutos nesta região (NETO et al., 2016). No país, aproximadamente 85% da produção de cocos é comercializada como seco: a metade é para uso culinário e o restante é industrializado. Cerca de 15% da produção é consumida ainda verde para extração de água que também é industrializada. Entretanto, houve uma maior conscientização da população para os benefícios dos alimentos naturais, bem como um grande crescimento da exploração do coqueiro anão, visando a produção do fruto verde, para o processamento da água de coco (SENHORAS, 2004).

Apesar disso, a cultura de exploração do coco tem condições de ser mais atuante nos mercados nacional e internacional, desde que sejam superadas algumas dificuldades, como a melhoria da produtividade da plantação de coqueiros, expansão das áreas de plantio e investimentos em todo o parque industrial, com a finalidade de aumentar a oferta de matéria-prima e a capacidade de processamento das indústrias. Para que tudo isso ocorra, é necessário um maior investimento que possibilite a revitalização dos setores produtivo e industrial, tendo como consequências o aumento no nível de empregos e das receitas dos estados produtores (EDUARDO; FONTENELE, 2005).

3.1.1 Coco e seus subprodutos

Os derivados do coco no Brasil são matérias-primas importantes na indústria alimentícia, estando presentes em bolachas, doces, iogurtes e sorvetes. Dentre os produtos originários do coco, no mercado brasileiro os que apresentam maiores demandas são o coco inteiro, a água e a polpa do coco verde, o coco ralado e o leite de coco (SIMÕES et al., 2015).

O óleo de coco é um óleo comestível derivado da semente de *Cocos nucifera* L., uma planta tropical, e é amplamente consumido para fins comestíveis e não comestíveis como padaria, confeitaria, produtos farmacêuticos e cosméticos. Destaca-se também, por ser uma fonte natural abundante com custo relativamente baixo, sendo amplamente utilizado comercialmente (COSTA et al., 2016; KUMAR; KRISHNA, 2015). É um líquido transparente à temperatura ambiente e tem um aroma agradável. Consiste principalmente em ácidos gordurosos saturados (> 91%) e a maior parte dos ácidos gordurosos saturados são ácidos graxos de cadeia média (> 51%) que são facilmente digeríveis e facilmente absorvidos no corpo (KUMAR; KRISHNA, 2015). Os ácidos gordurosos de cadeia média possuem algumas propriedades funcionais e nutricionais específicas que incluem efeitos antivirais, antibacterianos, antiprotozoários, anti-inflamatórios e antiobesidade. (KUMAR; KRISHNA, 2015).

A água de coco verde é uma bebida tropical popular rica em sais minerais e açúcares. Pode ser consumida diretamente dos cocos imaturos (*Cocos nucifera*, L.) ou processada para prolongar a sua vida útil por inativação de enzimas indesejáveis e microrganismos (FRANCO et al., 2015). Atualmente, o consumo de água de coco está aumentando em todo o mundo e representa uma das categorias de bebidas de crescimento mais rápido, devido às suas qualidades hidratantes naturais, gosto aprimorado, propriedades de saúde funcional e benefícios nutricionais (CAMARGO PRADO et al., 2015). A água de coco, além de ter agradável paladar, é considerada um excelente repositório energético e eletrolítico natural, devido a sua composição (carboidrato, sódio, potássio e cloreto), além de possuir baixa quantidade de calorias e gordura comparada a outras bebidas comerciais (CHAGAS et al., 2017). Essas amplas aplicações podem ser atribuídas à sua composição química única de sódio, potássio, fósforo, cloreto e magnésio, vitaminas, açúcares, proteínas, aminoácidos livres e fatores de promoção do crescimento (CAMARGO PRADO et al., 2015).

O leite de coco é um líquido branco opaco obtido pressionando o endosperma de coco ralado ou moído com ou sem adição de água. Este se constitui basicamente como uma emulsão óleo em água, sendo muito utilizado como ingrediente na culinária brasileira (SIMÕES et al.,

2015). É um ingrediente importante de receitas também, em várias partes do mundo devido ao seu sabor original e outras características sensoriais desejáveis. É usado em pratos tradicionais asiáticos e está disponível em todo o mundo em várias formas (SAIKHWAN et al., 2015). Estima-se que 25% da produção mundial de coco sejam consumidas como leite de coco. Os principais constituintes do leite de coco são a água (76-84%), lipídios (11-18%), proteínas (0.3-0.9%), carboidratos (3,5-8,1%) e minerais (0,4-0,7%), como fósforo, cálcio e potássio (LIRA et al., 2017). O leite de coco possui ainda vitaminas B₁, B₂, B₃ e C. Existem amplas evidências na literatura sobre os efeitos anti-hipertensivos, antioxidativos, antimicrobianos, imunomoduladores, cardioprotetores e anti-inflamatórios (AJEIGBE et al., 2017).

O coco ralado é obtido a partir do processamento de cocos secos. Os processos industriais para obtenção de coco ralado podem ser resumidos nas seguintes etapas: recepção e seleção da matéria-prima, abertura dos frutos, despulpagem, despeliculagem, lavagem das amêndoas, seleção final, tratamento térmico, corte e embalagem (LIMA et al., 2014). O coco ralado é utilizado para atender a demanda de grandes empresas produtoras de chocolate, biscoito, iogurtes, sorvetes e padarias, e também atender ao consumidor final que se utiliza destes ingredientes para confecção de bolos e doces em suas residências (FARIAS; PAMPLONA; FARIAS, 2015). O aproveitamento do coco ralado para produção de farinha em produtos de panificação é uma forma de minimizar o custo do produto final. É rico em ácidos graxos saturados como o cáprico, caprílico, capróico, láurico, mirístico, palmítico e esteárico; e os insaturados oleico e linoleico (MAIA; BARROS; CUNHA, 2015; SOARES, 2017).

3.2 Secagem de alimentos

O mercado de alimentos exige cada vez mais o desenvolvimento de técnicas capazes de estender o prazo de validade dos alimentos, uma vez que os consumidores exigem produtos frescos sem o uso de conservantes (PROSAPIO; NORTON, 2017). Frutas e hortaliças são alimentos altamente perecíveis, pois sofrem reações de degradação pela proliferação de bactérias, devido ao seu elevado teor de umidade (DEV; RAGHAVAN, 2012). Por esse motivo, vários processos industriais foram desenvolvidos para sua preservação. Entre eles, a secagem é o método mais comum, uma vez que a remoção da água inibe o crescimento dos microrganismos e a atividade enzimática e diminui o peso do produto, simplificando também o seu transporte e armazenamento (BRUIJN JOHANNES et al., 2015).

As vantagens da secagem são várias, entre as quais temos uma melhor conservação do produto e redução do seu peso. Isto sem falar em termos de preço, pois muitas vezes a secagem

é mais econômica do que outros processos de conservação. Alguns produtos quando submetidos a secagem conservam bastante intactas suas características físicas e nutritivas e, quando lhes restituir a água, retornarão ao aspecto natural ou mudarão muito pouco (GAVA, 2009).

Diferentes processos de secagem foram propostos na literatura. A técnica de desidratação mais popular e antiga é a secagem ao ar, na qual a umidade é removida por evaporação. No entanto, vários autores relataram que este processo pode causar vários efeitos adversos sobre os atributos alimentares, como o endurecimento, o encolhimento, a capacidade de reidratação pobre e a alteração das características sensoriais (PROSAPIO; NORTON, 2017). Outra técnica comum é representada pela liofilização, que consiste no congelamento do produto e, em seguida, na remoção da água por sublimação. Esta técnica permite manter a qualidade e a estrutura dos alimentos melhor do que outros processos de desidratação, mas apresenta algumas desvantagens, como altos custos de energia e tempos de processamento muito longos, o que restringe sua aplicabilidade a produtos de alto valor (KARAM et al., 2016).

O maior desafio numa secagem de alimentos se resume a remover água do material da maneira mais eficiente, com melhor qualidade do produto, impacto mínimo no meio ambiente e com os menores custos de capital e operação do processo (WU et al., 2010). Em relação aos setores industriais, a alimentação e a agricultura continuam a ser os setores mais dominantes em relação à importância crítica da secagem para essas indústrias (MUJUMDAR et al., 2010). Diversos produtos alimentares são rotineiramente preservados por secagem, dentre eles têm-se grãos, produtos marinhos, produtos à base de carne, produtos lácteos, bem como frutas e vegetais (JANGAM, 2011). Contudo, esses produtos ainda necessitam de embalagens que forneçam certas características de proteção, para que as suas propriedades sejam mantidas no processo de secagem e cheguem até o final do tempo de armazenamento (PATRÍCIA; DE FIGUEIRÊDO; QUEIROZ, 2004).

A secagem é um excelente método de preservação de alimentos. No entanto, a desidratação de um alimento é um processo muito complexo devido à sua estrutura interna e transferência simultânea de calor e massa durante a secagem (ESFAHANI; MAJDI; BARATI, 2014). A compreensão da transferência real de calor e massa durante a secagem é crucial para otimizar a eficiência energética do processo de secagem e preservar os atributos de qualidade dos materiais alimentícios (KHAN et al., 2017). Muitas mudanças físicas e químicas ocorrem no tecido alimentar durante a secagem e as distribuições de umidade e temperatura contribuem significativamente para essas mudanças (BARATI; ESFAHANI, 2012). Portanto, a compreensão das distribuições de umidade e temperatura e do mecanismo de transporte durante a secagem é importante. A taxa de transporte de umidade depende do tamanho e orientação das

células, bem como dos tipos de água celular nas amostras (HALDER AMIT; DATTA ASHIM K.; SPANSWICK ROGER M., 2011).

Os materiais de origem vegetal são higroscópicos e de natureza porosa e contêm dois tipos de água, a água livre e a água ligada (KHAN et al., 2018). A água livre está presente em capilares ou espaços intercelulares; enquanto que, a água no espaço intracelular é referida como água ligada (KHAN et al., 2016). Devido ao conhecimento insuficiente sobre as rotas de migração e características da água livre e da água ligada durante a secagem, os modelos atuais de secagem de alimentos consideram os mecanismos de transporte de água na modelagem matemática (MERCIER et al., 2014).

É relatado que a migração de água livre tem um efeito mínimo sobre a qualidade dos alimentos. A migração da água ligada causa o encolhimento celular, a formação de poros e o colapso das células e da estrutura dos poros e, portanto, tem um efeito importante na qualidade dos alimentos (JOARDDER et al., 2015). Além disso, os requisitos de energia para a secagem de um determinado material alimentar dependem da sua estrutura celular e das distribuições de umidade no nível celular (BARATI; ESFAHANI, 2013). O transporte de água ligada requer mais energia comparado ao transporte de água livre (RAHMAN et al., 2018). Na maioria dos casos, a energia e o tempo necessários para os primeiros 90% de água são quase iguais à energia e ao tempo necessários para remover os últimos 10% de água presentes em uma amostra de alimentos (JOARDDER et al., 2015).

A perda de qualidade durante a secagem pode limitar o valor de mercado e a demanda por alimentos secos (KROKIDA; MAROULIS, 2000). A avaliação de parâmetros como forma, cor, textura, sabor e características nutricionais é muito importante na investigação da qualidade dos frutos secos. Uma das principais razões para a perda de qualidade de frutas secas tradicionalmente é o colapso da estrutura do produto que pode ser avaliada através de parâmetros físicos como volume, porosidade, distribuição de tamanho de poros e textura. Esse colapso pode reduzir a porosidade dos materiais secos, influenciando na retenção do sabor, na distribuição da umidade, na capacidade de reidratação, resultando em endurecimento indesejável do produto (YAN; SOUSA-GALLAGHER; OLIVEIRA, 2008). Além disso, as propriedades nutricionais e sensoriais dos produtos secos por processos tradicionais (secagem solar, secagem ao ar) podem ser danificadas durante a secagem, devido à sensibilidade térmica dos pigmentos e nutrientes da maioria das frutas e vegetais, causando perda significativa da cor original e conteúdo de vitaminas e outros nutrientes (OCHOA-MARTÍNEZ et al., 2012).

3.2.1 Liofilização

A liofilização é um processo de desidratação em que os produtos passam por uma diminuição de pressão e temperatura onde a água, anteriormente congelada, passa do estado sólido diretamente para o estado gasoso (sublimação). Esse processo é bastante eficaz, uma vez que a temperatura utilizada é baixa e o ar atmosférico não está presente. Com isso, as propriedades dos produtos, no caso, os alimentos, não são alteradas largamente (GAVA, 2009).

Todas as substâncias podem se apresentar sob um dos três estados da matéria: sólido, líquido ou gasoso. Quando se alteram condições, como temperatura e pressão, duas fases podem coexistir, podendo até as três fases coexistirem sob características determinadas. No plano cartesiano, quando as três fases coexistem, temos o chamado “ponto triplo” da substância. Quando essas condições de temperatura e pressão são mais baixas que a característica do ponto triplo da substância, a fase líquida desaparece e essa substância passa do estado sólido para o estado gasoso e vice-versa diretamente. O ponto triplo da água é definido por uma temperatura de aproximadamente 0 °C e pressão de 4,7 mm de mercúrio (GAVA, 2009).

Na liofilização não há grande quantidade de água presente em estado líquido, uma vez que a água é previamente congelada. Deste modo, diferentemente de outros métodos de desidratação, as alterações observadas no processo são bastante minimizadas. Ademais, o processo necessita somente de um leve aquecimento, o que faz com que suas características nutritivas e sensoriais no produto final sejam bastante similares às do alimento fresco. No entanto, por se tratar de um processo que necessita de um congelamento prévio, manutenção do vácuo, dentre outras características inerentes, os custos do equipamento e da operação são elevados (ORDOÑEZ et al, 2005).

Uma das etapas da liofilização é o congelamento. Esse processo transforma as soluções aquosas dos alimentos em uma mistura de duas fases: uma constituída por cristais de gelo e a outra pela solução concentrada dos solutos. O congelamento pode ser feito em um congelador à parte ou no próprio equipamento, no caso, o liofilizador. A escolha da velocidade e do tipo desse congelamento influenciam na estrutura final do produto estudado, pois a distribuição dos poros neste depende do tamanho e da localização dos cristais de gelo formados. Essas características em questão são particulares a cada alimento e são o que determinam as condições que serão utilizadas no processo de secagem (ORDOÑEZ et al, 2005).

3.2.3 Adjuvantes de secagem

Os produtos alimentares secos (por exemplo, frutas liofilizados e/ou desidratadas por aspersão) estão comumente em estado amorfo, e os sólidos amorfos sofrem alterações reológicas a uma temperatura crítica, conhecida como temperatura de transição vítrea (Tg). A Tg é entendida como a temperatura à qual um produto muda entre um estado vítreo (sólido) e um estado de borracha (semelhante a um líquido) (ROOS, 1995). A transição vítrea também ocorre em um teor ou atividade de água (Aw), mesmo a uma temperatura constante, porque a Tg de sólidos amorfos diminui com um aumento no conteúdo de água; quando a Tg se torna inferior à temperatura ambiente como resultado da sorção de água, o material vítreo muda para um material emborrachado. Assim, as curvas Tg (Tg versus teor de água) e as isotermas de sorção de água (teor de água versus aw) fornecem critérios importantes para o processamento (GOULA; ADAMOPOULOS, 2008; M. ELMONSEF OMAR; ROOS, 2007), estabilidade de armazenamento, e controle de textura (KUROZAWA; HUBINGER; PARK, 2012; MRAD et al., 2013) de sistemas de alimentos secos.

Os materiais ricos em açúcares e ácidos de baixo peso molecular, como os sucos de frutas produzem pós muito higroscópicos, suscetíveis a aglomeração e problemas de fluidez. Geralmente, em processos de secagem têm-se temperaturas altas em que tais compostos tendem a apresentar os problemas de adesão às paredes da câmara de secagem, além de coesão (adesão das partículas entre si) e viscosidade elevada, produzindo produtos pastosos ao invés de pós (BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997; ROOS, 1995). Em virtude desses fatores, há um comprometimento da estabilidade do produto e redução do rendimento do processo, uma vez que o produto adere às paredes do secador, causando até mesmo problemas operacionais no equipamento (BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997). Essa alta higroscopicidade é explicada pelo fato de que os açúcares e ácidos de baixo peso molecular têm baixa temperatura de transição vítrea (Tg), tornando-se gomosos à temperatura da câmara de secagem (BHANDARI; HARTEL, 2005; DOLINSKY; MALETSKAYA; SNEZHKIN, 2000).

Quando se adicionam agentes carreadores auxiliares de secagem, que são carboidratos de alto peso molecular, como a maltodextrina, o problema pode ser evitado ou minimizado, já que esta possui alta temperatura de transição vítrea, sendo capaz de reduzir a higroscopicidade dos pós e facilitar a secagem (BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997; BHANDARI; HARTEL, 2005).

Alguns estudos indicam que a goma arábica tem valores de Tg maiores que as das maltodextrinas (COLLARES; FINZER; KIECKBUSCH, 2004; MOREIRA et al., 2013), o que

sugere que a goma arábica é provavelmente mais efetiva que as maltodextrinas para reduzir a higroscopicidade de pós. Porém, o custo e a oferta limitada em decorrência de a goma arábica ser produzida em áreas sujeitas a imprevisíveis variações climáticas e turbulência política, podem interromper a oferta do produto e têm restringido seu uso (MCNAMEE; O'RIORDA; O'SULLIVAN, 1998).

As maltodextrinas são biopolímeros originados da hidrólise parcial do amido formado de unidades D-glicose unidas por ligações glicosídicas (1,4). Elas podem ser classificadas pelo seu grau de hidrólise, expresso em dextrose equivalente (DE), que é a porcentagem de açúcares redutores calculada como glicose em relação ao seu peso seco de amido (SANTIAGO, 2011).

Em geral, as maltodextrinas são carboidratos de baixa densidade, baixa viscosidade a altas concentrações, totalmente solúveis em água, não possuem aromas de amido, que mascaram o aroma original e, ainda, podem ser encontradas em diferentes massas moleculares. Sendo um importante agente carreador nos processos de secagem, a maltodextrina confere ao produto uma menor higroscopicidade, fazendo com que os pós obtidos sejam mais estáveis e menos suscetíveis aos processos deteriorantes comumente observados (ZARDO, 2014).

3.3 Pós de frutas

As frutas são ricas em carboidratos, principalmente sob a forma de açúcares simples como a glicose e a frutose, constituindo ainda, boa fonte de nutrientes como minerais, vitaminas, fibras dietéticas, compostos fenólicos e carotenoides (TANG; SHI; ALEID, 2013). Quando se convertem frutas ricas em açúcares em pós de frutas, surgem problemas em relação à aderência, manuseio e armazenamento seguro (SABLANI; SHRESTHA; BHANDARI, 2008). Isto se deve principalmente à presença de açúcares de baixo peso molecular, como frutose, glicose, sacarose e alguns ácidos orgânicos na fruta. Além disso, esses açúcares normalmente presentes são muito higroscópicos em seu estado amorfo e apresentam baixa temperatura de transição vítrea. Assim, são adicionados adjuvantes de secagem ou agentes transportadores, tais como a maltodextrina com diferentes equivalentes de dextrose (DE), gomas e isolados proteicos, para aumentar a temperatura de transição vítrea, reduzir a viscosidade e obter pós de fluxo livre (FARAHNAKY et al., 2016).

As propriedades físicas dos pós são usadas para definir suas características e comportamentos durante o processamento, manuseio e armazenamento (JAYA; DAS, 2004). Por exemplo, o fluxo de pó é definido como o movimento relativo de partículas em massa entre partículas vizinhas ou ao longo da superfície da parede do recipiente (MITRA et al., 2017).

Alguns estudos foram realizados para produzir pós de frutas por diferentes métodos de secagem, como a secagem convencional de forno (SABLANI; SHRESTHA; BHANDARI, 2008), secagem a vácuo (SAHARI; HAMIDI ESFAHANI; SAMADLUI, 2008), secagem por pulverização (MANICKAVASAGAN et al., 2015). No entanto, a obtenção de pó de fluxo livre a partir desses métodos foi muito difícil, uma vez que a viscosidade ficou alta demais, como sempre ocorre às temperaturas de secagem de cerca de 20 °C acima da temperatura de transição vítrea (Tg) (DU et al., 2014; FAZAELI et al., 2012).

Portanto, com a temperatura operacional menor que envolve o processo de liofilização, este pode ser um método apropriado para produzir pós de fluxo livre. A baixa temperatura de operação reduz o risco de oxidação e minimiza os danos térmicos aos nutrientes, minerais e vitaminas (MUTHUKUMARAN; RATTI; RAGHAVAN, 2008). No entanto, a liofilização além de gerar pós com partículas não esféricas, leva mais tempo de secagem e, portanto, consome energia alta, além dos custos do equipamento e manutenção (MUTHUKUMARAN; RATTI; RAGHAVAN, 2008).

3.4 Isotermas

As isotermas de sorção descrevem a relação entre a atividade da água e o teor de umidade de equilíbrio de um alimento em temperatura constante. São úteis na compreensão das características das propriedades estruturais do produto, como propriedades termodinâmicas, propriedades específicas da superfície e propriedades de sorção. Por sua vez, essas propriedades fornecem informações valiosas sobre a estabilidade da vida útil e algumas etapas do processo, incluindo o empacotamento, armazenamento e design ou otimização do processo de secagem (ALPIZAR-REYES et al., 2017).

Existem diversos modelos matemáticos de ajuste de isotermas de sorção, estes descrevem o comportamento das isotermas, sendo úteis no conhecimento das características do produto (PARK; BIN; BROD, 2001). Dentre os modelos matemáticos mais utilizados para isotermas de adsorção destacam-se os modelos de BET, GAB, Henderson e Oswin (Tabela 1).

Tabela 1 – Modelos matemáticos para o ajuste das isotermas de adsorção do pó da polpa de coco verde.

Modelos	Equações
---------	----------

GAB	$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)}$
BET	$X_{eq} = \frac{X_m \cdot C \cdot a_w}{(1 - a_w)} \cdot \left[\frac{1 - (n + 1) \cdot (a_w)^n + n \cdot (a_w)^{n+1}}{1 - (1 - C) \cdot a_w - C \cdot (a_w)^{n+1}} \right]$
Henderson	$X_{eq} = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{b} \right]^{\frac{1}{a}}$
Oswin	$X_{eq} = a \cdot \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^b$

X_{eq} – umidade de equilíbrio ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$); X_m – conteúdo de água na monocamada molecular ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$); a_w – atividade de água; n – número de camadas moleculares; C, K – constantes de sorção; a, b – parâmetros de ajuste.

Não há apenas um modelo que possa descrever satisfatoriamente as isotermas de todos os alimentos, pois a atividade de água é influenciada pela composição do alimento e da interação de todos esses constituintes com a água em condições de equilíbrio (OLIVEIRA; COSTA; AFONSO, 2014).

