

**SECAGEM DA POLPA DE JAMBOLÃO (*Syzygium cumini*) EM  
SECADOR DE LEITO DE JORRO: EFEITO DA CLARA DE OVO  
COMO AGENTE CARREADOR DE SECAGEM NA QUALIDADE DO  
PRODUTO**

**ANDRESSA COSTA SOARES**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE

DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2018

**SECAGEM DA POLPA DE JAMBOLÃO (*Syzygium cumini*) EM  
SECADOR DE LEITO DE JORRO: EFEITO DA CLARA DE OVO  
COMO AGENTE CARREADOR DE SECAGEM