Uma das importantes aplicações das equações de isotermas é estabelecer energia de ligação e adsorção e a monocamada molecular de água, que indicam a relação da água com as reações químicas que determinam a deterioração dos materiais biológicos, além de permitir o estudo do potencial de conservação de alimentos desidratados, estabelecer um projeto adequado de embalagens permeáveis, estabelecer o teor de umidade que resulta em vida de prateleira mais longa, etc. (PARK et al., 2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matérias-primas

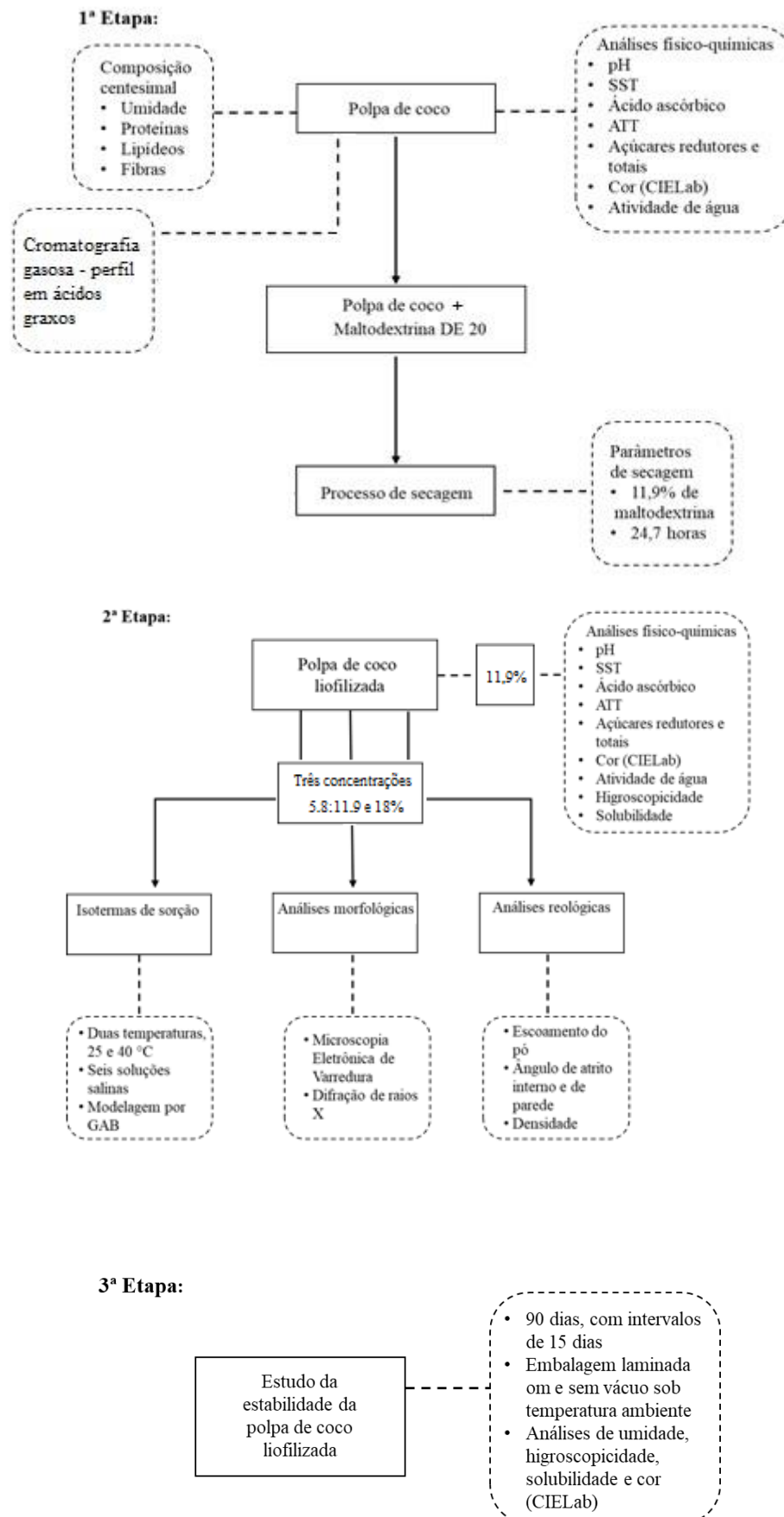
As polpas de coco verde pasteurizadas utilizadas nos experimentos e o adjuvante de secagem foram adquiridos em comércio local de Fortaleza-CE. O transporte das polpas de mesmo lote até o Laboratório de Refrigeração do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará foi realizado em caixas isotérmicas, seguido de armazenamento em freezer à temperatura de -18 °C até o momento das análises.

Como adjuvante de secagem foi utilizado a maltodextrina com dextrose equivalente (DE) 20 para formulação das amostras antes de serem submetidas à secagem.

4.2 Etapas do projeto

O projeto foi realizado em três etapas (Figura 1). Na primeira etapa realizou-se a caracterização da polpa de coco, os ensaios para definir a melhor condição de secagem e a secagem da polpa de coco na condição escolhida. Na segunda etapa, o pó obtido na condição de secagem escolhida foi submetido à análises físico-químicas, morfológicas e reológicas. O pó otimizado também foi utilizado nas isotermas de sorção. Já na terceira etapa, avaliou-se a estabilidade do pó obtido na melhor condição de secagem durante 90 dias.

Figura 1 – Descrição das etapas do projeto.



4.3 Caracterização da polpa

As análises foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade de Alimentos e Secagem da Universidade Federal do Ceará. Previamente, 300g de polpa foram descongeladas sob refrigeração. A caracterização da polpa de coco líquida foi realizada em triplicata, com as seguintes análises:

pH: Foi determinado segundo norma analítica 017/IV para determinação eletrométrica do pH do Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando potenciômetro, previamente calibrado. Para os produtos em pó, foi realizada uma diluição de 1,0 g da amostra para 10 mL de H₂O destilada, e após homogeneização das partículas suspensas, efetuada a leitura.

Acidez total titulável: Determinada por titulometria segundo norma 016/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008), no qual a amostra foi acrescentada de água destilada e fenolftaleína 1% em erlenmeyer de 100 mL e então titulada com NaOH 0,1 N até coloração levemente rósea. O cálculo foi efetuado por meio da Equação 1:

$$A = \frac{F \times f \times V \times 10}{m} \quad (1)$$

Em que:

A – Acidez (%); F- Fator do ácido (no presente estudo, o ácido cítrico); f - Fator do NaOH; V - Volume de NaOH gasto (mL); e: m - Massa da amostra (g);

Açúcares redutores e totais: Foi determinado segundo método colorimétrico do 3,5-dinitrosalicílico (DNS), descrito segundo Miller (1959).

Sólidos solúveis: Realizado por meio de refratometria, segundo normas analíticas 315/IV para frutas e produtos de frutas do Instituto Adolfo Lutz (2008); no qual para leitura do produto em pó foi realizada uma diluição de 1,0 g da amostra para 10 mL de H₂O destilada, com posterior homogeneização das partículas suspensas. Para amostras líquidas foram utilizadas gotas do produto sem diluição.

Ácido Ascórbico: Determinado pelo método de Tillman conforme descrito por Strohecker e Henning (1967), no qual aproximadamente 1,0 g da amostra foi pesada em um becker e adicionada de ácido oxálico (0,5%). Logo após, o conteúdo do becker foi transferido para um balão de 100 mL e o volume completado com ácido oxálico (0,5%). Uma alíquota de 5,0 mL foi transferida para um erlenmeyer e adicionou-se 45 mL de água destilada para então titular com 2,6-diclorofenolindol (DFI), de concentração 0,02%, até coloração rósea

persistente. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico/100 g em base seca. O cálculo foi efetuado por meio da Equação 2:

$$AC = \left(\frac{T \times V}{1000} \right) \times \left(\frac{10000}{5 \times m} \right) \quad (2)$$

Em que:

AC – Ácido ascórbico ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$); T – Título do DFI; V – Volume de DFI gasto (mL);
e: m - Massa da amostra (g);

Cor instrumental: A determinação dos parâmetros colorimétricos foi realizada usando um colorímetro Konica Minolta spectrophotometer modelo CR410, conforme orientação do fabricante, com determinação de L*(luminosidade), coordenada a*(cromaticidade verde e vermelho), b*(cromaticidade amarelo e azul).

Umidade: Foi determinada utilizando balança determinadora de umidade modelo ID50 da empresa Marte, sob condições de $105^{\circ}\text{C}/30\text{s}/0,05\%$ de variação, conforme instruções do fabricante.

Atividade de água: Foi realizada a determinação através do uso do equipamento AQUALAB (Decagon Devices, modelo 4TE) na temperatura de 25°C , conforme instrução do fabricante.

Lipídeos: Foram determinados segundo a norma analítica 353/IV para alimentos com alto teor de água, de acordo com o método de Bligh-Dyer modificado do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Proteínas: Foram determinadas segundo a norma analítica 036/IV, baseada em digestão, destilação e titulação, de acordo com o método de Kjeldahl clássico do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Fibras: Foram determinadas segundo a norma analítica 044/IV para fibra bruta, de acordo com o método de Henneberg do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Perfil em ácidos graxos: A análise da composição dos ésteres metílicos foi realizada de acordo com o método Cd 1-62 da American Oil Chemist's Society (AOCS, 2009). Inicialmente pesou-se entre 30 – 100 mg de amostra, adicionou-se 4 mL da solução 0,5 N de hidróxido de sódio em metanol. Fechou-se bem o tubo de ensaio e esse foi aquecido em banho de água em ebulição até dissolver completamente os glóbulos de gordura. Em seguida, o tubo foi resfriado sob água corrente, e adicionou-se 5 mL do reagente esterificante sob constante agitação. Depois, a mistura foi aquecida em banho de água fervente por 5 min. Posteriormente, o tubo foi resfriado sob água corrente e adicionou-se 5 mL do reagente esterificante sob agitação. A mistura foi

aquecida em banho de água fervente por 5 min. Decorrido este tempo, procedeu-se o resfriamento da amostra sob água corrente. Adicionou-se 4 mL de solução saturada de cloreto de sódio e agitou-se por 30 segundos. Na terceira etapa do processo, adicionou-se 5 mL do solvente (hexano) e agitou-se vigorosamente por 30 segundos. O produto obtido foi deixado em repouso até a completa separação de fase. O sobrenadante (ésteres metílicos) foi usado para injetar no cromatógrafo gasoso.

4.4 Planejamento experimental e análise estatística

Foi realizado um planejamento experimental para avaliar a melhor condição de secagem em relação ao tempo (h) e concentração de maltodextrina (m/m) na polpa de coco. O planejamento foi realizado por meio da aplicação de delineamento composto central rotacional (DCCR) 2^2 , que inclui 4 ensaios fatoriais, 4 ensaios axiais e duplicata no ponto central (RODRIGUES e IEMMA, 2009).

As variáveis independentes foram o tempo de liofilização e a concentração de maltodextrina na polpa de coco ($m\ m^{-1}$) de acordo com a Tabela 2. As variáveis respostas do planejamento foram: umidade, higroscopicidade, solubilidade e cor instrumental (CIELab) dos pós. Foram realizados um total de 10 ensaios de acordo com Tabela 3. Os dados foram analisados com o auxílio do software Statistica 10.0, dentro do intervalo de 90% de confiança.

Os modelos matemáticos obtidos para cada variável resposta foram avaliados através da análise de variância (ANOVA), do coeficiente de determinação (R^2) e aplicação do teste F (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2001). Foram geradas superfícies de resposta para os modelos considerados preditivos.

Tabela 2 – Níveis das variáveis independentes.

Variáveis:	Níveis				
	-1,41	-1	0	+1	+1,41
Tempo de Secagem (h) (X_1)	16,9	19	24	29	31,1
Concentração de Maltodextrina (%) (X_2)	2,9	5	10	15	17,1

Tabela 3 – Ensaio do planejamento experimental.

Ensaio	Variáveis independentes		Liofilização	
	X ₁	X ₂	Tempo (h)	Maltodextrina (%)
1	+1	+1	29	15
2	-1	+1	19	15
3	+1	-1	29	5
4	-1	-1	19	5
5	0	0	24	10
6	0	0	24	10
7	-1,41	0	16,9	10
8	+1,41	0	31,1	10
9	0	-1,41	24	2,9
10	0	+1,41	24	17,1

X₁-tempo de secagem (h); X₂-concentração de maltodextrina (%).

4.5 Secagem da polpa

Na preparação das amostras antes das secagens, foi feita a homogeneização da mistura, foi utilizado o homogeneizador rotativo TE-102 da marca Tecnal®, onde se adicionou à polpa de coco o adjuvante maltodextrina na concentração desejada, por 5 minutos sob velocidade média.

Cerca de 480 g de amostra da polpa contendo maltodextrina foram colocadas em bandejas circulares (18 cm de diâmetro) de aço inox, congeladas por 24 horas em ultra freezer vertical (Terroni® Equipamentos Científicos), até temperatura de -38 °C e, posteriormente, liofilizadas em equipamento (modelo LS3000, da empresa Terroni® Equipamentos Científicos).

Após a liofilização, as amostras passaram por moagem em moinho de bancada (MA 048 da empresa Marconi®) sob temperatura ambiente.

4.6 Caracterização do pó de polpa de coco

Após a definição da melhor condição de secagem obtida pelo planejamento experimental, o pó obtido foi caracterizado segundo as análises: ácido ascórbico, pH, acidez titulável, sólidos solúveis, açúcares redutores e totais, cor, umidade e atividade de água, conforme descritas no item 4.3.

Os pós foram também caracterizados fisicamente em termos de higroscopicidade e solubilidade, conforme as metodologias descritas a seguir.

Higroscopicidade: baseia-se em um método gravimétrico, realizado conforme descrição apresentada por Goula e Adamopoulos (2008). Uma amostra contendo aproximadamente 1,0 g de pó foi distribuída uniformemente sobre uma placa de Petri, as quais foram dispostas em dessecador por 90 min. As condições de temperatura e umidade relativa (24 °C e 75%) foram controladas pela adição de solução supersaturada de NaCl no dessecador e acondicionamento dos mesmos em estufa de circulação forçada. A higroscopicidade foi expressa em gramas de água absorvida/100g de sólidos totais da amostra.

Solubilidade: seguiu-se metodologia proposta por Cano-Chauca (2005). O método consiste em adicionar 1,0 g da amostra em 100 mL de água destilada sob agitação de 2000 rpm em agitador magnético durante 5 min. A solução foi colocada em tubos e centrifugada a 3000 rpm durante 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para placa de Petri e imediatamente seca em estufa a 105 °C durante 5h. Em seguida, a solubilidade (%) foi calculada por diferença de peso.

A partir do ponto ótimo definido por meio do planejamento experimental (Item 4.4), obtiveram-se as melhores condições do pó e no equipamento. Resolveu-se então, verificar a influência do agente adjuvante sobre as propriedades morfológicas do pó, utilizando outras duas concentrações de maltodextrina na polpa, uma superior com 18% ($m \cdot m^{-1}$) e outra inferior com 5,8% $m \cdot m^{-1}$.

4.6.1 Propriedades morfológicas dos pós da polpa de coco

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV): Foi utilizada para avaliar a morfologia e superfície dos pós obtidos em diferentes concentrações de adjuvante, por meio do uso de um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (Quanta 450 FEG – FEI, proveniente da Central Analítica da Universidade Federal do Ceará). Os pós foram depositados sobre fita adesiva dupla

face, fixada em suporte metálico e recobertos com platina e ouro em metalizadora (Quorum Q 1550T ES, operando de 5 a 20 kV. As imagens foram capturadas e digitalizadas, fornecendo uma cobertura de aproximadamente 25 μm .

Difração de Raios-x (DRX): Essa técnica foi utilizada para determinar parâmetros estruturais dos sólidos e a distância entre os planos cristalinos, além da estrutura de agregados policristalinos. As amostras secas foram fixadas em suporte de vidro, para que as leituras fossem realizadas em um difratômetro de raios-x modelo PAnalytical (X'pert Pro MPD). A região de varredura do ângulo de difração (2θ) foi de 10-100°, a 0,05°/ min.

4.6.2 Propriedades de escoamento dos pós da polpa de coco

Na avaliação do escoamento dos pós foram determinadas as tensões principais de consolidação e não confinada de deslizamento, as densidades aparentes e os ângulos de fricção com a parede (aço inox), através do equipamento Powder Flow Tester (PFT) (Brookfield Engineering Laboratories). As amostras, em duplicata, com 20 g dos pós da polpa de coco verde contendo 5,8; 11,9; e 18% (m/m) de maltodextrina DE20 foram colocadas em bandejas circulares de aço inox e transferidas ao equipamento que aplicou tensões variadas na superfície dos pós, através de disco circular de aço inox, para medição dos parâmetros de escoamento. Para classificar o escoamento dos pós utilizou-se o índice de fluxo (I_f) conforme Eq. 3 e Tabela 4, de acordo com Lopes Neto et al. (2007).

$$I_f = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (3)$$

Em que:

I_f - Índice de fluxo; σ_1 - média da tensão principal de consolidação, kPa; e σ_c - média da tensão não confinada de deslizamento, kPa.

Tabela 4 – Classificação do tipo de escoamento de produtos sólidos armazenáveis.

Tipo de escoamento	Índice de fluxo (I_f)
Sem escoamento	$I_f < 1$
Muito coesivo	$1 < I_f < 2$
Coesivo	$2 < I_f < 4$
Fácil	$4 < I_f < 10$
Livre	> 10

4.6.3 Determinação das isotermas de adsorção dos pós

Para avaliação das isotermas de adsorção de umidade foi empregado o método gravimétrico estático, descrito por Wolf, Spiess e Jung (1985), utilizando-se soluções saturadas de sais (Tabela 5).

Tabela 5 – Atividade de água das soluções salinas saturadas a $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Soluções Salinas	Atividade de Água (a_w)
CH ₃ COOK	0,21
K ₂ CO ₃	0,44
NaBr	0,58
SnCl ₂	0,76
KCl	0,84
BaCl ₂	0,90

As soluções de sais foram preparadas e colocadas em recipientes de vidro temperado fechados com silicone, denominados de células, conforme Figura 2.

As determinações das isotermas de adsorção foram realizadas com a pesagem das amostras, em triplicata, com aproximadamente 0,8 g de cada amostra em cadinhos de alumínio. Em seguida, os cadinhos com as amostras foram colocados sobre o suporte contido dentro dos recipientes de vidro. Após, os recipientes foram colocados em B.O.D para que fossem estudados às temperaturas de 25 e 40 °C. As amostras permaneceram em determinada temperatura até atingirem o equilíbrio, ou seja, até que não houve mais variação de massa acima de 1%. As pesagens foram realizadas a cada 24 horas até atingirem o equilíbrio. Posteriormente, os cadinhos foram levados ao aparelho para medição da atividade de água (AQUALAB).

A umidade de equilíbrio (X_0) foi calculada pela diferença entre a massa que a amostra apresentou no equilíbrio e sua massa seca, conforme Equação 4, utilizada também por Moreira et al. (2013):

$$X_0 = \frac{M_{eq} - M_s}{M_s} \quad (4)$$

Em que:

X_0 = umidade de equilíbrio (g.g^{-1}); M_{eq} = massa da amostra no equilíbrio (g); M_s = massa da amostra seca (g).

Figura 2 – Células de solução salina das isotermas de adsorção contendo amostras de pós de coco, colocadas em B.O.D.



Para o ajuste das isotermas foram utilizados modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin (Tabela 1) que foram ajustados aos dados experimentais. Na definição do melhor modelo que se ajustou as isotermas foram considerados o coeficiente de determinação ajustado (R^2) e o erro médio relativo (E).

4.7 Avaliação da estabilidade do pó

A avaliação da estabilidade do pó obtido na condição de secagem determinada pelo planejamento experimental (Item 4.4), foi realizada durante 90 dias. Foi utilizado no acondicionamento do pó a embalagem laminada (Embalagem Laminada ESA 038, cor ouro, sanfonada com materiais Pet + Alumínio + Poli, e de gramatura 122 g/m²). A polpa após envase, foi submetida ao armazenamento com vácuo e sem vácuo sob temperatura ambiente. Todas as análises foram realizadas em triplicata a cada 15 dias por um período de 90 dias de armazenamento e os resultados foram analisados por ANOVA e teste de diferença de Tukey a 95% de confiança. A avaliação compreendeu análises de teor de umidade; higroscopicidade; solubilidade e cor, de acordo com o descrito no item 4.3 e 4.6.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da polpa de coco

A polpa de coco foi caracterizada de acordo com os parâmetros físico-químicos avaliados (Tabela 6).

Tabela 6 – Caracterização físico-química da polpa de coco.

Parâmetros	Média ± desvio padrão
Umidade (%)	87,54 ± 0,01
Atividade de água	0,99 ± 0,00
Sólidos solúveis (°Brix)	6,40 ± 0,06
Acidez (g de ácido cítrico/100g) ¹	0,34 ± 0,02
pH	4,28 ± 0,02
L*	66,66 ± 0,11
Cor a*	-1,13 ± 0,10
b*	1,26 ± 0,10
Açúcares Redutores (%)	0,05 ± 0,03
Açúcares Totais (%)	3,48 ± 0,03
Ácido ascórbico (mg/100g)*	160,27 ± 0,14
Proteína (%)	8,08 ± 0,45
Lipídeos (%)	1,10 ± 0,03
Fibras (%)	0,91 ± 0,01

¹Valores expressos em base seca.

Fonte: Autor (2018).

A umidade encontrada na polpa de coco foi alta (acima de 85%), mas esses valores são típicos de frutos tropicais que possuem bastante água em sua composição, especialmente o coco (MANIVANNAN et al., 2018). Bezerra et al. (2011) encontraram valores semelhantes (83%) ao avaliar umidade em duas variedades de polpa de manga in natura. Duarte et al. (2017) e Manivannan et al. (2018) encontraram os mesmos valores de umidade (>85%) ao analisarem polpas de cagaita in natura e polpas de coco recém germinadas, respectivamente.

Constatou-se que a atividade de água na polpa de coco obteve um valor acima de 0,99. Em geral, as polpas de frutas apresentam elevada atividade de água (> 0,95), potencial de oxirredução elevado e pH baixo (MORAIS et al., 2017). Sabe-se que a maioria dos

microrganismos cresce em meio com atividade de água no intervalo 0,90–0,99. Faz-se necessário então, a remoção de água até níveis de atividade de água que eliminem a possibilidade de crescimento de microrganismos, além de reduzir as atividades das reações deterioradoras dos alimentos (NETO, 2005). Silva et al. (2017) obtiveram valores equivalentes para os parâmetros umidade e atividade de água em polpa de açaí, sendo o fruto proveniente de uma palmeira, assim como o coco verde.

Soares (2015), ao estudar o efeito do congelamento rápido e lento sobre a polpa de coco verde, encontrou valores superiores aos encontrados no presente estudo (9,65 °Brix). Essa diferença pode ser atribuída ao modo de processamento e origem dos frutos, uma vez que o autor utilizou frutos provenientes de vários estados do país, fornecidos por uma indústria de beneficiamento. No presente estudo, as polpas que foram utilizadas já eram processadas, já que foram obtidas de comércio local. Diferenças no estágio de maturação da colheita desses frutos, assim como condições climáticas e de solo também contribuem para esse tipo de discrepância. Essas mesmas diferenças podem ter contribuído para a diferença de valores no parâmetro acidez, uma vez que o obtido ficou em torno de 0,34, valor esse ligeiramente maior do que em outros estudos realizados em polpa de coco. Ainda com Soares (2015), a polpa de coco verde obteve valores para acidez total titulável de 0,07 a 0,12. Já Teixeira (2017) em seu estudo para o aproveitamento do albúmen sólido do coco verde para obtenção de *smoothie* de frutas tropicais, encontrou valores em torno de 0,06.

Em relação ao pH, nota-se que o valor obtido ficou abaixo de 4,5. Devido à intensa manipulação desses frutos, a polpa de coco pode ser fonte de contaminação de diversas bactérias e fungos, principalmente de coliformes termotolerantes (ABREU et al., 2018). Sabe-se que alimentos que possuem pH baixo são menos suscetíveis ao crescimento microbiano, podendo ser utilizados por mais tempo sem que tais contaminações se desenvolvam, já que a maioria dos microrganismos se desenvolve em pH próximo à neutralidade. Sabe-se ainda que o valor obtido é característico de frutas e hortaliças, que são alimentos ácidos (GAVA; SILVA; FRIAS, 2009). No entanto, Soares (2015) encontrou valores superiores (em torno de 6,22) em polpas de coco congeladas, submetidas ao congelamento rápido e lento. Já Pereira et al. (2009) encontraram os mesmos valores desse estudo para água de coco in natura.

O parâmetro cor foi medido visto que a percepção humana de cores é complexa e subjetiva; assim, a avaliação de cor por inspeções visuais não é utilizada em pesquisas. O Padrão *International Commission on Illumination* (CIELAB) faz uso de três dimensões da esfera de cor: o L^* indica a luminosidade e o a^* e b^* , são as coordenadas cromáticas, onde +a indica vermelho e -a indica verde; +b indica amarelo e -b indica azul (GADONSKI et al.,

2018). Os resultados obtidos para luminosidade (66,66) são mais próximos de 100, característicos de frutos brancos. Pela coordenada a^* , nota-se que a polpa obteve valores que a aproximam mais da cor verde do que da vermelha e pela coordenada b^* , mais da cor amarela que da azul. Resultados semelhantes no parâmetro L^* (66,04 – 66,68) foram obtidos por Costa et al. (2003) ao analisarem polpa de cupuaçu em diferentes métodos de conservação. Cavalcante et al. (2018) também encontraram valores semelhantes para os parâmetros L^* (67,22) e a^* (-1,13) ao analisarem polpa de graviola *in natura*.

Em relação aos açúcares redutores, os valores obtidos foram bem baixos (0,05%). Já os açúcares totais, apresentaram valores em torno de 3,48%. Esse resultado é bastante favorável, já que os açúcares redutores, juntamente com as proteínas, são responsáveis pela reação de Maillard, ou seja, uma das formas de escurecimento não enzimático (SANTOS et al., 2017). Em termos nutricionais, essa reação provoca perda de certos aminoácidos (lisina, arginina, histidina e triptofano) e de valor nutritivo das fontes de proteínas e sob aspecto toxicológico está ligada à formação de compostos mutagênicos (MELO FILHO e VASCONCELOS, 2011). Resultados semelhantes foram obtidos por Assa et al. (2010), ao analisarem quatro cultivares de coco durante a maturação. Três das quatro cultivares estudadas pelos autores, se assemelham aos valores obtidos neste trabalho em relação aos açúcares redutores (0,0 – 0,40) e totais (2,71 – 3,97).

Para o ácido ascórbico obteve-se um valor de 160,27 mg/100g, sendo comum encontrar valores semelhantes nos frutos que são considerados tropicais. Mesmo sendo uma polpa processada e com período de armazenamento estendido, nota-se que o ácido ascórbico ainda se encontrava em quantidades significativas. Perfeito et al. (2015) obtiveram os mesmos valores (150-160 mg/100g) ao analisarem polpas de mangaba *in natura* e congeladas.

Como já citado anteriormente, observa-se a grande quantidade de água presente na polpa (87,54%), bem como o alto teor proteico obtido (8,08%). Lipídeos e fibras não apresentaram valores significativos, apesar da polpa de coco geralmente apresentar valores maiores para esses parâmetros. Santana et al. (2011), ao avaliarem polpa de coco verde *in natura*, encontraram valores um pouco diferentes, sendo os parâmetros avaliados umidade (92,70%), lipídeos (0,39%) e proteína (0,97%), não tendo avaliado o teor de fibra bruta em seu estudo. Soares (2015), por sua vez, encontrou valores de umidade, proteína, lipídeos e fibras de 75,5; 0,09; 10,10 e 10,50% respectivamente, o que faz com que os valores obtidos pelos autores sejam bem diferentes entre si. Já Santana (2012), encontrou valores de 92,70% para umidade, 0,80% para proteína e 1,60% para lipídeos, não tendo avaliado também, as fibras na polpa. Como explicado

anteriormente, a composição química de um fruto depende de diversos fatores intrínsecos e extrínsecos, fazendo com que haja tal variação entre os estudos.

5.1.1 Composição de ácidos graxos da polpa de coco

Apesar da baixa quantidade de lipídeos encontrados, foi realizada a pesquisa de ácidos graxos presentes na polpa. Foi realizada uma cromatografia gasosa, com injeção, separação e detecção da amostra (polpa líquida). A cromatografia gasosa (CG) destaca-se com excelência para separação, detecção e identificação de compostos voláteis e semivoláteis em misturas complexas (HANTAO et al., 2016; MONDELLO, 2011). Os resultados obtidos (Tabela 7) mostram composição típica para óleo de coco, com predominância de ácidos graxos de cadeia média.

Tabela 7 – Ácidos graxos presentes na polpa de coco verde.

Ácido graxo	(%)
Caprílico (C8:0)	6,6
Cáprico (C10:0)	6,1
Láurico (C12:0)	48,9
Mirístico (C14:0)	17,7
Palmítico (C16:0)	8,9
Esteárico (C18:0)	3,3
Oleico (C18:1)	7,4
Linoleico (C18:2)	1,1

Fonte: Autor (2018)

Segundo a identificação feita pela CG, os ácidos graxos saturados presentes no óleo de coco encontrados foram: láurico (C12:0), mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), caprílico (C8:0) e cáprico (C10:0), enquanto os ácidos graxos insaturados são: oleico (C18:1) e linoleico (C18:2). A composição dos ácidos graxos muda durante a maturação e na maioria dos estudos, o ácido láurico (C12:0) está em maior quantidade em todos os estágios de maturação (ELSAYED et al., 2015; SUGAMI; MINAMI; SAKA, 2017; WANG et al., 2015).

Como mostrado na Tabela 7, os ácidos láurico e mirístico são predominantes, seguidos do ácido palmítico, sendo o perfil de ácidos graxos semelhante aos resultados de Silva et al. (2018) e Dorni et al. (2018) que analisaram a composição química do óleo de coco. O ácido

láurico, um ácido graxo de cadeia média, possui inúmeras propriedades que o diferenciam dos ácidos graxos de cadeia longa.

O papel do ácido láurico em questões de saúde, como diminuição do colesterol e acúmulo de gordura e armazenamento é bastante conhecido, além de suas propriedades antimicrobianas bem documentadas e sua importância na perda de peso (ARUNIMA; RAJAMOCHAN, 2018; DAYRIT, 2015; PONPHAIBOON et al., 2018; SANKARARAMAN; SFERRA, 2018). Além disso, as gorduras láuricas são muito usadas na indústria cosmética e alimentícia em virtude de suas propriedades físicas e resistência à oxidação. São muito empregadas no preparo de gorduras especiais para confeitaria, sorvetes, margarinas e substitutos de manteiga de cacau (MENDES; FORMIGONI, 2016).

5.2 Resultados do planejamento experimental

Os resultados obtidos para os ensaios de secagem de polpa de coco por liofilização, utilizando como fatores o tempo de secagem e a concentração de maltodextrina e como variáveis respostas a umidade, higroscopicidade, os parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e a solubilidade encontram-se dispostos na Tabela 8.

A variação dos fatores estudados afetou as variáveis respostas. Os valores de umidade variaram de 2,10 a 3,22%. A higroscopicidade variou de 5,49 a 9,88%. Os parâmetros de cor L^* , a^* e b^* variaram de 81,36 a 86,29; -0,48 a -0,71 e de 3,20 a 6,10, respectivamente. A solubilidade variou de 65,79 a 87,05. A partir dos resultados obtidos, foram gerados modelos de regressão para avaliar a variação das respostas em função da variação dos fatores. Resultados semelhantes foram obtidos por Suravanichnirachorn et al. (2018) ao estudarem pós de Mao (*Antidesma bunius* (L.) Spreng) adicionados de goma arábica e maltodextrina. Eles utilizaram um planejamento experimental com fatorial completo com dois fatores e concentração de 25, 30 ou 35% p/p. Os adjuvantes foram adicionados à polpa e agitados usando um agitador magnético. Posteriormente, as misturas foram congeladas e liofilizadas. Os autores obtiveram, com o aumento da concentração de maltodextrina, aumento da luminosidade (L^*), valores relativamente baixos de umidade (menores que 7%), aumento da solubilidade e diminuição da higroscopicidade. Yamashita et al. (2017) analisaram extratos liofilizados de amoras pretas encapsuladas com maltodextrina 10 e 20 DE. Os autores obtiveram um aumento da luminosidade e valores em torno de 5% de umidade. No entanto, obtiveram baixos valores de solubilidade (menores que 50%) e maiores índices de higroscopicidade (acima de 11%).

Tabela 8 – Valores reais dos fatores e valores das respostas do planejamento experimental da obtenção de polpa de coco em pó.

Ensaio	Fatores		Respostas					
	Tempo de secagem (h)	Concentração de Maltodextrina (%)	Umidade (%)	Higroscopicidade (g/100g)	L*	a*	b*	Solubilidade (%)
1	29	15	2,17	7,68	85,16	-0,48	3,42	82,87
2	19	15	2,82	7,59	82,08	-0,61	3,68	87,05
3	29	5	2,10	8,05	85,60	-0,69	4,59	74,71
4	19	5	2,76	7,41	85,85	-0,61	6,10	74,86
5	24	10	2,21	5,49	81,36	-0,52	3,98	81,65
6	24	10	2,50	5,71	84,08	-0,50	3,51	83,83
7	16,9	10	3,22	8,83	86,29	-0,59	4,15	75,71
8	31,1	10	2,52	6,67	84,93	-0,67	4,06	76,05
9	24	2,9	2,39	9,88	83,84	-0,71	5,05	65,79
10	24	17,1	3,16	5,52	83,45	-0,64	3,20	82,31

Fonte: Autor (2018).

5.2.1 Umidade

Na análise dos efeitos observa-se que apenas a variável tempo, em seu termo linear, teve efeito significativo sobre a umidade, conforme a Tabela 9. Os parâmetros tempo de secagem quadrático e concentração de maltodextrina (linear e quadrática) não tiveram efeitos significativos sobre a umidade, pois apresentaram um p-valor maior que 0,1.

Tabela 9 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente umidade.

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Maltodextrina (L)	0,3087	0,2288	0,2487
Maltodextrina (Q)	0,2457	0,3017	0,4611
Tempo (L)	-0,5732	0,2288	0,0664*
Tempo (Q)	0,3383	0,3017	0,3249
Maltodextrina (L) x Tempo (L)	0,0017	0,3243	0,9961

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Suravanichnirachorn et al. (2018) e Ferrari et al. (2013), ao analisarem pós de Mao (*Antidesma bunius* L. Spreng) e de amora preta adicionados de goma arábica e maltodextrina, obtiveram teores de umidade significativamente menores do que os produtos que não foram adicionados de nenhum adjuvante. Observaram ainda, que a medida que a concentração de carreadores aumentava, o conteúdo de umidade dos pós tendia a diminuir, embora houvesse um limite em que os pós assumiam o comportamento contrário. Sabe-se que a adição de grande quantidade de maltodextrina também pode dificultar a saída de água no processo de secagem, fazendo com que pós com maiores teores do adjuvante apresentem porcentagens maiores de umidade. Essas interações podem explicar porque o tempo, e não o adjuvante, foi significativamente diferente para os pós da polpa de coco.

De acordo com a Tabela 10, para a análise de variância (ANOVA), ao nível de confiança de 90%, foram considerados apenas os efeitos significativos do modelo de regressão para a umidade.

Tabela 10 - Análise de variância para o modelo de regressão da umidade.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F_{calculado}	F_{tabelado}	R²
Regressão	0,660	1	0,660	6,961	3,458	0,47
Resíduos	0,758	8	0,095			
Falta Ajuste	0,338	4	0,084	0,803	55,833	
Erro Puro	0,421	4	0,105			
Total	1,418	9				

Fonte: Autor (2018).

Observa-se pela Tabela 11 que o valor de $F_{\text{calculado}}$ é maior que o do F_{tabelado} , sendo a variável resposta umidade significativa para o modelo de regressão gerado. Verificou-se também que na falta de ajuste o $F_{\text{calculado}}$ é menor que o F_{tabelado} , então, pode-se afirmar que a falta de ajuste não foi significativa. Nota-se também que o R^2 obtido é baixo, por conseguinte, o modelo não é adequado e não foram geradas figuras.

5.2.2 Higroscopicidade

Na Tabela 11, observa-se que as variáveis maltodextrina (linear e quadrática) e tempo quadrático tiveram efeito significativo na variável resposta higroscopicidade. O parâmetro

tempo linear e a interação maltodextrina com o tempo não tiveram efeito significativo sobre a higroscopicidade, pois os p-valores foram maiores que 0,1.

Tabela 11 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente higroscopicidade.

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Maltodextrina (L)	-1,5880	0,1108	0,0444*
Maltodextrina (Q)	2,0701	0,1461	0,0449*
Tempo (L)	-0,5819	0,1108	0,1198
Tempo (Q)	2,1233	0,1461	0,0437*
Maltodextrina (L) x Tempo (L)	-0,2773	0,1571	0,3281

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2018).

Nota-se que o parâmetro higroscopicidade foi influenciado grandemente pelas variáveis independentes, sendo observado em grande parte dos ensaios o comportamento inversamente proporcional no tempo de liofilização e concentração de maltodextrina. A medida que aumentava-se o tempo e a concentração, o parâmetro diminuía.

A higroscopicidade dos sucos e extratos de frutas em pó está relacionada aos açúcares de baixo peso molecular e ácidos orgânicos com baixa Tg e umidade, o que por vezes leva a uma alta higroscopicidade (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014; FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012; KUCK; NOREÑA, 2016; TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). Sabe-se também, que menores valores de higroscopicidade encontrados para os pós liofilizados podem ser relacionados ao maior tamanho de partícula quando comparado a outros métodos de secagem (MAN; IRWANDI; ABDULLAH, 1999), porque quanto maior o tamanho de partícula, menor a superfície exposta área e, conseqüentemente, menor é a absorção de água (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009).

No entanto, observa-se que a maltodextrina foi o fator que mais influenciou a higroscopicidade dos pós. Mesmo assim, em alguns ensaios o maior teor de maltodextrina não conseguiu diminuir essa higroscopicidade, e por vezes, esse adjuvante se comporta como observado no item 5.2.1, dificultando a saída da água e conseqüente sublimação da mesma no processo. Sabe-se ainda, que as maltodextrinas com um menor DE têm uma maior porcentagem de oligossacarídeos de cadeia longa, portanto, maior peso molecular. Assim, a maltodextrina 20DE é mais hidrolisada e a presença de um maior número de ramificações, com seus grupos hidrofílicos, prontamente absorve água, contribui para reações de degradação, resultando em

maior higroscopicidade (AKHAVAN MAHDAVI et al., 2016; TONON; BRABET; HUBINGER, 2011, 2010).

Para a análise de variância (ANOVA), ao nível de confiança de 90%, foram considerados apenas os efeitos significativos (Tabela 12) do modelo de regressão para a umidade. Observa-se pela Tabela 12 que o valor de $F_{\text{calculado}}$ é maior que o do F_{tabelado} , sendo a variável resposta higroscopicidade significativa para o modelo de regressão gerado. Verificou-se também que na falta de ajuste o $F_{\text{calculado}}$ é maior que o F_{tabelado} , e o coeficiente de correlação possui um valor alto (0,79), desta forma considerou-se o modelo como preditivo, gerando-se as Figuras 3 e 4.

Tabela 12 - Análise de variância para o modelo de regressão da higroscopicidade.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	R^2
Regressão	15,22	3	5,073	7,681	3,289	0,79
Resíduos	3,963	6	0,661			
Falta Ajuste	3,938	5	0,788	31,89	5,309	
Erro Puro	0,025	1	0,025			
Total	19,18	9				

A partir do modelo de regressão ajustado pela análise de o planejamento experimental obteve-se a superfície de resposta (Figura 3) e a curva de contorno (Figura 4). Nota-se que é possível definir um ponto máximo de teor de higroscopicidade na região central dessas figuras, e assim definir os valores de tempo de secagem (24,7h) e concentração de maltodextrina (11,9%), para a liofilização de polpa de coco.

Figura 3 – Superfície de resposta para a variável higroscopicidade do pó da polpa de coco.

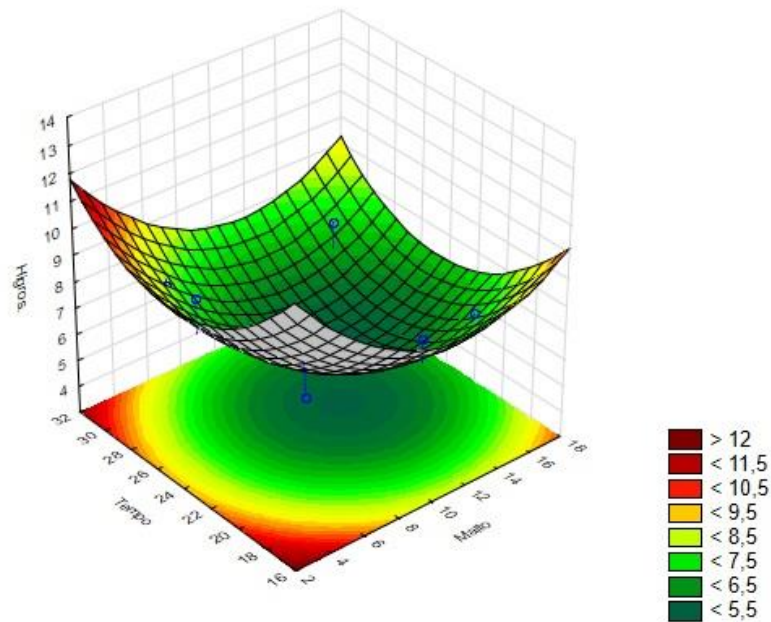
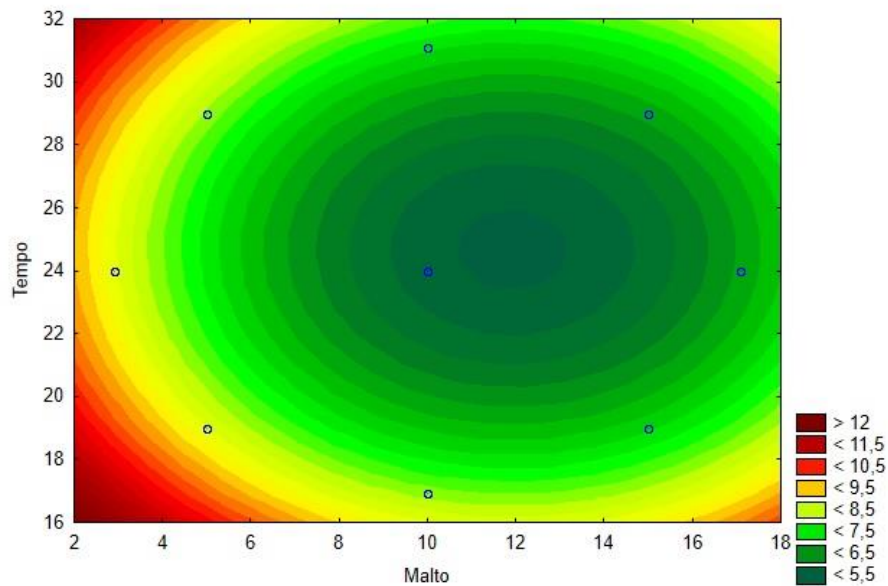


Figura 4 – Curva de contorno para a variável higroscopicidade do pó da polpa de coco.



Através das Figuras 3 e 4 foi possível acompanhar como os menores valores de higroscopicidade foram obtidos com maiores concentrações de maltodextrina na polpa, embora exista um limite em que a adição do adjuvante começa a ter efeito contrário. Nota-se também, que mesmo o tempo tendo influenciado significativamente no parâmetro, há uma tendência para a região central da curva de contorno que corresponde a mínima higroscopicidade possível.

5.2.3 Parâmetro de cor L*

Nota-se que apenas a variável tempo, em seu termo quadrático, teve efeito significativo sobre a luminosidade conforme a Tabela 13. Os parâmetros tempo linear de secagem e concentração de maltodextrina (linear e quadrática) não tiveram efeitos significativos sobre a L*, pois apresentaram um p-valor maior que 0,1. Sabe-se que a maltodextrina geralmente influencia na luminosidade dos pós de frutas. No entanto, como o pó obtido na liofilização da polpa de coco já é branco, o adjuvante não alterou significativamente esse parâmetro de cor.

Tabela 13 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente L*.

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Maltodextrina (L)	-1,1841	1,0103	0,3062
Maltodextrina (Q)	0,9466	1,3321	0,5166
Tempo (L)	0,2218	1,0103	0,8370
Tempo (Q)	2,8956	1,3321	0,0954*
Maltodextrina (L) x Tempo (L)	1,6633	1,4317	0,3099

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2018).

Segundo Ceballos et al. (2012), pós liofilizados de polpa de graviola tratada com maltodextrina eram apreciavelmente mais claros em comparação com o controle. No entanto, em seu trabalho, entre as amostras liofilizadas, aquelas preparadas com maiores tempos de liofilização foram as mais brancas. O processo tem um efeito marcante no brilho de amostras secas: peças congeladas rapidamente mantêm uma cor mais branca porque pequenos poros, originados pela sublimação de pequenos cristais de gelo formados pelo congelamento rápido, espalham mais a luz, influenciando diretamente na luminosidade do produto. Caliskan e Dirim (2016) também obtiveram pós com maiores teores de L* após a liofilização de seu extratos de sumagre com e sem maltodextrina, confirmando que o processo de liofilização também torna os produtos mais brancos mesmo sem adição de adjuvantes como a maltodextrina.

Para a análise de variância (ANOVA), ao nível de confiança de 90%, foram considerados apenas os efeitos significativos (Tabela 14) do modelo de regressão para a luminosidade (L*). O valor de $F_{\text{calculado}}$ para a regressão é maior que o do F_{tabelado} , e para a falta de ajuste o $F_{\text{calculado}}$ foi menor que o F_{tabelado} , porém o R^2 obteve valor muito baixo, 0,41. Assim, o modelo não se apresenta bom para a predição da variável luminosidade e nenhuma figura foi apresentada.

Tabela 14 - Análise de variância para o modelo de regressão da luminosidade (L*).

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F_{calculado}	F_{tabelado}	R²
Regressão	9,684	1	9,684	5,529	3,458	0,41
Resíduos	14,01	8	1,751			
Falta Ajuste	5,812	4	1,453	0,709	55,83	
Erro Puro	8,199	4	2,050			
Total	23,70	9				

Fonte: Autor (2018).

5.2.4 Parâmetro de cor a*

Ao avaliar o parâmetro de cor a*, observa-se que apenas a maltodextrina (linear e quadrática) teve efeito significativo, conforme a Tabela 15. O parâmetro tempo de secagem (linear e quadrático) não teve efeito significativo sobre o parâmetro, pois apresentou um p-valor maior que 0,1.

Segundo o padrão CIELAB, o parâmetro a* é uma coordenada cromática, onde seus valores positivos indicam tendência ao vermelho e valores negativos ao verde. Como os valores variaram entre -0,48 e -0,71, observa-se como a adição de maltodextrina afetou a cor do pó. Mesmo que a variação seja pequena, todas as concentrações de adjuvante na polpa obtiveram valores que a aproximam mais da cor verde do que da vermelha. Observa-se ainda, que o comportamento se mostrou inversamente proporcional, ou seja, quanto mais maltodextrina foi adicionada, menos verde (mais neutro) se tornava o pó. Bhusari et al. (2014), em seus estudos de pós de polpa de tamarindo adicionados de maltodextrina, goma arábica e proteína de soro de leite, obtiveram tendência semelhante ao do presente estudo, onde se demonstra que a neutralidade da cor dos pós continua aumentando com a adição do agente carreador, passando de valores mais altos para mais baixos. Ferrari et al. (2013), ao analisarem pós de amora preta produzidos com goma arábica e maltodextrina, obtiveram o mesmo comportamento de diminuição dos valores de a* com o aumento do adjuvante.

Tabela 15 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente a*.

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Maltodextrina (L)	0,0787	0,0361	0,0950*

Maltodextrina (Q)	-0,1382	0,0477	0,0441*
Tempo (L)	-0,0175	0,0361	0,6536
Tempo (Q)	-0,0936	0,0477	0,1211
Maltodextrina (L) x Tempo (L)	0,1017	0,0512	0,1181

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2018).

Para a análise de variância (ANOVA), ao nível de confiança de 90%, foram considerados apenas os efeitos significativos (Tabela 16) do modelo de regressão para o parâmetro de cor a^* .

Tabela 16 - Análise de variância para o modelo de regressão do parâmetro de cor a^* .

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F_{calculado}	F_{tabelado}	R²
Regressão	0,035	2	0,018	5,427	3,257	0,61
Resíduos	0,023	7	0,003			
Falta Ajuste	0,012	3	0,004	1,535	9,162	
Erro Puro	0,010	4	0,003			
Total	0,058	9				

Fonte: Autor (2018).

Pela Tabela 16, nota-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ da regressão é maior que o do F_{tabelado} , o valor de $F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste foi menor que o F_{tabelado} , e o coeficiente de correlação com valor baixo (0,61). Assim, considerou-se que o modelo não é preditivo e nenhuma figura foi apresentada.

5.2.5 Parâmetro de cor b^*

Ao avaliar o parâmetro de cor b^* , observa-se que somente a maltodextrina no seu termo linear teve efeito significativo, conforme a Tabela 17. Os parâmetros tempo de secagem (linear e quadrático) e maltodextrina (quadrática) não obtiveram efeitos significativos sobre o parâmetro, pois apresentaram um p-valor maior que 0,1.

Tabela 17 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente b^* .

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Maltodextrina (L)	-1,5454	0,3146	0,0080*
Maltodextrina (Q)	0,5405	0,4148	0,2625
Tempo (L)	-0,4745	0,3146	0,2059
Tempo (Q)	0,5157	0,4148	0,2816
Maltodextrina (L) x Tempo (L)	0,6267	0,4458	0,2325

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2018).

Ainda segundo o padrão CIELAB, o parâmetro b^* também é uma coordenada cromática, onde $+b$ indica amarelo e $-b$ indica azul. Os valores desse parâmetro variaram de 3,20 – 6,10, com base na adição de maltodextrina. Nota-se que em todas as concentrações de adjuvante na polpa os valores a aproximam mais da cor amarela do que da azul. Nota-se ainda, que o comportamento se mostrou inversamente proporcional, ou seja, quanto mais maltodextrina foi adicionada, menos amarelo se tornava o pó. Resultados semelhantes foram obtidos por Mahendran (2011), ao estudar concentrado de goiaba seco em spray, túnel e liofilizador com 30, 40, 50 e 60% de maltodextrina. Ele analisou que quanto mais maltodextrina foi adicionada, menos amarelo seus pós se tornavam. Yamashita et al. (2017), ao analisarem extratos liofilizados de amoras pretas encapsuladas com maltodextrina, obtiveram valores semelhantes ao do presente estudo, com b^* variando de 4,01 a 6,51, dependendo da concentração de maltodextrina utilizada.

Para a análise de variância (ANOVA), ao nível de confiança de 90%, foram considerados apenas os efeitos significativos (Tabela 18) do modelo de regressão para o parâmetro (b^*). Pela Tabela 19, nota-se que o valor de $F_{\text{calculado}}$ é maior que o do F_{tabelado} , sendo a variável resposta b^* significativa para o modelo de regressão gerado. Verificou-se também que na falta de ajuste o $F_{\text{calculado}}$ é menor que o F_{tabelado} e o R^2 é 0,70, então, pode-se afirmar que a falta de ajuste não foi significativa, assim o modelo é preditivo.

Tabela 18 - Análise de variância para o modelo de regressão do parâmetro b^* .

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	$F_{\text{calculado}}$	F_{tabelado}	R^2
Regressão	4,796	1	4,796	18,35	3,458	0,70
Resíduos	2,091	8	0,261			
Falta Ajuste	1,296	4	0,324	1,631	55,83	

Erro Puro	0,795	4	0,199
Total	6,887	9	

Fonte: Autor (2018).

A partir do modelo de regressão foram geradas as Figuras 6 e 7. Através das dessas figuras observa-se que os menores valores de b^* foram obtidos com maiores concentrações de maltodextrina e que o tempo não afeta grandemente o parâmetro.

Figura 5 – Superfície de resposta para a variável b^* do pó da polpa de coco.

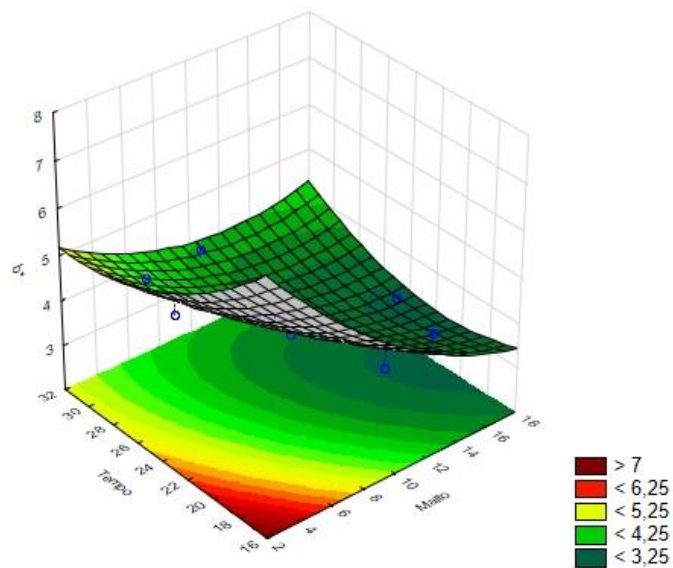
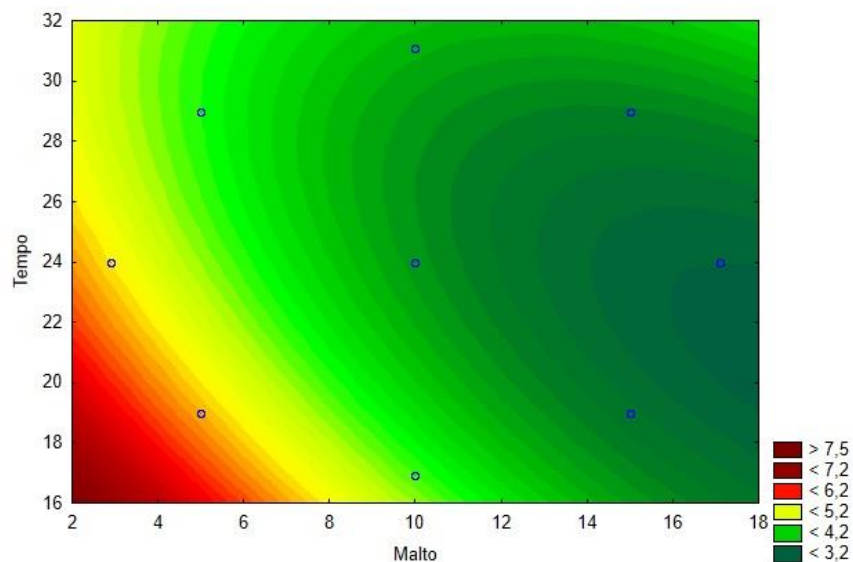


Figura 6 – Curva de contorno para a variável b^* do pó da polpa de coco.



5.2.6 Solubilidade

Ao avaliar a solubilidade, observa-se também, que somente a maltodextrina no seu termo linear teve efeito significativo, conforme a Tabela 19. Os parâmetros tempo de secagem (linear e quadrático) e maltodextrina (quadrática) não obtiveram efeitos significativos sobre o parâmetro, pois apresentaram um p-valor maior que 0,1.

Tabela 19 - Efeitos estimados das variáveis independentes sobre a variável dependente solubilidade.

Fatores	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Maltodextrina (L)	10,9103	2,5831	0,0134*
Maltodextrina (Q)	-6,2539	3,4061	0,1402
Tempo (L)	-0,9565	2,5831	0,7299
Tempo (Q)	-4,4383	3,4061	0,2625
Maltodextrina (L) x Tempo (L)	-2,0175	3,6605	0,6109

*Valores significativos para $p < 0,1$; L: termo linear; Q: termo quadrático.

Fonte: Autor (2018).

A alta porosidade desenvolvida em produtos liofilizados desempenha um papel significativo nas propriedades de reconstituição. Os resultados mostraram que a adição de maiores quantidades de maltodextrina antes da secagem gerou pós com maiores solubilidades. Caliskan e Dirim (2016) relataram que a solubilidade do pó de extrato de sumagre seco aumentou significativamente de acordo com as concentrações crescentes de maltodextrina ($p < 0,05$). Em um estudo realizado por Mahendran (2011), o concentrado de goiaba foi seco com spray, túnel e liofilizador e o pó de goiaba liofilizado encontrado foi altamente solúvel (96%) em comparação com os outros métodos de secagem.

Para a análise de variância (ANOVA), ao nível de confiança de 90%, foram considerados apenas os efeitos significativos (Tabela 20) para o modelo de regressão para solubilidade. Demonstra-se na Tabela 20, que o valor de $F_{\text{calculado}}$ da regressão é maior que o do F_{tabelado} e, apesar do $F_{\text{calculado}}$ da falta de ajuste ser inferior ao F_{tabelado} , o coeficiente de correlação (R^2) foi menor que 0,7. Desta forma, considera-se que o modelo não é bom para representar comportamento da variável solubilidade e nenhuma figura foi apresentada.

Tabela 20 - Análise de variância para o modelo de regressão da solubilidade.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F_{calculado}	F_{tabelado}	R²
Regressão	239,047	1	239,047	17,550	3,458	0,69
Resíduos	108,965	8	13,621			
Falta Ajuste	55,367	4	13,842	1,033	55,833	
Erro Puro	53,598	4	13,400			
Total	348,012	9				

Fonte: Autor (2018).

5.3 Caracterização do pó liofilizado da polpa de coco

Os resultados da caracterização físico-química do pó da polpa de coco estão descritos na Tabela 21. Ao comparar esses resultados com os da polpa de coco (Tabela 7), nota-se que houve um aumento nos valores dos açúcares redutores e totais, sólidos solúveis e acidez. Isso ocorre porque a secagem reduz o teor de água do produto, e assim, são concentrados os solutos presentes na amostra. Por conseguinte, a umidade e a atividade de água reduziram pela retirada da água.

Observa-se que no parâmetro umidade o valor obtido neste estudo alcançou um valor de 2,36%. Shishir et al. (2017) ao analisarem goiaba em pó com 17% de maltodextrina, encontraram valores semelhantes (3%) em seu estudo utilizando o spray-dryer como secador. Já Zotarelli et al. (2017) estudaram polpas de manga em pó obtidas por diversos processos de secagem, obtendo valores de 1,2 a 4,7% de umidade. Shaaruddin et al. (2017) encontraram valores análogos (2,28) ao analisarem polpa de pitaya vermelha em pó obtida em spray dryer, adicionada de maltodextrina.

Tabela 21 – Caracterização físico-química do pó da polpa de coco.

Parâmetros	Média ± desvio padrão
Umidade (%)	2,36 ± 0,01
Atividade de água	0,09 ± 0,00
Sólidos solúveis (°Brix)	71,0 ± 1,00
Acidez (g de ácido cítrico/100g)	1,72 ± 0,00
pH	4,48 ± 0,00
L*	85,13 ± 0,04

Cor a*	-0,50 ± 0,03
b*	3,62 ± 0,01
Açúcares Redutores (%)	5,08 ± 0,01
Açúcares Totais (%)	6,28 ± 0,08
Ácido ascórbico (mg/100g)*	9,82 ± 0,00
Higroscopicidade (g/100g)	8,81 ± 0,18
Solubilidade (%)	74,90 ± 0,06

*Valores expressos em base seca.

O valor obtido para a atividade de água se mostrou bastante promissor ao atingir índices menores que 0,1. Valores baixos de atividade de água são considerados ideais por serem fundamentais para a diminuição das reações microbiológicas e enzimáticas características de produtos de frutas. Cavalcante et al. (2018) ao avaliarem polpa de graviola em pó obtida em spray dryer com 17% de maltodextrina, obtiveram índices semelhantes ao encontrar valores em torno de 0,15 para a atividade de água desse pó. Zotarelli et al. (2017) estudaram polpas de manga em pó adicionadas ou não de maltodextrina obtidas por diversos processos de secagem e encontraram valores entre 0,18 e 0,24 de atividade de água.

Ao avaliar os sólidos solúveis presentes no pó, encontrou-se um teor de 71 °Brix, um aumento em torno de onze vezes em relação ao encontrado na polpa (6,40). Esse resultado já era esperado, uma vez que o processo de liofilização retira água do produto, concentrando os outros compostos. Oliveira et al. (2014) encontraram valores semelhantes (78 °Brix) ao avaliarem polpa de cajá em pó liofilizada.

No parâmetro acidez, nota-se que houve um aumento em relação ao valor encontrado na polpa (de 0,34 para 1,72). Explicado pois, após a retirada de água os compostos presentes na polpa se concentram. Gouw et al. (2017), ao estudarem frutas secas obtiveram valores semelhantes no parâmetro acidez para framboesa. Sendo que na polpa in natura o valor era de 0,43 e no pó obtido posteriormente, 1,43.

Com relação ao pH, nota-se que o valor obtido (4,48) ainda está abaixo de 4,5, mesmo após a concentração derivada da liofilização. Como citado anteriormente, valores de pH abaixo de 4,5 são ideais para inibir o crescimento microbiano. Duarte et al. (2017) encontraram valores semelhantes (4,39-4,74), ao avaliarem o potencial hidrogeniônico em polpas de marolo (*Annona crassiflora*) liofilizadas.

Nota-se, pelos parâmetros obtidos de cor, o quanto o pó obtido é branco. Na luminosidade, o valor se aproxima bastante de 100 ao atingir 85,13. Ceballos et al. (2012), ao

analisarem graviola liofilizada com 18% de maltodextrina obtiveram valores semelhantes ao do presente estudo no parâmetro L^* (83,47-88,92). Em seu trabalho, os autores descrevem que a velocidade de congelamento tem efeito marcante no brilho das amostras secas. Peças congeladas rapidamente mantêm uma cor mais branca do que aquelas congeladas mais devagar porque pequenos poros, originados pela sublimação de pequenos cristais de gelo formados pelo congelamento rápido, espalham mais luz que poros grandes. Na análise do parâmetro colorimétrico a^* observa-se que o valor continua negativo, ou seja, no teor de cromaticidade verde e vermelho, a amostra se caracteriza como verde, embora seja “menos verde” do que a polpa *in natura*. Oliveira et al. (2015), em seu estudo da estabilidade de licores de graviola, também obteve valores negativos de a^* , em várias de suas amostras. Na análise do parâmetro colorimétrico b^* observa-se que o valor aumentou em relação ao encontrado na polpa *in natura*, ou seja, no teor de cromaticidade azul e amarelo, a amostra se caracteriza como amarela, embora tenha se tornado mais amarela depois do processo de liofilização.

Os valores obtidos para açúcares redutores e totais foram baixos (5,08 e 6,28%, respectivamente). Como citado anteriormente, os açúcares redutores e as proteínas são responsáveis por uma das formas de escurecimento não enzimático, portanto valores baixos são considerados convenientes para determinados propósitos. Loureiro et al. (2013) ao estudarem polpas de buriti em pó encontraram valores semelhantes (4,72-5,52%) para os açúcares redutores e Oliveira et al. (2010) com polpas de ubaia liofilizadas, obtiveram teores de açúcares totais próximos ao obtido no presente estudo ($\leq 10\%$).

Os valores de ácido ascórbico entre a polpa *in natura* e o pó foram bem diferentes. De acordo com o resultado expresso em matéria seca, houve uma redução do teor de ácido ascórbico entre a polpa *in natura* e seu pó liofilizado. Comportamento semelhante foi observado por Oliveira et al. (2011), onde o sapoti liofilizado teve redução de ácido ascórbico em relação ao *in natura*. Segundo Moreira et al. (2013), e Tavares et al. (2011), a preservação da vitamina C durante a liofilização é maior se comparada a métodos de secagem que utilizam altas temperaturas, porém a degradação de vitamina C ocorre tanto pelas altas temperaturas como pela degradação oxidativa. Assim, a redução nos valores de ácido ascórbico nos produtos liofilizados pode ser explicada pela alta porosidade promovida por esse tipo de secagem, expondo o produto ao oxigênio e posterior degradação oxidativa.

Já na higroscopicidade, os valores obtidos (8,81%) também foram encontrados por Oliveira et al. (2014) e se aproximaram bastante dos analisados por Cavalcante et al. (2018) em polpa de cajá em pó liofilizada adicionada de 17% de maltodextrina e polpa de graviola em pó obtida em spray dryer também com 17% de maltodextrina, respectivamente. Esses valores

baixos se justificam pela adição da maltodextrina, que é um material de baixa higroscopicidade, confirmando sua eficácia como agente carreador, responsável por diminuir a higroscopicidade de produtos desidratados.

Para o parâmetro solubilidade obteve-se o valor de 74,90%. Esse valor se aproxima de 100%, o que é comum em pós de frutas liofilizados, uma vez que os produtos obtidos são porosos e sua capacidade de reidratação é potencializada. Essa alta solubilidade também pode ser explicada pela presença da maltodextrina, uma vez que a mesma apresenta elevada solubilidade em água. A utilização de maltodextrina resulta ainda em pós amorfos com baixo teor de umidade, contribuindo para uma rápida reidratação. Esses resultados estão de acordo com Yu (2001) e Cano-Chauca et al. (2005), que relatam que os sólidos amorfos possuem alta solubilidade e alta velocidade de dissolução em comparação com o estado cristalino. Ibiapina et al. (2018) ao estudarem pós de polpa de abacaxi, hortelã e gengibre obtidos por liofilização e spray drying obtiveram valores análogos (76,85%) ao do presente estudo.

5.3.1 Propriedades morfológicas do pó da polpa de coco

5.3.1.1 Difração de Raios-x (DRX)

A difração de raios X é uma técnica comum usada para confirmar o estado cristalino-amorfo de produtos secos em forma de pó. Em geral, o material cristalino mostra uma série de picos agudos, enquanto o produto amorfo produz um padrão de fundo amplo (CAPARINO et al., 2012).

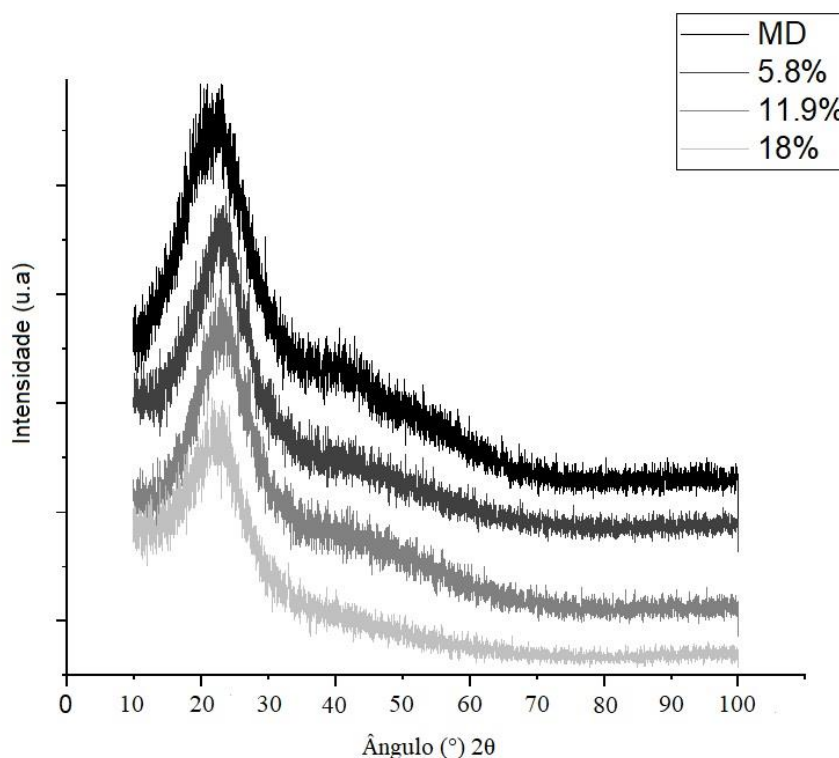
Durante o congelamento, fatores que afetam o crescimento do cristal influenciarão a microestrutura dos pós liofilizados. Na liofilização de sucos e extratos de frutas, produtos com altos teores de açúcares amorfos são obtidos. Este estado favorece a alta higroscopicidade encontrada em pós liofilizados instantâneos (ALMEIDA-CARLOS; RESENDE; CAL-VIDAL, 2005). Em geral, os sólidos amorfos são mais propensos à sorção de água do que as estruturas cristalinas e, portanto, também são mais higroscópicos e mais suscetíveis a desenvolver reações indesejáveis (YU, 2001).

Os espectros de difração de raios X da polpa de coco em pó são mostrados na Figuras 7. Notam-se padrões de difração semelhantes, com um pico de grande magnitude e alguns picos de difração sobrepostos. As curvas de difração revelaram a predominância do domínio amorfo em todas as amostras analisadas. A única diferença entre os pós com diferentes concentrações

foi sua intensidade, na medida em que a concentração de maltodextrina aumenta, o pico de maior magnitude diminui.

No espectro da maltodextrina, observa-se o maior pico entre os difratogramas analisados, sugerindo uma estrutura menos ordenada (mais amorfa). O mesmo comportamento foi mantido nas amostras em todas as concentrações do adjuvante adicionado. Isso evidencia que a maltodextrina é a principal responsável pela estrutura final desses produtos. Ballesteros et al. (2017), em seus estudos sobre compostos fenólicos extraídos de grãos de café submetidos à liofilização e spray-drying adicionados de maltodextrina e goma arábica, obtiveram resultados semelhantes. Ao analisarem os difratogramas, os materiais adicionados de maltodextrina assumiram a forma amorfa similar à amostra do adjuvante puro, sendo o pico de maior magnitude igual ao do presente estudo.

Figura 7 – Difratograma dos pós de polpa de coco liofilizada sem maltodextrina e adicionada de 5,8; 11,9 e 18% de maltodextrina.



Resultados semelhantes foram obtidos por Saifullah et al. (2016). Nas amostras analisadas de pós de pitaya, abacaxi, manga e goiaba, os difratogramas foram equivalentes aos obtidos neste estudo, pois apresentaram o mesmo pico maior, seguido de vários picos menores

sobrepostos, sendo todas as estruturas completamente amorfas. Frota et al. (2018) também obtiveram o mesmo comportamento em suas difrações de galactomanana, alantoína e alantoína encapsulada com galactomanana, com os difratogramas apresentando um pico maior, seguido de vários picos menores. Ainda segundo Frota et al., nota-se a semelhança entre a galactomanana e a maltodextrina, uma vez que a alantoína pura apresentava estrutura cristalina no estudo e após ser encapsulada, o material de parede tornou a estrutura do pó completamente amorfa, semelhante à ação da maltodextrina.

5.3.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O estudo da microestrutura foi realizado nos pós obtidos por liofilização com diferentes concentrações de maltodextrina. Pode-se verificar o efeito do adjuvante sobre a microestrutura do pó no processo. As micrografias obtidas pela microscopia eletrônica por varredura (MEV) são apresentadas na Figura 8. Para cada uma das amostras o teor de umidade é apresentado na Tabela 22.

Figura 8 – Micrografias do pó de polpa de coco liofilizada e adicionada de 5,8% (A e B), 11,9% (C e D) e 18% (E e F) de maltodextrina.

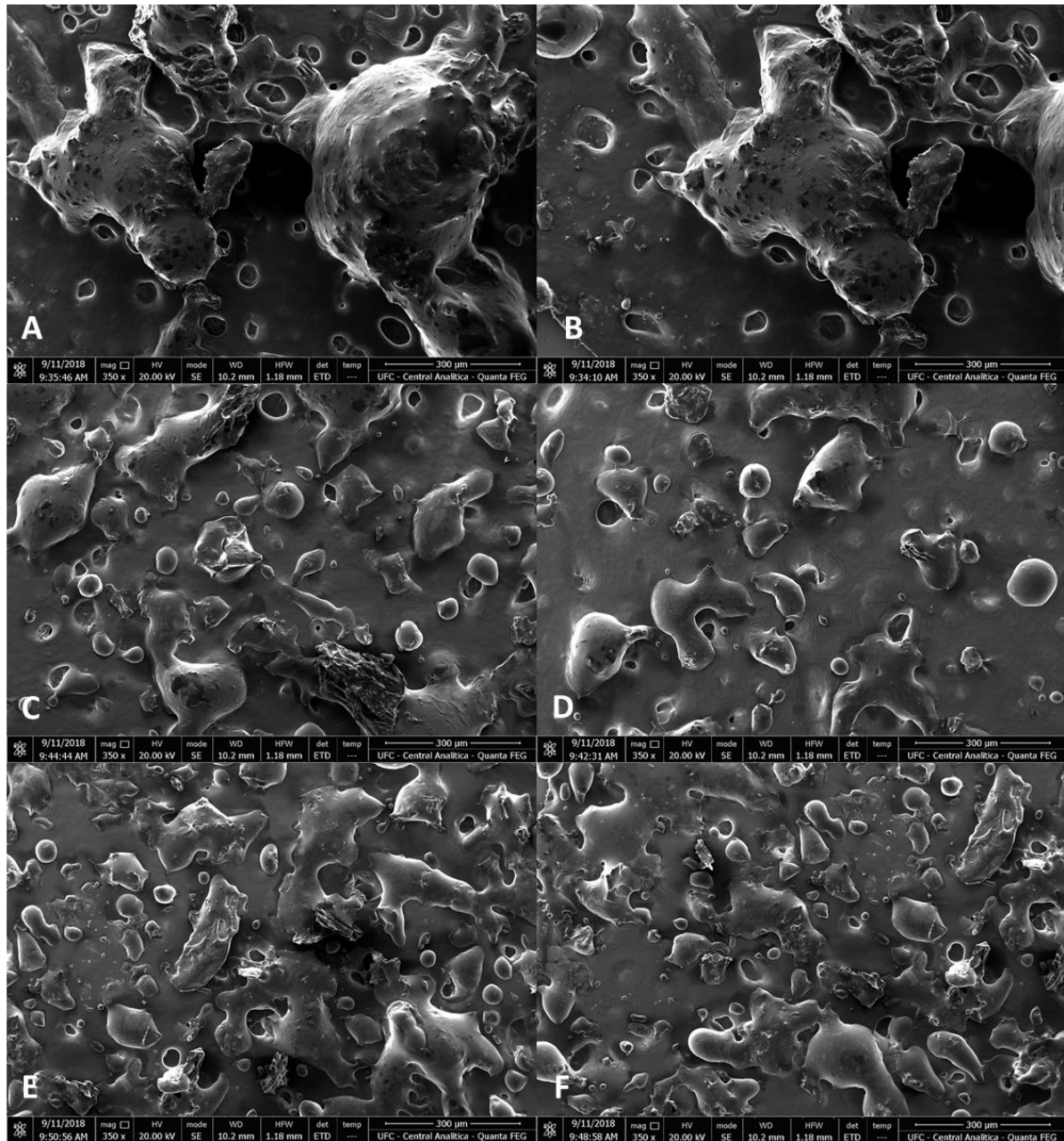


Tabela 22 – Umidade dos pós da polpa de coco.

Concentração de maltodextrina (%)	Umidade (%)
5,8	4,19 ± 0,17
11,9	2,37 ± 0,01
18	2,08 ± 0,03

Observa-se que os pós possuem partículas com estruturas irregulares e de vários tamanhos, comum em amostras secas que são trituradas (homogeneizadas) após a liofilização (ROCHA-PARRA et al., 2016). Há também poros na superfície do pó, que resultam do processo de congelamento pois, à medida que os cristais de gelo são gerados, são removidos durante o

processo de liofilização (FRANCESCHINIS et al., 2014). Resultados semelhantes foram relatados por Gurak et al. (2013) para suco de uva liofilizado encapsulado com maltodextrina e goma arábica.

Com o aumento da concentração de maltodextrina, o tamanho das partículas tornou-se menor, com superfícies mais lisas. Em geral, o revestimento com maltodextrina desenvolve bordas mais nítidas e textura quebradiça em encapsulados liofilizados, além de reduzir seus tamanhos (SAIKIA; MAHNOT; MAHANTA, 2015).

Observa-se que o pó com 5,8% de maltodextrina apresentou o maior tamanho de partícula, indicando que houve aglomeração devido ao maior teor de umidade. Resultados semelhantes foram obtidos por Suravanichnirachorn et al. (2018), ao estudarem pós de maço (*Antidesma bunius* L.) liofilizados adicionados de 25, 30 e 35% de maltodextrina. O pó com a menor concentração também formou partículas bem maiores que nas outras duas concentrações (11,9 e 18%), caracterizando também aglomeração. Essa aglomeração também foi notada por Ezhilarasi et al. (2013), ao estudarem extrato de garcinia (*Garcinia cowa*) liofilizado.

A água tem efeito plastificante em materiais amorfos, podendo desorientar as ligações de hidrogênio entre as cadeias de carboidratos e, como consequência, diminuir a temperatura de transição vítrea e aumentar o teor de água de materiais amorfos (EZHILARASI et al., 2013; KILBURN et al., 2005). Assim, a água é absorvida nas superfícies das partículas formando uma solução saturada e, desse modo, torna as partículas pegajosas e capazes de formar pontes líquidas (DOWNTON; FLORES-LUNA; KING, 1982), o que pode explicar o comportamento dos pós com 5,8% de maltodextrina.

5.3.2 Propriedades de escoamento do pó da polpa de coco

Na Tabela 23 estão apresentados os valores encontrados com relação às tensões principais de consolidação (σ_1) e as tensões não confinadas de deslizamento (σ_c) para os pós de polpa de coco obtidos por liofilização nas concentrações de 5,8; 11,9; e 18 % de maltodextrina.

Tabela 23 - Tensões dos pós da polpa de coco adicionados de 5,8; 11,9; e 18% de maltodextrina.

Concentração de maltodextrina						
5,8% (m/m)		11,9% (m/m)		18% (m/m)		
σ_1	σ_c	σ_1	σ_c	σ_1	σ_c	
(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	

1,105	0,290	1,751	0,922	1,711	0,665
3,176	1,401	3,945	1,921	3,723	1,285
6,524	2,910	8,083	3,721	8,393	3,400
12,82	5,482	16,97	7,424	17,97	7,686
23,44	10,42	31,37	15,22	29,81	14,08

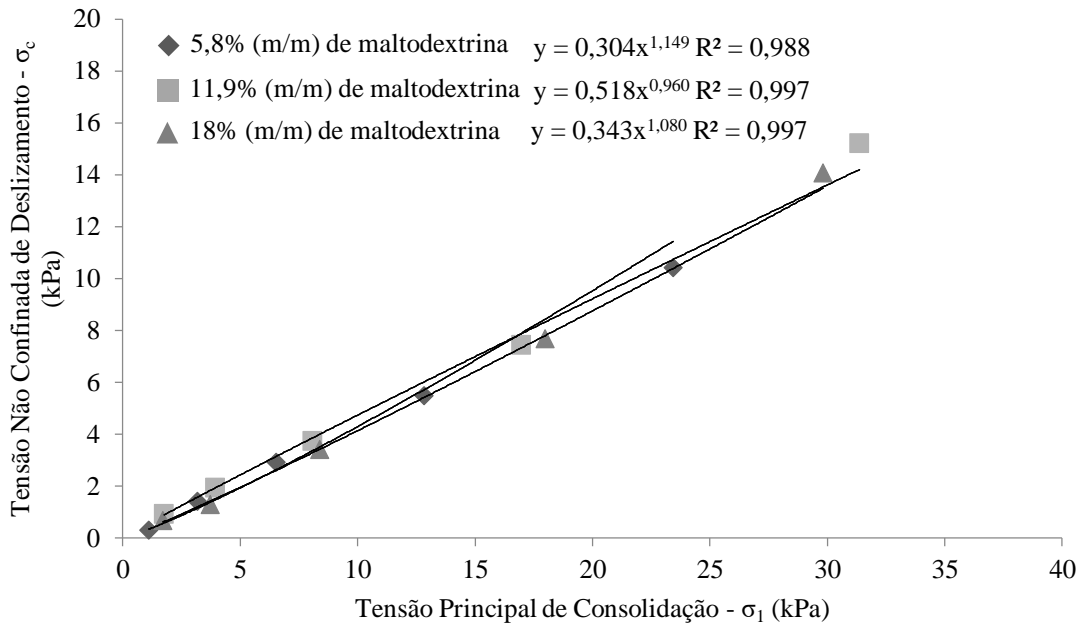
σ_1 – Tensão principal de consolidação; σ_c – Tensão não confinada de deslizamento.

Quanto maior o valor da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) de um pó, menor é sua fluidez frente à mesma tensão de consolidação, ou seja, maior a dificuldade de seu escoamento (NETO et al., 2007). Apesar da tensão não confinada de deslizamento (σ_c) ser influenciada pela tensão principal de consolidação (σ_1), percebe-se que a concentração de maltodextrina influenciou fortemente os valores de σ_c (Tabela 23). Rocha et al. (2017) avaliaram o escoamento de polpas de manga adicionadas de maltodextrina, e a mesma tendência foi observada, com a diminuição da tensão não confinada de deslizamento inversamente proporcional à adição do adjuvante.

A partir da Equação 3 e os valores das tensões (Tabela 23), foram determinados os índices de fluidez (I_f) das três amostras dos pós. Os valores dos índices de fluidez das amostras contendo 5,8%, 11,9% e 18% de maltodextrina foram 2,29, 2,13 e 2,27, respectivamente. De acordo com a classificação apresentada na Tabela 4, indica tratarem-se de pós coesos. Por conseguinte, nota-se que os pós se mostraram semelhantes e não apresentaram uma tendência bem distinta entre as concentrações. Ostrowska-Ligeza e Lenart (2015) ao estudarem o escoamento de cacau em pó com diferentes teores de atividades de água classificaram os pós como coesos ou muito coesivos, semelhante aos desse trabalho. A coesão das partículas de um pó é causada principalmente por forças entre partículas, como as forças de Van der Waals. Outros fatores, como intertravamento mecânico pode desempenhar um papel importante, particularmente em materiais grosseiros, se não forem esféricos (GELDART; ABDULLAH; VERLINDEN, 2009). Como a maioria dos materiais orgânicos são pós não-esféricos, isso pode ser uma razão para que os pós estudados não sejam em sua maioria pós de escoamento livre. A fluidez do pó também é explicada em termos de adesão ou aderência interparticulada, que é afetada pelo alto teor de açúcar presente nos alimentos (SEERANGURAYAR et al., 2017).

Os resultados das tensões dos pós podem também ser avaliados graficamente (Figura 9). Segundo Lopes Neto et al. (2007), quanto mais próximo a reta do eixo horizontal, produto tende a escoar mais facilmente, enquanto uma reta mais próxima do eixo vertical indica uma maior resistência ao escoamento.

Figura 9 – Tensão principal de consolidação e tensão não confinada de deslizamento para os pós de polpa de coco, nas concentrações de 5,8; 11,9; e 18% de maltodextrina.



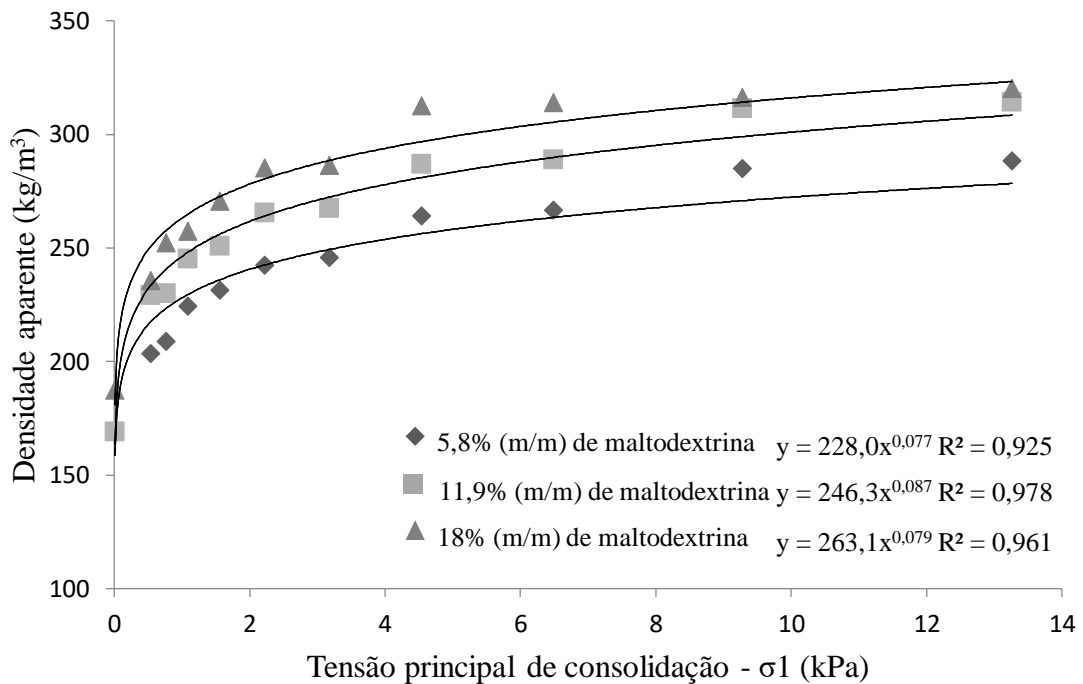
Em concordância aos resultados obtidos para os índices de fluidez, pode-se observar na Figura 9 que o comportamento dos pós se aproximam bastante.

Na Figura 10 observa-se o comportamento da densidade aparente com relação às tensões aplicadas aos pós. Com o aumento das tensões sobre os pós de coco nas diferentes concentrações de maltodextrina, também ocorreu o aumento das densidades. Essa tendência do aumento da densidade aparente também foi observada por Zhao et al. (2015) e Farahnaky et al. (2016), ao estudarem gengibre em pó seco e em pós de xaropes com diferentes concentrações de maltodextrina secos em forno, respectivamente. Oliveira et al. (2013) afirma que a densidade aparente leva em conta o volume dos espaços presentes entre as partículas, desta forma, quanto maior a densidade aparente, menor é a quantidade de ar ocluso. Assim, o aumento da tensão sobre as partículas dos pós tendem a eliminar o ar ocluso, aumentando a densidade aparente.

A densidade aparente dos pós depende do tamanho, forma e propriedades da superfície das partículas. Pós com superfície lisa e uniforme têm maior densidade aparente, o que resulta em um menor volume de embalagem para a mesma massa de material (BICUDO et al., 2015; SYAMALADEVI et al., 2012). Isto ocorre devido a diminuição da formação de espaços vazios entre as partículas (SEERANGURAYAR et al., 2017; TONTUL; TOPUZ, 2017).

Com o aumento da maltodextrina e de acordo com as micrografias obtidas (Figura 10), as partículas ficam menores e menos rugosas, o que gera menor quantidade de ar ocluso. Desta forma, justifica-se o aumento da densidade.

Figura 10 – Densidade aparente em função da tensão principal de consolidação (σ_1) dos pós de polpa de coco liofilizada contendo 5,8, 11,9 e 18% de maltodextrina.



Na Tabela 24, de maneira similar ao comportamento observado na Figura 10, observa-se que a medida que a concentração de maltodextrina adicionada a polpa aumentou, houve um aumento na densidade aparente das amostras. Rocha et al. (2017) obtiveram o mesmo comportamento ao avaliarem o pó da polpa de manga contendo entre 10 e 30% de maltodextrina. Os pós contendo menor concentração de maltodextrina exibem menor quantidade de sólidos e, segundo Santos; Condotta e Ferreira (2016), quanto maior a umidade do material ocorre o incremento das forças coesivas, resultando na formação de aglomerados, os quais podem conter ar em seu interior, reduzindo a densidade aparente.

A densidade aparente é um indicador da facilidade de reconstituição, envelhecimento, transporte e armazenamento de alimentos em pó (MARQUES et al., 2014). Além disso, as densidades são úteis para prever a qualidade das partículas já que densidades maiores indicam que os pós têm melhores propriedades, como menor teor de umidade, maior rendimento, boa fluidez e maior vida útil do produto (SEERANGURAYAR et al., 2017; SHISHIR et al., 2014). A alta densidade aparente é desejável para reduzir os custos de envio e embalagem. Além disso,

essa densidade influencia em outras propriedades do pó, como fluidez e solubilidade (BICUDO et al., 2015; KINGWATEE et al., 2015).

Tabela 24 - Densidade aparente (kg/m^3) e ângulo de atrito com a parede ($^\circ$) dos pós de polpa de coco contendo 5,8; 11,9; e 18% (m/m) de maltodextrina.

Amostras	Densidade (kg/m^3)		Ângulo de atrito com a parede ϕ ($^\circ$)	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
5,8%	169,1	288,3	20,0	27,4
11,9%	175,1	314,1	18,8	27,5
18%	187,3	320,1	18,5	24,8

Em relação ao ângulo de atrito com a parede (Tabela 24), observou-se que o aumento da concentração de maltodextrina na formulação resultou em menores valores. O mesmo comportamento foi observado por Rocha et al. (2017) ao avaliarem o pó da polpa de manga contendo diferentes concentrações de maltodextrina (10 a 30%). Seerangurayar et al. (2017) obtiveram resultados semelhantes ao estudarem pós de tâmara com maltodextrina e goma arábica, ao aumentarem a concentração dos adjuvantes, houve a diminuição do ângulo de atrito. Fitzpatrick et al. (2004) afirmaram que o ângulo de atrito da parede representa a resistência adesiva entre o pó e o material da parede do ambiente de armazenamento e quanto maior, mais difícil para o pó se mover ao longo da parede. Dessa forma, quanto menores os valores desse ângulo, menores são as inclinações que uma parede necessita para assegurar o escoamento dos pós.

O conhecimento da fricção na parede é crítico, pois é um parâmetro importante para determinar o ângulo mínimo exigido para um escoamento consistente e confiável (IQBAL; FITZPATRICK, 2006).

5.3.3 Determinação das isotermas de adsorção dos pós

Os resultados dos ajustes dos modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson e Oswin aos dados experimentais do pó da polpa de coco liofilizada são apresentados na Tabela 25. Os modelos GAB, BET e Oswin mostraram bom ajuste ($R^2 \geq 0,99$), e menores erros relativos. O modelo Henderson não se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais por apresentar erros médios relativos superiores a 10%. Na média, o modelo de equações de GAB apresentou

erro de 3,10% e BET 2,71%. Assim, o modelo de BET foi escolhido para representar as isotermas de sorção dos pós de polpa de coco.

O modelo BET tem sido usado por muitos pesquisadores para prever as isotermas de sorção de produtos alimentares. Ribeiro et al. (2016), em seu estudo do comportamento higroscópico do pó de polpa de acerola liofilizada, mostra que o modelo de BET obteve o melhor ajuste para a adsorção de pó de polpa de acerola obtido por liofilização. Lavoyer et al. (2013), ao estudarem isotermas de adsorção em cinco temperaturas de polpas de coco secas em forno a vácuo, notaram que tanto o modelo GAB quanto o de BET eram adequados para suas isotermas. No entanto, o modelo de GAB se ajustou melhor. Segundo Timmermann, Chirife e Iglesias (2001), os modelos GAB e BET estão intimamente relacionados, já que o modelo GAB é uma extensão do modelo BET, fazendo com que os valores sejam bem próximos e apenas particularidades do produto ou do método escolhido acabem por se ajustar a um ou ao outro modelo. Moreira et al. (2013), em seu estudo do comportamento das isotermas do pó da polpa de manga, também analisaram que os modelos de BET e GAB eram adequados, obtendo erros relativamente baixos (em torno de 5%).

Tabela 25 – Resultados dos ajustes das isotermas de adsorção do pó.

Modelos	Parâmetros	Temperatura de 25 °C			Temperatura de 40°C		
		Maltodextrina (%)			Maltodextrina (%)		
		5,8	11,9	18	5,8	11,9	18
GAB	X _m	0,0748	0,0696	0,0641	0,0607	0,0571	0,0509
	C	1,57	1,91	2,39	2,27	2,59	3,16
	K	0,944	0,949	0,960	0,979	0,989	1,00
	R ²	0,997	0,997	0,996	0,999	0,999	0,999
	E (%)	3,69	3,60	4,11	1,89	2,55	3,10
BET	X _m	0,0585	0,0563	0,0543	0,0559	0,0549	0,0528
	C	2,33	2,80	3,39	2,61	2,75	2,83
	n	22,0	22,4	23,9	27,4	30,1	191
	R ²	0,996	0,996	0,996	0,999	0,999	0,999
	E (%)	3,15	2,92	3,48	1,37	2,23	2,71
Henderson	a	0,672	0,667	0,669	0,679	0,674	0,689
	b	2,96	3,12	3,31	2,86	3,10	4,20
	R ²	0,994	0,989	0,991	0,991	0,989	0,986
	E (%)	8,05	7,95	8,65	12,7	13,2	14,7
Oswin	a	0,121	0,110	0,101	0,126	0,111	0,0764
	b	0,855	0,862	0,863	0,879	0,884	0,840
	R ²	0,996	0,997	0,997	0,999	0,999	0,998

X_m -conteúdo de umidade na monocamada molecular (g de água por g de sólidos secos); R² - coeficiente de determinação; E (%) - erro médio relativo; C, K - constante de sorção da camada molecular; n - número de camadas moleculares; a, b - parâmetros de ajuste.

Fonte: Autor (2018).

O teor de umidade de equilíbrio geralmente diminui com o aumento da temperatura, em atividade de água constante. Esta tendência pode ser atribuída a uma redução no número de sítios ativos para a ligação à água em resultado de esforços físicos e/ou alterações químicas induzidas pela temperatura. Segundo Goula et al. (2008), o teor de umidade na monocamada proporciona, em determinada temperatura, maior estabilidade e perdas mínimas de qualidade do alimento; abaixo deste valor as taxas de reações de deterioração, exceto oxidação de gorduras insaturadas, são mínimas. Já o valor de K fornece uma medida de interações entre as moléculas nas multicamadas com o adsorvente, e tende a ficar entre o valor energético das moléculas na monocamada e o da água líquida.

De acordo com as Figura 11, 12 e 13, houve uma inversão do efeito da temperatura nas isotermas dos pós de polpa de coco obtidas por liofilização. A inversão ocorreu entre as isotermas de 25 e 40 ° C na faixa de atividade de água de 0,80 a 0,90. O comportamento de inversão do efeito da temperatura observado no presente estudo está de acordo com Telis-Romero et al. (2005). Esses autores afirmam que alguns estudos relataram tal inversão do efeito da temperatura para a atividade de água superior a 0,70 em produtos com alto teor de açúcar, como os frutos, o que pode ser explicado pelo aumento da solubilidade do açúcar na água. Ribeiro et al. (2016) construíram isotermas de sorção para o pó de polpa de acerola obtido por liofilização e demonstraram comportamento semelhante, com a inversão do efeito da temperatura quando a atividade de água atingiu valores de 0,50-0,60.

No presente estudo, observou-se que houve uma diminuição da umidade na monocamada (X_m) e um aumento do valor de C (2,33–2,83) quando a temperatura subiu de 25 a 40 °C. Lavoyer et al. (2013) ao estudarem isotermas de adsorção em cinco temperaturas de polpas de coco secas em forno a vácuo, obtiveram o mesmo comportamento de diminuição dessa umidade de equilíbrio. Oliveira et al. (2011) observaram maior teor de umidade na monocamada molecular (X_m) para o modelo de BET, para o pó de sapoti liofilizado. Moreira et al. (2013) também observaram aumento da temperatura como fator preponderante o incremento do conteúdo de umidade na monocamada (X_m) através dos modelos de GAB e BET, semelhante ao resultado do presente estudo.

Em relação a constante C , que é a função das interações entre os sítios ativos do produto e as moléculas de água, observa-se que o aumento da temperatura favorece o aumento dos valores de C (RIGANAKOS; DEMERTZIS; KONTOMINAS, 1994). As constantes C e K são um indicativo do tipo de isoterma, o que de acordo com a classificação de Brunauer et al. (1940), as isotermas de adsorção de água da polpa de coco em pó podem ser classificadas como do Tipo III.

Conforme as figuras 11, 12, 13, 14 e 15, as isotermas de equilíbrio da polpa de coco em pó mostram curvas Flory-Huggins, tipo III, formato “J” de acordo com a classificação de Brunauer et al. (1940), típicas de alimentos ricos em componentes solúveis, que ocorrem pela adsorção de um solvente abaixo da temperatura de transição vítrea, o que difere da maioria das isotermas de pós alimentícios. Esses mesmos tipo e formato de isotermas foram obtidos por Ribeiro et al. (2016) e Lavoyer et al. (2013), em seus estudos com pós de acerola liofilizada e polpa de coco seca em forno a vácuo.

Figura 11 – Isotermas de sorção do pó da polpa de coco liofilizada contendo 5,8% de maltodextrina à 25 e 40 °C.

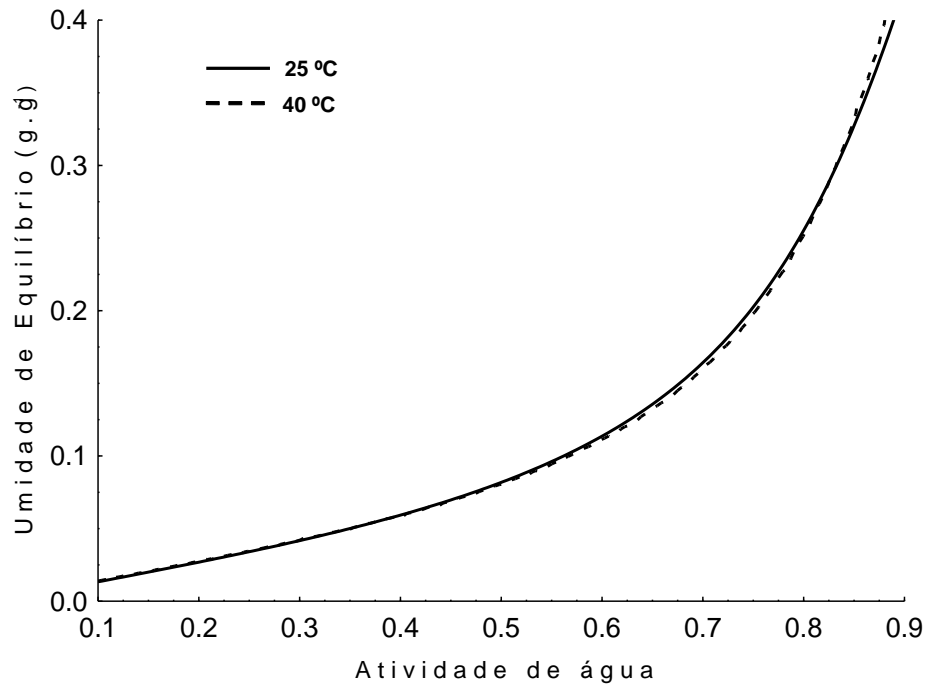


Figura 12 – Isotermas de sorção do pó da polpa de coco liofilizada contendo 11,9% de maltodextrina à 25 e 40 °C.

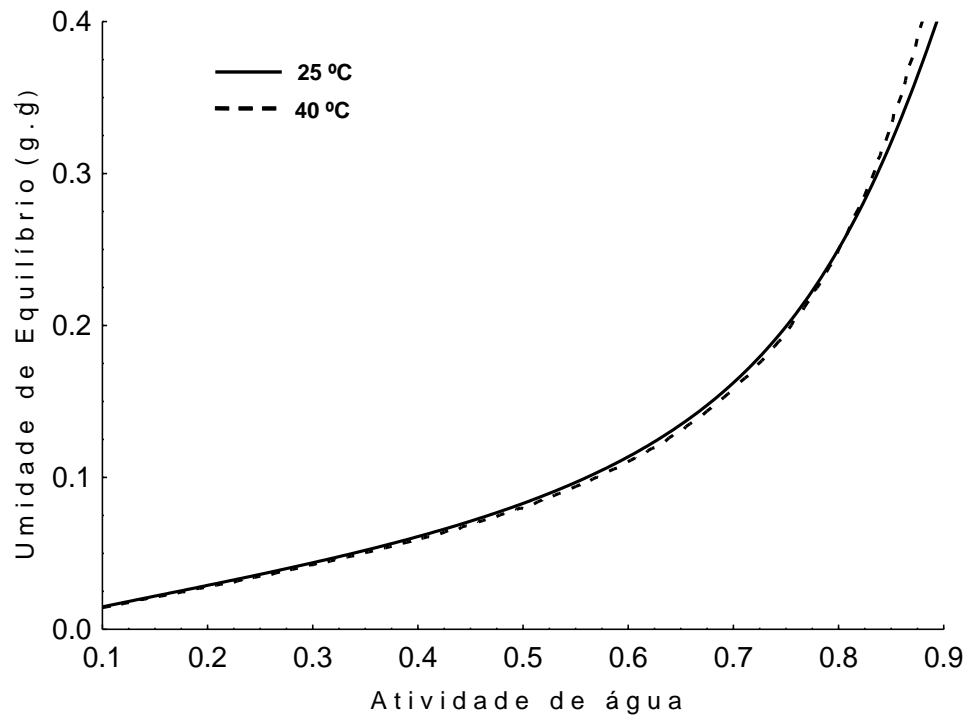
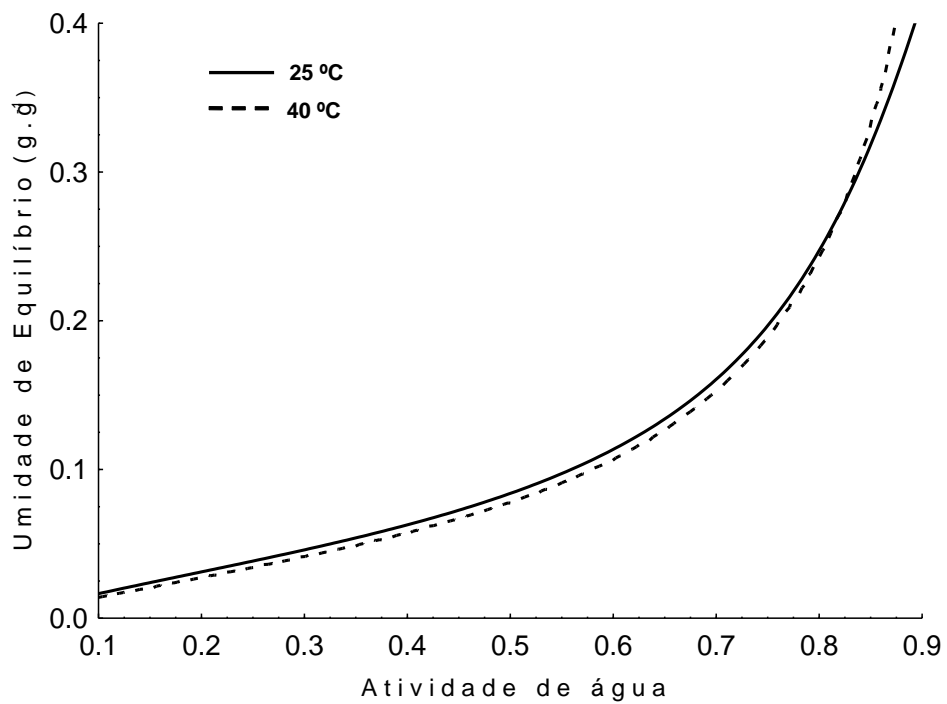


Figura 13 – Isotermas de sorção do pó da polpa de coco liofilizada contendo 18% de maltodextrina à 25 e 40 °C..



Nas figuras 11, 12 e 13, observam-se as isotermas de sorção da polpa de coco em pó com a mesma concentração de maltodextrina em função da variação da temperatura. Já nas figuras 14 e 15 observam-se as isotermas de sorção da polpa de coco em pó na mesma temperatura em função da variação da concentração de maltodextrina.

Nas figuras 11, 12 e 13, tem-se as isotermas da polpa de coco em pó com ajustes com o modelo de BET, considerado o melhor dentre os testados. Observa-se que em todas as atividades de água, as curvas das isotermas a 25 e 40 °C estão sobrepostas. Pode-se observar também, a ocorrência de inversão do efeito da temperatura entre as isotermas de 25 e 40 °C sobre a umidade de equilíbrio do pó na faixa de atividade de água entre 0,8 e 0,9, ou seja, a partir dessa faixa de atividade de água, pode-se observar que com o aumento da temperatura, para a mesma atividade de água, houve uma redução na umidade de equilíbrio. Lavoyer et al. (2013) ao estudarem isotermas de adsorção de polpas de coco secas em forno a vácuo, obtiveram o mesmo comportamento de inversão do efeito da temperatura, ocorrida a partir de 0,8 de atividade de água, corroborando o presente estudo.

Constata-se ainda, pelas figuras 14 e 15, que o aumento da concentração de maltodextrina (%) não foi significativo em diminuir os teores de água de equilíbrio, sendo a temperatura, o fator decisivo para prever o comportamento do pó da polpa de coco nas isotermas de sorção.

Figura 14 – Isotermas de sorção a 25°C do pó da polpa de coco liofilizada em pó contendo 5,8, 11,9 e 18% de maltodextrina.

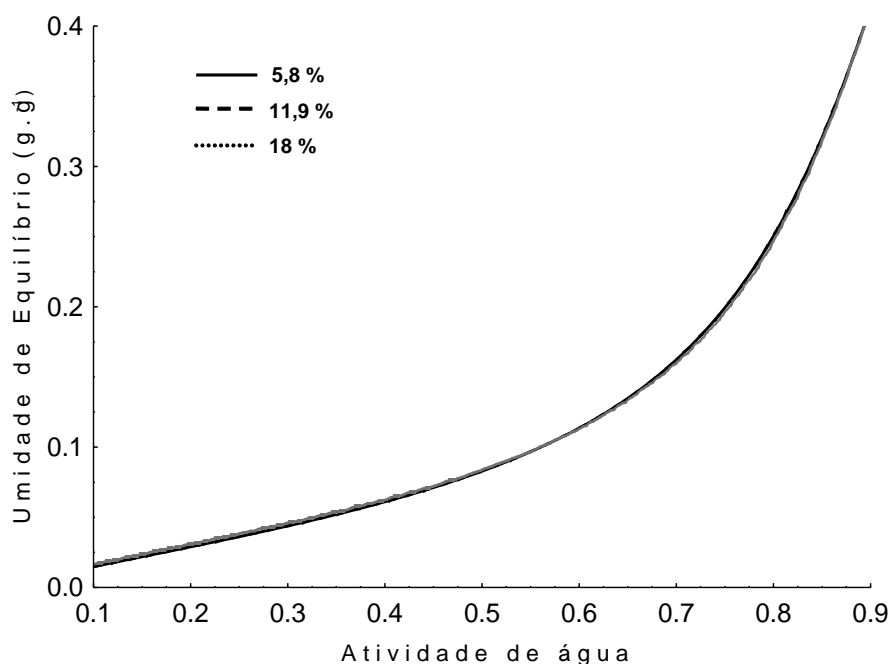
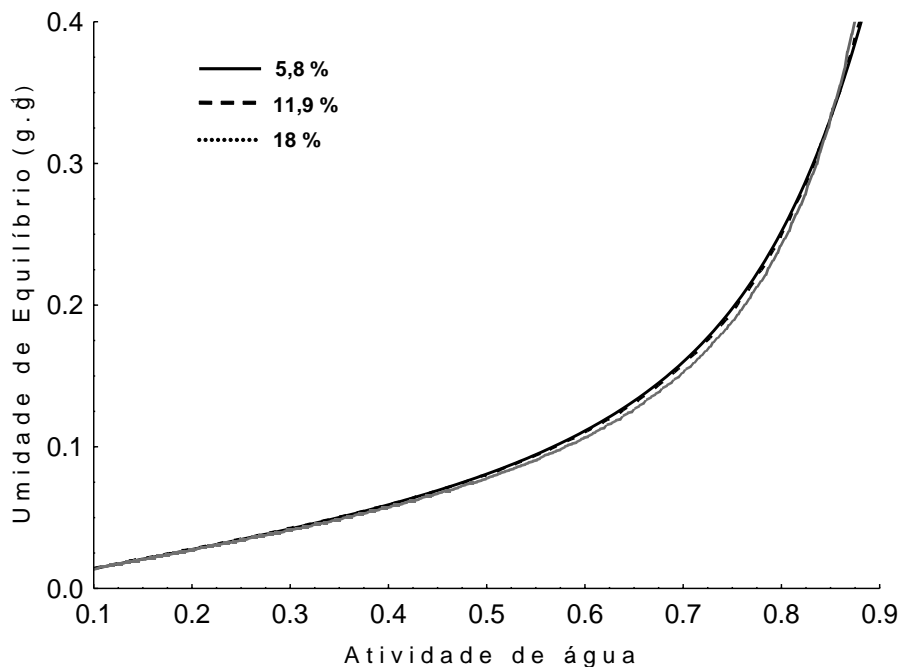


Figura 15 – Isotermas de sorção a 40°C do pó da polpa de coco liofilizada em pó contendo 5,8, 11,9 e 18% de maltodextrina.



5.4 Avaliação da estabilidade do pó

As amostras da polpa de coco em pó obtidas por liofilização foram distribuídas em um tipo de embalagem, com dois tipos de armazenamento: laminada sem vácuo (SV) e laminada com vácuo (CV). Posteriormente armazenadas por um período de 90 dias a temperatura ambiente (25°C), sendo cada parâmetro avaliado em intervalos de 15 dias.

As condições de umidade relativa e de temperatura durante o armazenamento em que os produtos alcançarão seu equilíbrio higroscópico específico, determinarão a manutenção de sua qualidade fisiológica, por maior ou menor tempo (BESSA et al., 2015; BORGES; EUCLYDES DE LIMA; CÉSAR CORREA, 2009). O tipo de embalagem e armazenamento utilizados no acondicionamento dos produtos assume importância relevante na manutenção da sua viabilidade no decorrer do tempo, razão pela qual é importante armazenar o produto em embalagens que não permitam trocas com o ambiente de armazenamento (BESSA et al., 2015). O armazenamento em embalagens adequadas torna-se necessário em produtos liofilizados, para a estabilidade durante o armazenamento. O pacote deve ter uma barreira contra a umidade e deve ser capaz de impedir a transferência de oxigênio para o produto (CONEGERO et al., 2017).

Na embalagem laminada, as propriedades de barreira ao oxigênio e ao vapor d'água são bem altas, mas ainda dependem da qualidade da metalização, que é função do tipo de filme de PET e do tratamento superficial recebido. Também são fatores decisivos: a tecnologia da metalizadora utilizada, o nível de vácuo posterior, a quantidade e a homogeneidade do alumínio depositado (ALVES et al., 2012).

5.4.1 Umidade

Na tabela 26 estão apresentados os valores médios da umidade do pó da polpa de coco em função do tempo de armazenamento. Verificou-se que para esse parâmetro houve um aumento ao se comparar os pontos inicial e final do período da estabilidade. Apesar disso, no final do tempo de armazenamento, o pó da polpa de coco ainda demonstrou ser um produto de baixa umidade (<5%), não havendo sinal de aglomeração, comum em pós de fruta armazenados por muito tempo. Nota-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dias somente até o dia 30, e entre os diferentes tipos de armazenamento somente a partir do dia 45.

Tabela 26 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável umidade (%).

Dias	Armazenamento	
	Sem vácuo	Com vácuo
0	2,19 ^{a,E} ± 0,03	2,19 ^{a,D} ± 0,03
15	2,23 ^{a,E} ± 0,05	2,20 ^{a,D} ± 0,02
30	2,26 ^{a,E} ± 0,02	2,23 ^{a,D} ± 0,03
45	2,66 ^{a,D} ± 0,01	2,60 ^{b,C} ± 0,03
60	2,84 ^{a,C} ± 0,04	2,67 ^{b,C} ± 0,02
75	3,08 ^{a,B} ± 0,04	3,04 ^{a,B} ± 0,04
90	3,52 ^{a,A} ± 0,04	3,38 ^{a,A} ± 0,09

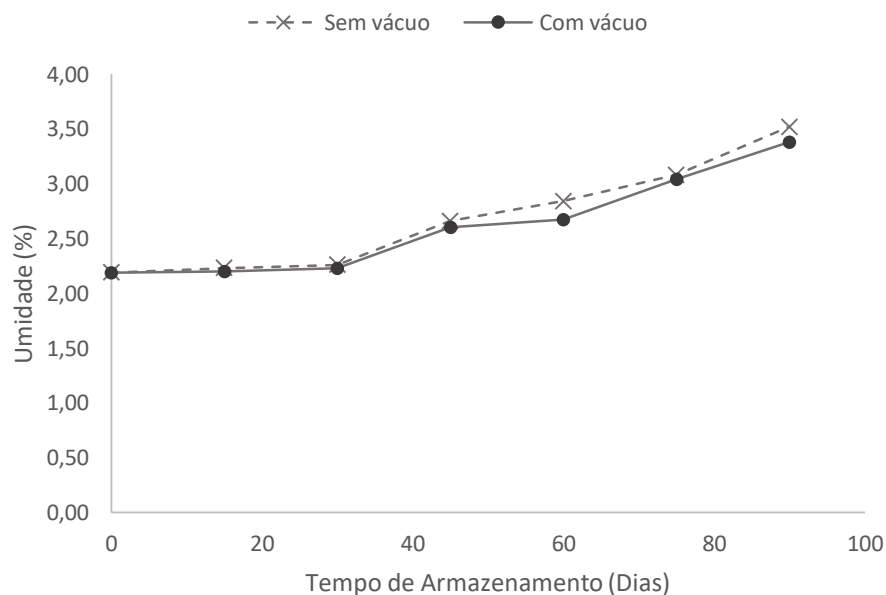
Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Segundo a figura 16, observa-se que durante os primeiros 30 dias de armazenamento a umidade se mantém relativamente estável, não havendo grandes alterações em seus valores. A partir daí, o parâmetro assume um comportamento crescente, se estabilizando de novo em torno dos 60 dias e então se tornando crescente de novo. Como citado anteriormente, mesmo no final do armazenamento, o produto ainda se encontrava em ótimas condições, podendo até ser

armazenado por mais tempo, se necessário. Fato esse, que pode ser explicado pela baixa permeabilidade da embalagem laminada. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2015) em seu estudo da estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó com 10 e 14% de maltodextrina durante o armazenamento ao longo de 50 dias, ao encontrarem o mesmo comportamento crescente do teor de água no pó. No entanto, diferindo do presente estudo, seus pós obtiveram valores mais altos de umidade no final do armazenamento (variando de 10 a 13%). Alexandre et al. (2014), ao analisarem o armazenamento de pitanga em pó ao longo de 60 dias, obtiveram a mesma tendência de aumento do teor de água no produto, chegando a valores maiores do que 20% no término do período de armazenamento.

Oliveira et al. (2013), em seu estudo da estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores durante 90 dias, obtiveram a mesma variação de umidade. Seus pós adicionados de maltodextrina variaram de 2,27% no primeiro dia a 3,63% no dia 90. Lisbôa et al. (2012), ao estudarem o armazenamento de figo da Índia em pó por 100 dias em embalagens laminadas e de vidro, também obtiveram o mesmo comportamento crescente do teor de umidade (variando de 7 a 18%), corroborando o presente estudo.

Figura 16 – Comportamento do parâmetro umidade do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições.



5.4.2 Higroscopicidade

Na tabela 27 estão apresentados os valores médios da higroscopicidade do pó da polpa de coco em função do tempo de armazenamento. Verificou-se também para esse parâmetro, uma tendência crescente com diferença significativa ($p < 0,05$) entre todos os dias, e entre os diferentes tipos de armazenamento somente a partir do dia 45, assim como no parâmetro umidade.

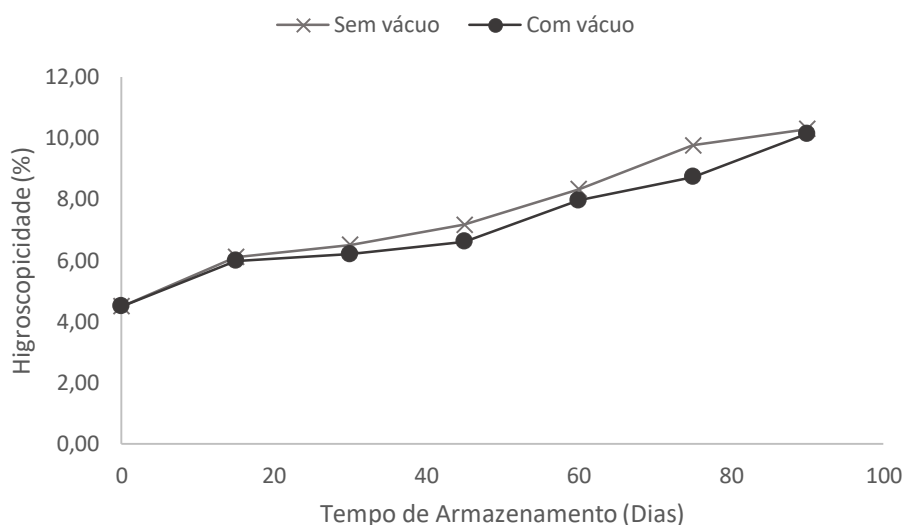
Tabela 27 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável higroscopicidade (%).

Dias	Armazenamento	
	Sem vácuo	Com vácuo
0	4,50 ^{a,E} ± 0,18	4,50 ^{a,F} ± 0,18
15	6,10 ^{a,D} ± 0,27	5,99 ^{a,E} ± 0,19
30	6,51 ^{a,CD} ± 0,24	6,20 ^{a,DE} ± 0,12
45	7,16 ^{a,C} ± 0,16	6,61 ^{b,DE} ± 0,12
60	8,33 ^{a,B} ± 0,38	7,96 ^{a,C} ± 0,46
75	9,76 ^{a,A} ± 0,22	8,72 ^{b,B} ± 0,06
90	10,29 ^{a,A} ± 0,29	10,13 ^{a,A} ± 0,07

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Observa-se que a higroscopicidade do pó da polpa de coco durante o período de armazenamento também mostrou-se crescente (Figura 17), e mesmo que a umidade do pó tenha se mantido relativamente estável nos dois tipos de armazenamento, sua capacidade de absorver água pode ser uma característica inerente ao produto (polpa de coco) utilizado. Sabe-se também, que a embalagem utilizada (laminada) possui baixa permeabilidade a água, o que também explica como o produto pode ter os dois parâmetros (umidade e higroscopicidade) crescentes, uma vez que a análise de higroscopicidade é feita fora da embalagem, onde o pó é submetido a condições ambientais diferentes.

Figura 17 – Comportamento do parâmetro higroscopicidade do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições.



Observa-se, que ao final do período de análise da estabilidade, tanto o pó armazenado sem vácuo como o pó armazenado sob vácuo apresentaram teores de higroscopicidade maiores que 10%. Segundo Molina et al. (2014), em seus estudos com polpa de pitaya liofilizada, houve um aumento considerável na quantidade de água absorvida pelo seu pó ao longo do seu período de armazenamento.

5.4.3 Parâmetro de cor L*

A análise do parâmetro colorimétrico L* mostrada na Tabela 28 expressa a luminosidade do pó obtido por liofilização, havendo diferença significativa ($p < 0,05$) entre os pós para os dias analisados até o dia 60 e entre as embalagens a partir do dia 45.

Nota-se de forma geral, que o produto apresentou escurecimento em razão da diminuição de L* ao longo do tempo de armazenamento. O valor de luminosidade (L*) é um indicador de escurecimento ao longo do armazenamento que pode ser ocasionado tanto por reações oxidativas quanto pelo aumento da concentração de pigmentos (KADER, 2010; OLIVEIRA et al., 2015).

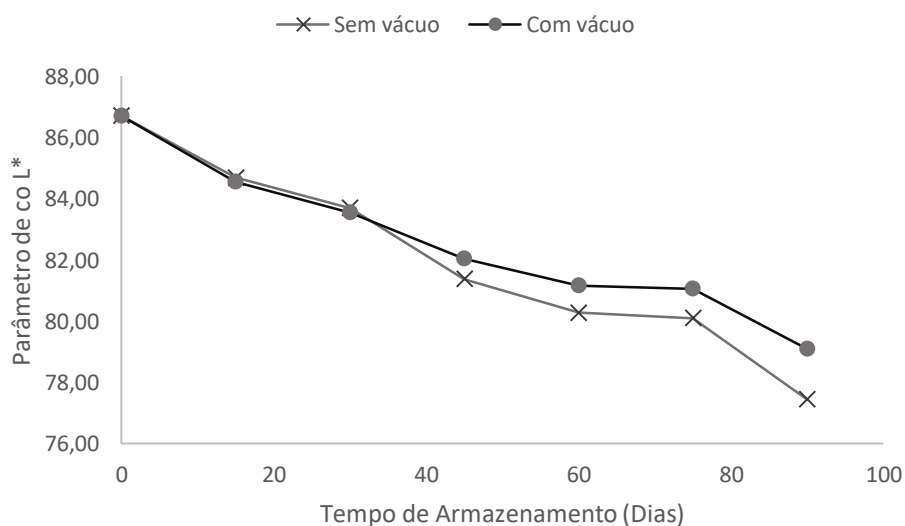
Tabela 28 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável L*.

Dias	Armazenamento	
	Sem vácuo	Com vácuo
0	86,71 ^{a,A} ± 0,03	86,71 ^{a,A} ± 0,03
15	84,69 ^{a,B} ± 0,58	84,54 ^{a,B} ± 0,01
30	83,70 ^{a,C} ± 0,16	83,55 ^{a,C} ± 0,12
45	81,38 ^{b,D} ± 0,19	82,03 ^{a,D} ± 0,02
60	80,28 ^{b,E} ± 0,01	81,16 ^{a,E} ± 0,02
75	80,10 ^{b,E} ± 0,02	81,06 ^{a,E} ± 0,02
90	77,44 ^{b,F} ± 0,29	79,09 ^{a,F} ± 0,07

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

A Figura 18 também mostra o comportamento da variável L* para o pó de coco obtido por liofilização.

Figura 18 – Comportamento do parâmetro de cor L* do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições.



Observa-se (Figura 18) que os valores da luminosidade decaem para todos os armazenamentos utilizados. Isso denota que as amostras tendem ao escurecimento e a perder brilho com o decorrer do tempo de armazenamento, provavelmente decorrente do ganho de umidade. Alexandre et al. (2014) afirma que reações de ordem não-enzimática nos alimentos processados estão associadas com a ocorrência da reação de Maillard. Nota-se ainda, que a

perda de luminosidade ainda é maior no pó armazenado sem vácuo. Isso pode ser devido a maior quantidade de oxigênio presente dentro da embalagem, fundamental para a reação de oxidação.

Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2015) em seu estudo da estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó com 10 e 14% de maltodextrina durante o armazenamento ao longo de 50 dias. Eles obtiveram o mesmo comportamento do presente estudo, um decréscimo do valor de L* durante o armazenamento do pó.

Reis et al. (2017), ao analisarem a estabilidade da farinha de acerola desidratada ao longo de 75 dias também obtiveram a mesma diminuição dos teores de luminosidade no produto. Santos et al. (2015), em seu estudo da estabilidade do suco de umbu por 120 dias, obtiveram decréscimo do valor de L* em todas as quatro amostras analisadas. Lisbôa et al. (2012), ao estudarem o armazenamento de figo da Índia em pó por 100 dias em embalagens laminadas e de vidro, obtiveram o mesmo comportamento decrescente do valor de L*, corroborando o presente estudo.

5.4.4 Parâmetro de cor a*

Como citado anteriormente, o padrão CIELAB faz uso de três dimensões (L*, a* e b*) da esfera de cor, onde +a indica vermelho e -a indica verde. A Tabela 29 apresenta o comportamento do parâmetro a* durante 90 dias.

Tabela 29 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável a*.

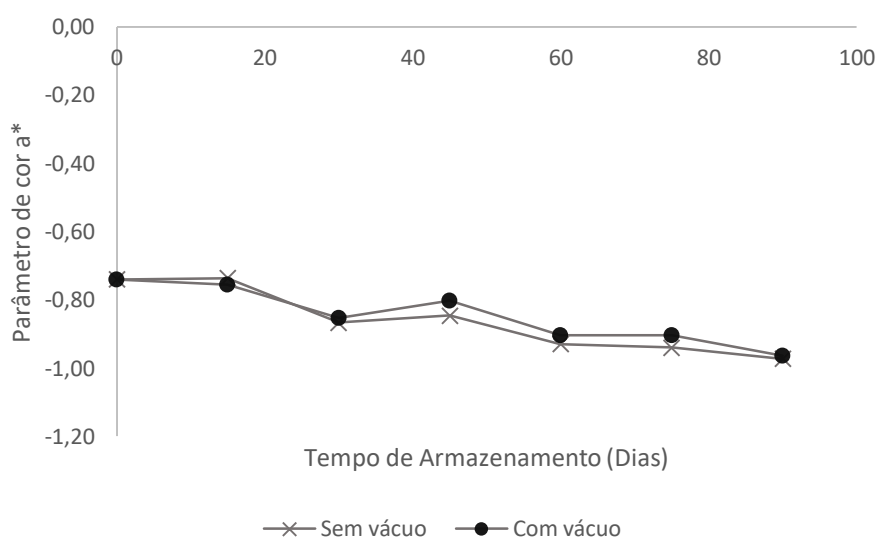
Dias	Armazenamento	
	Sem vácuo	Com vácuo
0	-0,74 ^{a,A} ± 0,01	-0,74 ^{a,A} ± 0,01
15	-0,74 ^{a,A} ± 0,01	-0,76 ^{b,AB} ± 0,01
30	-0,87 ^{a,B} ± 0,03	-0,85 ^{a,CD} ± 0,01
45	-0,85 ^{b,B} ± 0,02	-0,80 ^{a,BC} ± 0,01
60	-0,93 ^{a,C} ± 0,03	-0,90 ^{a,D} ± 0,01
75	-0,94 ^{a,C} ± 0,03	-0,90 ^{a,D} ± 0,05
90	-0,97 ^{a,C} ± 0,02	-0,96 ^{a,E} ± 0,02

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Observa-se (Tabela 29) a diminuição do parâmetro a^* durante o tempo de armazenamento, havendo diferença significativa ($p < 0,05$) entre as embalagens já a partir do 15º dia, principalmente para o pó armazenado sob vácuo. Durante o armazenamento, a diminuição do valor de a^* indica que a amostra se torna “mais verde” ao longo dos dias, mesmo não sendo perceptível ao olho humano.

Na Figura 19, observa-se que mesmo com os teores de a^* apresentando diferenças significativas ($p < 0,05$), o comportamento do pó nos dois tipos de armazenamento é bastante semelhante, não havendo grande influência do vácuo sobre este parâmetro. Alexandre et al. (2014), ao analisarem o armazenamento de pitanga em pó ao longo de 60 dias, obtiveram a mesma tendência de diminuição do valor de a^* , conseqüentemente, suas amostras se tornaram menos vermelhas e mais verdes. Oliveira et al. (2015), em seu estudo da estabilidade de licores de graviola, obteve uma diminuição dos valores de a^* , de positivos chegaram a se tornar negativos nos primeiros 120 dias de armazenamento.

Figura 19 – Comportamento do parâmetro de cor a^* do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições.



5.4.5 Parâmetro de cor b^*

A avaliação da estabilidade do parâmetro colorimétrico b^* (Tabela 30) indica haver diferença significativa ($p < 0,05$) entre os pós obtidos em todos os dias e entre as embalagens a partir do dia 30. Segundo o padrão CIELAB, $+b$ indica amarelo e $-b$ indica azul, ou seja, o pó da polpa de coco se torna mais amarelo ao longo do armazenamento, com o aumento do teor de b^* .

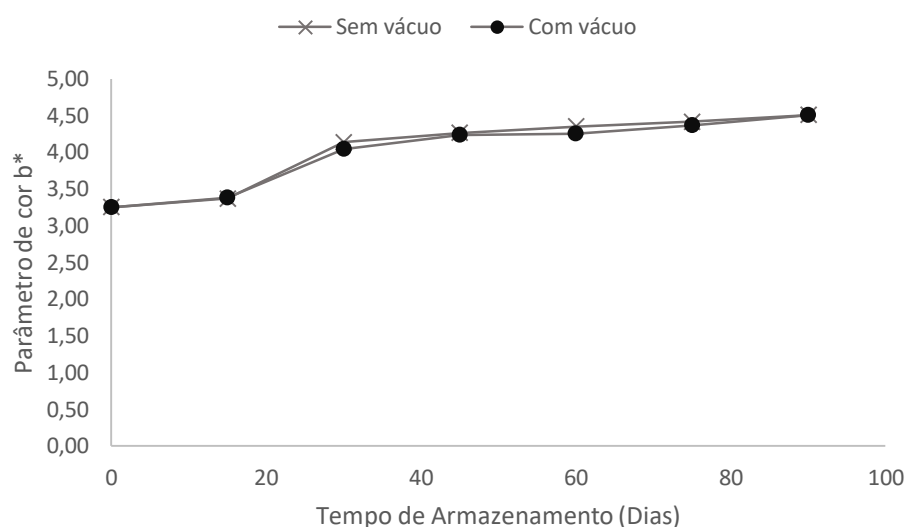
Tabela 30 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável b*.

Dias	Armazenamento	
	Sem vácuo	Com vácuo
0	3,25a,G ± 0,02	3,25a,F ± 0,02
15	3,37a,F ± 0,02	3,38a,E ± 0,01
30	4,13a,E ± 0,01	4,04b,D ± 0,01
45	4,26a,D ± 0,01	4,23a,C ± 0,03
60	4,35a,C ± 0,02	4,25b,C ± 0,03
75	4,41a,B ± 0,02	4,36b,B ± 0,02
90	4,51a,A ± 0,03	4,50a,A ± 0,04

Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Oliveira et al. (2015), em seu estudo da estabilidade da polpa do *Cereus jamacaru* em pó com 10 e 14% de maltodextrina durante o armazenamento por 50 dias, obtiveram valores crescentes do teor de cromaticidade b* ao longo dos dias, tendência essa, semelhante ao do presente estudo. Caparino et al. (2012), ao analisarem pós de manga armazenados por 60 dias, também obtiveram comportamento crescente dos valores de b* em suas amostras. Santos et al. (2015), em seu estudo da estabilidade do suco de umbu por 120 dias, obtiveram aumento da coordenada b* em todas as quatro amostras analisadas. Mesmo assim, nota-se pela Tabela 30 e Figura 20 que mesmo obtendo diferenças significativas, os dois tipos de armazenamento se mantiveram bem próximos entre si, não sendo o tipo de armazenamento o principal responsável pelo aumento dos valores da coordenada. Observa-se ainda que o maior salto do parâmetro ocorreu entre o dia 10 e o dia 30, e após isso, o produto se manteve relativamente estável nos dois tipos de armazenamento.

Figura 20 – Comportamento do parâmetro de cor b^* do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições.



5.4.6 Solubilidade

Na tabela 31 estão apresentados os valores médios da solubilidade do pó da polpa de coco em função do tempo de armazenamento.

Tabela 31 – Estabilidade do pó de coco obtido por liofilização, armazenado em diferentes formas para a variável solubilidade (%).

Dias	Armazenamento	
	Sem vácuo	Com vácuo
0	75,84a,B ± 0,54	75,84a,C ± 0,54
15	79,72a,A ± 0,89	79,72b,BC ± 0,81
30	79,05a,A ± 1,23	79,05a,A ± 0,46
45	80,98a,A ± 0,66	80,98b,AB ± 0,98
60	67,43a,C ± 0,86	67,43b,D ± 0,22
75	51,49a,D ± 0,15	51,49b,E ± 0,27
90	43,57a,E ± 0,86	43,57b,F ± 0,10

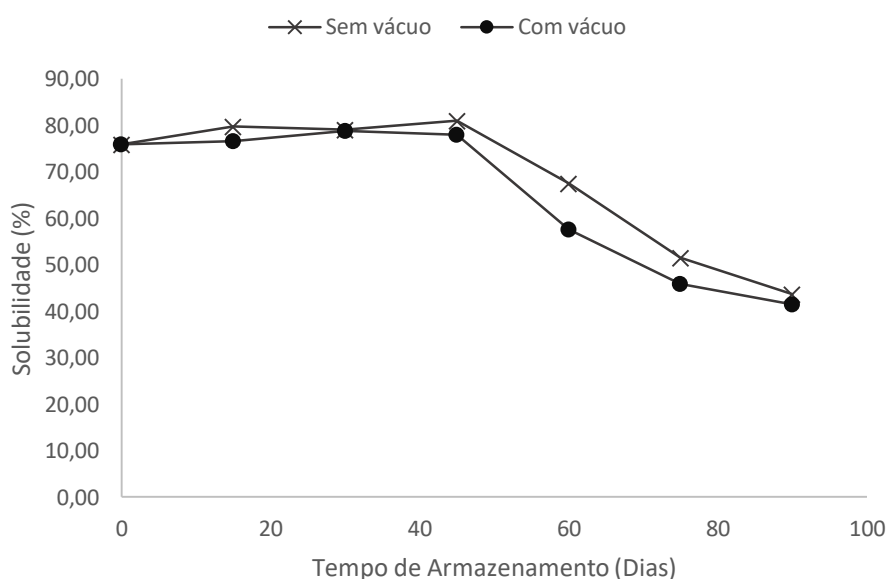
Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma linha, pelo teste de Tukey. Médias seguidas por mesma letra maiúscula não diferem entre si ($p \geq 0,05$) na mesma coluna, pelo teste de Tukey.

Nota-se (Tabela 31) que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os dias, e entre os diferentes tipos de armazenamento já a partir do dia 15. Pela Figura 21 verificou-se para o parâmetro, uma tendência crescente nos dois tipos de armazenamento até o dia 45, e depois

decrecente até o término do armazenamento. Sousa et al. (2016), em seu estudo da estabilidade de suco de caju em pó desidratado em leito de jorro, obteve o mesmo comportamento de crescimento inicial e posterior decréscimo nos dois tipos de armazenamento testados ao longo dos 60 dias avaliados. Encontraram ainda, teores de solubilidade acima de 90%, superiores ao do presente estudo. Costa et al. (2013), ao analisarem a estabilidade de pós de maracujá por 360 dias, também obtiveram essa alteração do comportamento da solubilidade, onde os pós de maracujá alternaram teores crescentes e decrescentes ao longo do tempo de armazenamento. Mesmo assim, observa-se que a partir dos 60 dias de armazenamento, os pós de coco apresentaram uma queda brusca nos teores de solubilidade, chegando a 43% nos dois tipos de armazenamento. Isso pode ser devido ao aumento da higroscopicidade, já que a capacidade de absorver água influi diretamente na aglomeração dos pós de frutas, fazendo com que sua solubilidade diminua bastante.

Observa-se ainda, que após os 60 dias de armazenamento, os pós já assumem valores abaixo de 70%, não se caracterizando mais como produtos muito solúveis. Sabe-se que o armazenamento sob vácuo também causa aglomeração, uma vez que as partículas dispõem de menos espaço para se acomodarem, diminuindo a solubilidade do produto. Isso pode ser observado na figura 21, onde a solubilidade é menor no pó armazenado sob vácuo, principalmente a partir do dia 45.

Figura 21 – Comportamento do parâmetro solubilidade do pó de polpa de coco obtido por liofilização armazenado ao longo de 90 dias sob diferentes condições.



6 CONCLUSÃO

A caracterização da polpa de coco mostrou que a amostra continha um alto índice de umidade e quantidades significativas de ácido ascórbico e proteína. Continha ainda, baixos teores de acidez, sólidos solúveis e açúcares, além de uma alta concentração de ácido láurico. As melhores condições de secagem da polpa de coco foram obtidas utilizando-se uma concentração de maltodextrina na polpa de 11,9% e 24,7 h de liofilização. A utilização da secagem por liofilização não obteve modificações visíveis na coloração característica da polpa utilizada no trabalho. As perdas de ácido ascórbico foram altas e o pó obtido se caracteriza por conter baixos teores de umidade, higroscopicidade, atividade de água e acidez, por outro lado, apresentou alta solubilidade.

A caracterização morfológica revelou por meio da análise de difração de raios-X que o processo de liofilização gera pós com estrutura completamente amorfa. Na análise de MEV nota-se que a adição de maltodextrina modifica a superfície das partículas tornando-as mais lisas e com menor aglomeração. Os pós obtidos foram caracterizados como coesos, apesar da adição de até 18% de adjuvante, porém a adição de maltodextrina aumentou a densidade aparente dos pós e diminuiu o ângulo de atrito com a parede, ou seja, há a influência da maltodextrina na melhoria das propriedades morfológicas do pó, sendo imprescindível sua utilização em sistemas de escoamento de pós de frutas.

A influência da maltodextrina não se apresentou como fator decisivo para estudar o comportamento dos pós da polpa de coco nas isotermas de adsorção. Ainda assim, os pós obtiveram melhores ajustes com o modelo de BET e as isotermas obtidas foram do tipo “J”, indicando a temperatura como fator decisivo para prever o comportamento do pó. Houve também uma inversão do efeito da temperatura entre as isotermas de 25 e 40 ° C na faixa de atividade de água de 0,80 a 0,90.

O estudo da estabilidade das polpas de coco em pó permitiu observar alterações como aumento da umidade, higroscopicidade e das coordenadas b^* , além da diminuição dos parâmetros de cor L^* e a^* , solubilidade e teor de ácido ascórbico, especialmente nas embalagens sem vácuo. E, embora o armazenamento sob vácuo seja comumente usado em diversos produtos, neste trabalho, os pós embalados sem vácuo obtiveram melhores características de armazenamento e manutenção das propriedades originais do produto.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. G. G. DE et al. Avaliação microbiológica de coco (*Cocos nucifera*) ralado comercializado em feiras livres do município de Belém, estado do Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 9, n. 1, p. 19–24, mar. 2018.
- AJEIGBE, K. O. et al. Gastroprotective and mucosa homeostatic activities of coconut milk and water on experimentally induced gastropathies in male wistar rats. **Tissue & Cell**, v. 49, n. 5, p. 528–536, out. 2017.
- AKHAVAN MAHDAVI, S. et al. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 85, p. 379–385, abr. 2016.
- ALEXANDRE, H. V. et al. Armazenamento de pitanga em pó. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 1, p. 83–91, jan./mar. 2014.
- ALMEIDA-CARLOS, L.; RESENDE, J.; CAL-VIDAL, J. Redução da Higroscopicidade de Pós Liofilizados pela Indução da Cristalização em Soluções-Modelo de Açúcares Constituintes de Frutas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.2, p. 163-173, abr./jun. 2005.
- ALPIZAR-REYES, E. et al. Thermodynamic sorption properties and glass transition temperature of tamarind seed mucilage (*Tamarindus indica* L.). **Food and Bioproducts Processing**, v. 101, n. Supplement C, p. 166–176, jan. 2017.
- ALVES, R. M. V. et al. Stability of biofortified sweet potato flour. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 1, p. 59–71, mar. 2012.
- ARUNIMA, S.; RAJAMOHAN, T. Lauric Acid Beneficially Modulates Apolipoprotein Secretion and Enhances Fatty Acid Oxidation via PPAR α -dependent Pathways in Cultured Rat Hepatocytes. **Journal of Exploratory Research in Pharmacology**, v. 3, n. 1, p. 1–11, jan. 2018.
- ASSA, R. R. et al. Physicochemical characteristics of kernel during fruit maturation of four coconut cultivars (*Cocos nucifera* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 14, p. 2136-2144–2144, jan. 2010.
- BALLESTEROS, L. F. et al. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. **Food Chemistry**, v. 237, p. 623–631,dez. 2017.
- BARATI, E.; ESFAHANI, J. A. Mathematical simulation of convective drying: Spatially distributed temperature and moisture in carrot slab. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 56, p. 86–94, jun. 2012.
- BARATI, E.; ESFAHANI, J. A. A novel approach to evaluate the temperature during drying of food products with negligible external resistance to mass transfer. **Journal of Food Engineering**, v. 114, n. 1, p. 39–46, jan. 2013.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**, 1. Ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2001.

BESSA, J. F. V. et al. Armazenamento do crambe em diferentes embalagens e ambientes: Parte I - Qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 224–230, mar. 2015.

BEZERRA, T. S. et al. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 278–283, jun. 2011.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems Associated With Spray Drying Of Sugar-Rich Foods. **Drying Technology**, v. 15, n. 2, p. 671–684, jan. 1997.

BHANDARI, B. R.; HARTEL, R. W. **Encapsulated and Powdered Foods**. 1. Ed. Nova York: Taylor & Francis, 2005.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354–364, nov. 2014.

BICUDO, M. O. P. et al. Microencapsulation of Juçara (*Euterpe edulis* M.) Pulp by Spray Drying Using Different Carriers and Drying Temperatures. **Drying Technology**, v. 33, n. 2, p. 153–161, jan. 2015.

BORGES, S.; EUCLYDES DE LIMA, E.; CÉSAR CORREA, P. Hygroscopic equilibrium and viability of angico vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) seeds under different storage environmental conditions. **Sci. For.**, v. 37, n. 84, p. 475-481, dez. 2009.

BRUIJN JOHANNES et al. Effect of Vacuum Microwave Drying on the Quality and Storage Stability of Strawberries. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, n. 5, p. 1104–1115, dez. 2015.

BRUNAUER, S. et al. On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases. **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, n. 7, p. 1723–1732, jul. 1940.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. **Powder Technology**, v. 287, p. 308–314, jan. 2016.

CAMARGO PRADO, F. et al. Development and evaluation of a fermented coconut water beverage with potential health benefits. **Journal of Functional Foods**, v. 12, p. 489–497, jan. 2015.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 4, p. 420–428, dez. 2005.

- CAPARINO, O. A. et al. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 135–148, jul. 2012.
- CAVALCANTE, C. E. B. et al. Hygroscopic behaviour of spray dried soursop pulp powder. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, jun. 2018.
- CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 2, p. 360–365, jul. 2012.
- CHAGAS, T. P. N. et al. Impacto da reposição hídrica com água de coco sobre o estado de hidratação e cardiovascular drift durante o exercício. **Journal of Physical Education**, v. 28, mai. 2017.
- COLLARES, F. P.; FINZER, J. R. D.; KIECKBUSCH, T. G. Glass transition control of the detachment of food pastes dried over glass plates. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 2, p. 261–267, fev. 2004.
- CONEGERO, J. et al. Stability of ‘mangaba’ pulp powder obtained by freeze drying. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 645–650, set. 2017.
- COSTA, C. S. M. F. et al. Soybean and coconut oil based unsaturated polyester resins: Thermomechanical characterization. **Industrial Crops and Products**, v. 85, p. 403–411, jul. 2016.
- COSTA, J. N. DA et al. Estabilidade maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) em pó oriundo do cultivo orgânico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 705–716, 14 maio 2013
- COSTA, M. C. et al. Conservação de polpa de cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum] por métodos combinados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 213–215, ago. 2003.
- DAYRIT, F. M. The Properties of Lauric Acid and Their Significance in Coconut Oil. **Journal of the American Oil Chemists’ Society**, v. 92, n. 1, p. 1–15, jan. 2015.
- DEV, S. R. S.; RAGHAVAN, V. G. S. Advancements in Drying Techniques for Food, Fiber, and Fuel. **Drying Technology**, v. 30, n. 11–12, p. 1147–1159, set. 2012.
- DOLINSKY, A.; MALETSKAYA, K.; SNEZHKIN, Y. Fruit and vegetable powders production technology on the bases of spray and convective drying methods. **Drying Technology**, v. 18, p. 747–758, mar. 2000.
- DORNI, C. et al. Fatty acid profile of edible oils and fats consumed in India. **Food Chemistry**, v. 238, p. 9–15, jan. 2018.
- DOWNTON, G. E.; FLORES-LUNA, J. L.; KING, C. J. Mechanism of stickiness in hygroscopic, amorphous powders. **Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals**, v. 21, n. 4, p. 447–451, nov. 1982.

- DU, J. et al. Comparison of the Efficiency of Five Different Drying Carriers on the Spray Drying of Persimmon Pulp Powders. **Drying Technology**, v. 32, n. 10, p. 1157–1166, jul. 2014.
- DUARTE, E. L. et al. Influência da liofilização sobre os carotenoides de frutos do cerrado e comportamento higroscópico dos pós liofilizados. **Biológicas & Saúde**, v. 7, n. 23, mar. 2017.
- EDUARDO, R.; FONTENELE, R.; Cultura do coco no brasil: caracterização do mercado atual e perspectivas futuras. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SOBER, 2005. p 1-20.
- ELSAYED, H. H. et al. Compare Effect of Fatty Acid Composition (Olive , Coconut Oil and Butter) on Adipose Liver Tissue , and Serum Lipid Profile in Albino rat. **Journal of Biotechnology and Biochemistry**, v. 1, mar./apr. 2015.
- ESFAHANI, J. A.; MAJDI, H.; BARATI, E. Analytical two-dimensional analysis of the transport phenomena occurring during convective drying: Apple slices. **Journal of Food Engineering**, v. 123, p. 87–93, fev. 2014.
- EZHILARASI, P. N. et al. Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 513–520, ago. 2013.
- FARAHNAKY, A. et al. Physicochemical and sorption isotherm properties of date syrup powder: Antiplasticizing effect of maltodextrin. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, p. 133–141, abr. 2016.
- FARIAS, L. A. S. DE. **Estudo da viabilidade de agroindustrialização do coco (cocos nucifera l.) em São Gonçalo**. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional) - Programa de Pós Graduação em Sistemas Agroindustriais, São Gonçalo, São Paulo.
- FAZAELI, M. et al. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 4, p. 667–675, out. 2012.
- FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. DE. Secagem por atomização de polpa de amora-preta usando maltodextrina como agente carreador. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 15, n. 2, p. 157–165, jun. 2012.
- FERRARI, C. C. et al. Storage Stability of Spray-Dried Blackberry Powder Produced with Maltodextrin or Gum Arabic. **Drying Technology**, v. 31, n. 4, p. 470–478, mar. 2013.
- FERREIRA, J. A. et al. Determination of pesticides in coconut (Cocos nucifera Linn.) water and pulp using modified QuEChERS and LC–MS/MS. **Food Chemistry**, v. 213, p. 616–624, dez. 2016.
- FITZPATRICK, J. J. et al. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 435–444, out. 2004.

FRANCESCHINIS, L. et al. Physical and Functional Properties of Blackberry Freeze- and Spray-Dried Powders. **Drying Technology**, v. 32, n. 2, p. 197–207, jan. 2014.

FRANCO, A. P. et al. Dielectric properties of green coconut water relevant to microwave processing: Effect of temperature and field frequency. **Journal of Food Engineering**, v. 155, p. 69–78, jun. 2015.

FROTA, H. B. M. et al. Preparation, physicochemical characterization and controlled release of galactomannan microparticles containing allantoin. **Química Nova**, v. 41, n. 5, p. 544–549, maio 2018.

GADONSKI, A. P. et al. Two nanoparticulate composite resins chromatic effect evaluation submitted to coffee solution. **Revista de Odontologia da UNESP**, v. 47, n. 3, p. 137–142, jun. 2018.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. DA; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos**. 2. ed. NBL Editora, 2009.

GELDART, D.; ABDULLAH, E. C.; VERLINDEN, A. Characterisation of dry powders. **Powder Technology**, v. 190, n. 1, p. 70–74, mar. 2009.

GOULA, A. M. et al. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, n. 1, p. 73–83, mar. 2008.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of Maltodextrin Addition during Spray Drying of Tomato Pulp in Dehumidified Air: II. Powder Properties. **Drying Technology**, v. 26, n. 6, p. 726–737, maio 2008.

GOUW, V. P.; JUNG, J.; ZHAO, Y. Functional properties, bioactive compounds, and in vitro gastrointestinal digestion study of dried fruit pomace powders as functional food ingredients. **LWT**, v. 80, p. 136–144, jul. 2017.

GURAK, P. D.; CABRAL, L. M. C.; ROCHA-LEÃO, M. H. Production of grape juice powder obtained by freeze-drying after concentration by reverse osmosis. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, n. 6, p. 1011–1017, dez. 2013.

HALDER AMIT; DATTA ASHIM K.; SPANSWICK ROGER M. Water transport in cellular tissues during thermal processing. **AIChE Journal**, v. 57, n. 9, p. 2574–2588, ago. 2011.

HANTAO, L. W. et al. Ionic liquid stationary phases in gas chromatography: fundamentals, recent advances, and perspectives. **Química Nova**, v. 39, n. 1, p. 81–93, jan. 2016.

IAL- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4ª ed., 1ª Ed. Digital, São Paulo: 2008.

IBIAPINA, A. et al. Obtenção de pó de polpa detox utilizando liofilização e spray drying como métodos de secagem. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 3, nov. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. LSPA - Levantamento sistemático da produção agrícola. Safras 2014. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1618&z=t&o=26&i=P>. Acesso em: 21.set. 2018.

IQBAL, T.; FITZPATRICK, J. J. Effect of storage conditions on the wall friction characteristics of three food powders. **Journal of Food Engineering**, v. 72, n. 3, p. 273–280, fev. 2006.

JANGAM, S. V. An Overview of Recent Developments and Some R&D Challenges Related to Drying of Foods. **Drying Technology**, v. 29, n. 12, p. 1343–1357, set. 2011.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, n. 2, p. 125–134, jun. 2004.

JOARDDER, M. U. H. et al. **Porosity: Establishing the Relationship between Drying Parameters and Dried Food Quality**. 1 ed. Springer, 2015.

JÚNIOR, A. M. O. et al. Avaliação de diferentes modelos de secagem para liofilização de mangabas maduras com diferentes diâmetros, através de indicadores de desempenho. **Scientia Plena**, v. 12, n. 5, mai. 2016.

KADER, A. A. Future of modified atmosphere research. **Acta horticulturae**, v. 857, p. 213–217, jun. 2010.

KANOJIA, A.; JAIN, S. K. Performance of coconut shell as coarse aggregate in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 140, p. 150–156, jun. 2017.

KARAM, M. C. et al. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. **Journal of Food Engineering**, v. 188, p. 32–49, nov. 2016.

KHAN, M. I. H. et al. Investigation of bound and free water in plant-based food material using NMR T2 relaxometry. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 38, p. 252–261, dez. 2016.

KHAN, M. I. H. et al. Determination of appropriate effective diffusivity for different food materials. **Drying Technology**, v. 35, n. 3, p. 335–346, fev. 2017.

KHAN, M. I. H. et al. Multiphase porous media modelling: A novel approach to predicting food processing performance. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 4, p. 528–546, mar. 2018.

KILBURN, D. et al. Carbohydrate Polymers in Amorphous States: An Integrated Thermodynamic and Nanostructural Investigation. **Biomacromolecules**, v. 6, n. 2, p. 864–879, mar. 2005.

KINGWATEE, N. et al. Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, Part 2, p. 847–853, jun. 2015.

KROKIDA, M.; MAROULIS, Z. Quality changes during drying of food materials. **Drying technology in agriculture and food sciences**, p. 61–106, jan. 2000.

KUCK, L. S.; NOREÑA, C. P. Z. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. **Food Chemistry**, v. 194, p. 569–576, mar. 2016.

KUMAR, P. K. P.; KRISHNA, A. G. G. Physicochemical characteristics of commercial coconut oils produced in India. **Grasas y Aceites**, v. 66, n. 1, p. 062, mar. 2015.

KUROZAWA, L. E.; HUBINGER, M. D.; PARK, K. J. Glass transition phenomenon on shrinkage of papaya during convective drying. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 1, p. 43–50, jan. 2012.

LAVOYER, F. C. G. et al. Study of adsorption isotherms of green coconut pulp. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 33, n. 1, p. 68–74, mar. 2013.

LIMA, E. S. et al. Elaboração e caracterização química de coco (*Cocos nucifera* L.) branqueado tipo chips. **Acta Tecnológica**, v. 9, n. 1, p. 31–36, ago. 2014.

LIRA, G. M. et al. Changes in the lipid fraction of king mackerel pan fried in coconut oil and cooked in coconut milk. **Food Research International (Ottawa, Ont.)**, v. 101, p. 198–202, nov. 2017.

LISBÔA, C. G. C. DE; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; QUEIROZ, A. J. DE M. Armazenamento de figo-da-índia em pó. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 216–221, fev. 2012.

LOPES NETO, J. P. et al. Flow properties and flowability characteristics of poultry rations for design of silos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 851–859, jun. 2007.

LOUREIRO, M. DAS N. et al. Armazenamento de buriti em pó: efeito da embalagem nas características físicas e químicas. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, ago. 2013.

M. ELMONSEF OMAR, A.; ROOS, Y. Glass transition and crystallization behaviour of freeze-dried lactose–salt mixtures. **Lwt - Food Science and Technology**, v. 40, p. 536–543, abr. 2007.

MAHENDRAN, T. Physico-Chemical Properties and Sensory Characteristics of Dehydrated Guava Concentrate: Effect of Drying Method and Maltodextrin Concentration. **Tropical Agricultural Research and Extension**, v. 13, jun. 2011.

MAIA, J. D.; BARROS, M.; CUNHA, V. C. M. Estudo da aceitabilidade do pão de forma enriquecido com farinha de resíduo da polpa de coco. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v. 17, n. 1, p. 1–9, fev. 2015.

MAN, Y. B. C.; IRWANDI, J.; ABDULLAH, W. J. W. Effect of different types of maltodextrin and drying methods on physico-chemical and sensory properties of encapsulated durian flavour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 79, n. 8, p. 1075–1080, may. 1999.

MANICKAVASAGAN, A. et al. Physicochemical Characteristics of Date Powder Produced in a Pilot-Scale Spray Dryer. **Drying Technology**, v. 33, n. 9, p. 1114–1123, jul. 2015.

MANIVANNAN, A. et al. Biochemical and nutritional characterization of coconut (*Cocos nucifera* L.) haustorium. **Food Chemistry**, v. 238, p. 153–159, jan. 2018.

MARQUES, G. R. et al. Application of maltodextrin in green corn extract powder production. **Powder Technology**, v. 263, p. 89–95, set. 2014.

MARQUES, L. G. **Liofilização de frutas tropicais**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MARQUES, L. G.; SILVEIRA, A. M.; FREIRE, J. T. Freeze-Drying Characteristics of Tropical Fruits. **Drying Technology**, v. 24, n. 4, p. 457–463, maio 2006.

MCNAMEE, B. F.; O'RIORDA, E. D.; O'SULLIVAN, M. Emulsification and Microencapsulation Properties of Gum Arabic. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 11, p. 4551–4555, nov. 1998.

MELO FILHO, A. B.; VASCONCELOS, M. A. S. **Química de alimentos**. Recife: UFRPE, 2011.

MENDES, M. P.; FORMIGONI, M. Determinação da qualidade físico-química e instrumental de maionese desenvolvida à base de óleo de coco. **Higiene Alimentar**, v. 30, p. 90-93, 2016.

MERCIER, S. et al. Modeling of internal moisture transport during durum wheat pasta drying. **Journal of Food Engineering**, v. 124, p. 19–27, mar. 2014.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid for determination of reducing sugar. **Anal. Chem.**, v. 11, p. 426-428, 1959.

MITRA, H. et al. Influence of moisture content on the flow properties of basundi mix. **Powder Technology**, v. 312, p. 133-143, mai. 2017.

MOLINA, R. et al. Physical Evaluation and Hygroscopic Behavior of Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*) Lyophilized Pulp Powder. **Drying Technology**, v. 32, n. 16, p. 2005–2011, dez. 2014.

MONDELLO, L. **Comprehensive Chromatography in Combination with Mass Spectrometry**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2011.

MORAIS, E. C. DE et al. Bioactive compounds and physicochemical characteristics of in natura and pasteurized araticum pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, set. 2017.

MOREIRA, T. B. et al. Comportamento das isotermas de adsorção do pó da polpa de manga liofilizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1093–1098, out. 2013.

MRAD, N. D. et al. Moisture desorption isotherms and glass transition temperatures of osmo-dehydrated apple and pear. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 2, p. 121–128, abr. 2013.

MUJUMDAR, A.S., HUANG, L.-X., CHEN, X.D. An overview of the recent advances in spray-drying. **Dairy Science and Technology**, v.90 (2-3), p. 211-224, jan. 2010.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V. G. S. Foam-Mat Freeze Drying of Egg White—Mathematical Modeling Part II: Freeze Drying and Modeling. **Drying Technology**, v. 26, n. 4, p. 513–518, mar. 2008.

NETO, A. et al. Nutritional value of whole coconut, coconut powder, and coconut fiber treated with sodium hydroxide for sheep. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 475–483, ago. 2016.

NETO, C. J. F. Sensory evaluation and water activity of the seasoned cassava flour. **Ciênc. agrotec.**, v. 29, n. 4, p. 9, jul./ago. 2005.

NETO, L. et al. Flow properties and flowability characteristics of poultry rations for design of silos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 851–859, jun. 2007.

OCHOA-MARTÍNEZ, C. I. et al. Drying characteristics of mango slices using the Refractance WindowTM technique. **Journal of Food Engineering**, v. 109, n. 1, p. 69–75, mar. 2012.

OCHOA-VELASCO, C. E. et al. Effect of UV-C light on *Lactobacillus rhamnosus*, *Salmonella Typhimurium*, and *Saccharomyces cerevisiae* kinetics in inoculated coconut water: Survival and residual effect. **Journal of Food Engineering**, v. 223, p. 255–261, abr. 2018.

OCHOA-VELASCO, C. E.; CRUZ-GONZÁLEZ, M.; GUERRERO-BELTRÁN, J. Á. Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* and *Salmonella typhimurium* in coconut (*Cocos nucifera* L.) milk. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 26, p. 199–204, dez. 2014.

OLIVEIRA, E. N. A. DE et al. Obtenção de ubaia desidratada pelo processo de liofilização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 4, n. 2, dez. 2010.

OLIVEIRA, V. S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Caracterização físico-química e comportamento higroscópico de sapoti liofilizado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 2, p. 342–348, abr. 2011.

OLIVEIRA, M. I. S. et al. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 4, p. 310–318, dez. 2013.

OLIVEIRA, D. M.; CLEMENTE, E.; DA COSTA, J. M. C. Hygroscopic behavior and degree of caking of grugru palm (*Acrocomia aculeata*) powder. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 10, p. 2783–2789, out. 2014.

OLIVEIRA, A. DA S. et al. Stability of the *Cereus jamacaru* powder during storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 147–153, fev. 2015.

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

OSTROWSKA-LIGEZA, E.; LENART, A. Influence of water activity on the compressibility and mechanical properties of cocoa products. **LWT - Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 1054–1060, mar. 2015.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra barllet (*pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 73-77, jan./abr. 2001.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. Considerações termodinâmicas das isotermas. **Revista brasileira de produtos agroindustriais**, v. 10, p. 83-94, 2008.

PATRÍCIA, M. DE A.; DE FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. DE M. Armazenamento da polpa de acerola em pó a temperatura ambiente. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 24, n. 3, p. 384–389, 2004.

PENHA, E. M. et al. Água de coco. In: VENTURINI FILHO, W. G. (Coord). **Bebidas não alcoólicas: ciência e tecnologia**. v.2. São Paulo: Blucher, 2010.

PEREIRA, A. C. DA S. et al. Desenvolvimento de bebida mista à base de água de coco, polpa de abacaxi e acerola. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 59, n. 4, p. 441–447, dez. 2009.

PERFEITO, D. G. A. et al. Caracterização de frutos de mangabas (*hancornia speciosa gomes*) e estudo de processos de extração da polpa. **Journal of neotropical agriculture**, v. 2, n. 3, p. 1–7, 30 set. 2015.

PONPHAIBOON, J. et al. Optimization and comparison of GC-FID and HPLC-ELSD methods for determination of lauric acid, mono-, di-, and trilaurins in modified coconut oil. **Journal of Chromatography B**, v. 1099, p. 110–116, nov. 2018.

PROSAPIO, V.; NORTON, I. Influence of osmotic dehydration pre-treatment on oven drying and freeze drying performance. **LWT**, v. 80, p. 401–408, jul. 2017.

RAHMAN, M. M. et al. Multi-scale model of food drying: Current status and challenges. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 5, p. 858–876, mar. 2018.

REIS, D. S. et al. Produção e estabilidade de conservação de farinha de acerola desidratada em diferentes temperaturas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, abr. 2017.

RIBEIRO, L. C. et al. Hygroscopic behavior of lyophilized acerola pulp powder. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 269–274, mar. 2016.

RIGANAKOS, K. A.; DEMERTZIS, P. G.; KONTOMINAS, M. G. Water Sorption by Wheat and Soy Flour: Comparison of Three Methods. **Journal of Cereal Science**, v. 20, n. 1, p. 101–106, jul. 1994.

ROCHA, F. DE O. **Secagem de polpa de manga (*Mangifera indica*, L.) cv. Palmer em spray-dryer: condições de secagem e estabilidade**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

ROCHA-PARRA, D. F. et al. Influence of storage conditions on phenolic compounds stability, antioxidant capacity and colour of freeze-dried encapsulated red wine. **LWT - Food Science and Technology**, v. 70, p. 162–170, jul. 2016.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**: Uma estratégia sequencial de planejamentos. 1 ed. Campinas: Editora Casa do Pão, 2005.

ROOS, Y. H. (UNIVERSITY OF H. **Glass transition**: related physicochemical changes in foods. Food technology (USA), 1995.

SABLANI, S.; SHRESTHA, A.; BHANDARI, B. A new method of producing date powder granules: Physicochemical characteristics of powder. **Journal of Food Engineering**, v. 87, ago. 2008.

SAHARI, M. A.; HAMIDI ESFAHANI, Z.; SAMADLUI, H. Optimization of Vacuum Drying Characteristics of Date Powder. **Drying Technology**, v. 26, p. 793–797, jun. 2008.

SAIFULLAH, M. et al. Physicochemical and flow properties of fruit powder and their effect on the dissolution of fast dissolving fruit powder tablets. **Powder Technology**, v. 301, p. 396–404, nov. 2016.

SAIKHWAN, P. et al. Cleaning studies of coconut milk foulants formed during heat treatment process. **Food and Bioproducts Processing**, v. 93, p. 166–175, jan. 2015.

SAIKIA, S.; MAHNOT, N. K.; MAHANTA, C. L. Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. **Food Chemistry**, v. 171, p. 144–152, mar. 2015.

SANKARARAMAN, S.; SFERRA, T. J. Are we going nuts on coconut oil? **Current Nutrition Reports**, v. 7, n. 3, p. 107–115, set. 2018.

SANTANA, I. A.; RIBEIRO, E. P.; IGUTI, A. M. Evaluation of green coconut (*Cocos nucifera* L.) pulp for use as milk, fat and emulsifier replacer in ice cream. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 1447–1453, jan. 2011.

SANTANA, I. A. **Avaliação Química e Funcional de Polpa de Coco Verde e Aplicação em Gelado Comestível**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul.

SANTIAGO, M. C. P. DE A. **Avaliação de processos para obtenção de produtos ricos em antocianinas utilizando suco de romã (*Punica granatum* L.)**. 2011. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SANTOS, I. P. D. et al. Características físico-químicas e estabilidade do suco de umbu co-cristalizado com sacarose. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 33, n. 1, 2015.

SANTOS, L. C. DOS.; CONDOTTA, R.; FERREIRA, M. C. Obtenção e análise das propriedades de fluxo de açúcares. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2016, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: COBEQ, 2016.

SANTOS, A. A. DOS et al. Microwell plate-based method for the determination of reducing sugars with the DNS reagent. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, jan. 2017.

SEERANGURAYAR, T. et al. Effect of carrier agents on flowability and microstructural properties of foam-mat freeze-dried date powder. **Journal of Food Engineering**, v. 215, p. 33–43, dez. 2017.

SENHORAS, E. M. Oportunidades da Cadeia Agroindustrial do Coco Verde: Do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Interdisciplinar Urutaguá**, v. 5, dez./jan./fev./mar. 2004.

SHAARUDDIN, S. et al. Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 129–134, out. 2017.

SHISHIR, M. R. I. et al. Physical Properties of Spray-dried Pink Guava (*Psidium Guajava*) Powder. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 74–81, jan. 2014.

SHISHIR, M. R. I. et al. Effect of packaging materials and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 12, p. 83–90, jun. 2017.

SHOFIAN, N. M. et al. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 7, p. 4678–4692, jul. 2011.

SILVA, A. K. N. DA et al. Composição nutricional e capacidade antioxidante da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* M.). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 11, n. 1, jun. 2017.

SILVA, S. A. DA et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons content and fatty acids profile in coconut, safflower, evening primrose and linseed oils. **Food Chemistry**, v. 245, p. 798–805, abr. 2018.

SIMÕES, T. B. et al. Determinação de parâmetros de modelos reológicos para o melaço de cana-de-açúcar e do leite de coco. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBEQIC, 2015.

SOARES, G. L. et al. Caracterização Físico-Química de Polpa de Coco Verde Submetida ao Congelamento Lento e Rápido. **Nativa**, v. 3, n. 3, p. 185–190, set. 2015.

SOARES, J. et al. Fed-batch production of green coconut hydrolysates for high-gravity second-generation bioethanol fermentation with cellulosic yeast. **Bioresource Technology**, v. 244, p. 234–242, nov. 2017.

SOUSA, S. L. et al. Stability of cashew apple juice in powder dehydrated in spouted bed. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 7, p. 678–682, jul. 2016.

STROHECKER, R.; HENNING, H. M. **Analisis de vitaminas: métodos comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967.

SUGAMI, Y.; MINAMI, E.; SAKA, S. Hydrocarbon production from coconut oil by hydrolysis coupled with hydrogenation and subsequent decarboxylation. **Fuel**, v. 197, p. 272–276, jun. 2017.

SURAVANICHNIRACHORN, W. et al. Effect of carrier type and concentration on the properties, anthocyanins and antioxidant activity of freeze-dried mao [*Antidesma bunioides* (L.) Spreng] powders. **Agriculture and Natural Resources**, v. 52, n. 4, p. 354–360, ago. 2018.

SYAMALADEVI, R. M. et al. Physicochemical Properties of Encapsulated Red Raspberry (*Rubus idaeus*) Powder: Influence of High-Pressure Homogenization. **Drying Technology**, v. 30, n. 5, p. 484–493, abr. 2012.

TANG, Z.-X.; SHI, L.-E.; ALEID, S. M. Date fruit: chemical composition, nutritional and medicinal values, products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 10, p. 2351–2361, ago. 2013.

TAVARES, S. A. et al. Caracterização físico-química da mucilagem de inhame liofilizada. **Ciência e Agrotecnologia**, p. 973–979, out. 2011.

TEIXEIRA, N. S. et al. Aproveitamento do albúmen sólido do coco verde na formulação de smoothie de frutas. In: Congresso Latino Americano de Analistas de Alimentos, 2017, Belém. **Anais...** Belém: CLAAA, 2017.

TELIS-ROMERO, J. et al. Enthalpy-entropy compensation based on isotherms of mango. **Food Science and Technology**, v. 25, n. 2, p. 297–303, jun. 2005.

TIMMERMANN, E. O.; CHIRIFE, J.; IGLESIAS, H. A. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters? **Journal of Food Engineering**, v. 48, n. 1, p. 19–31, abr. 2001.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411–418, out. 2008.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açai em pó. **Food Science and Technology**, v. 29, n. 2, p. 444–450, jun. 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, v. 43, n. 3, p. 907–914, abr. 2010.

TONON, R.; BRABET, C.; HUBINGER, M. Spray drying of açai (*Euterpe Oleracea* Mart.) Juice: Effect of process variables and type of carrier agent on product's quality and stability. **Focus on Food Engineering**, p. 125–155, jan. 2011.

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 63, p. 91–102, maio 2017.

WANG, J. et al. Effects of Dietary Coconut Oil as a Medium-chain Fatty Acid Source on Performance, Carcass Composition and Serum Lipids in Male Broilers. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 28, n. 2, p. 223–230, fev. 2015.

WOLF, W.; SPIESS, W.; JUNG, G. Standardization of Isotherm Measurements (Cost-Project 90 and 90 BIS). In: [s.l: s.n.]. p. 661–679. 1985

WU, G.-C., ZHANG, M., MUJUMDAR, A.S., WANG, R. Effect of calcium ion and microwave power on structural and quality changes in drying of apple slices, **Drying Technology**, v. 28 (4), p. 517-522, abr. 2010.

YAMASHITA, C. et al. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 84, p. 256–262, out. 2017.

YAN, Z.; SOUSA-GALLAGHER, M. J.; OLIVEIRA, F. A. R. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 3, p. 430–440, fev. 2008.

YU, L. Amorphous pharmaceutical solids: preparation, characterization and stabilization. **Advanced Drug Delivery Reviews**, Characterization of the Solid State. v. 48, n. 1, p. 27–42, mai. 2001.

ZARDO, I. **Extração e microencapsulação de compostos antociânicos do bagaço de mirtilo (*Vaccinium corymbosum* L.)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Fenômenos de Transporte) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ZHAO, Y. et al. Fabrication and characteristics of cellulose nanofibril films from coconut palm petiole prepared by different mechanical processing. **Industrial Crops and Products**, v. 65, p. 96–101, mar. 2015.

ZOTARELLI, M. F. et al. Production of mango powder by spray drying and cast-tape drying. **Powder Technology**, v. 305, p. 447–454, jan. 2017.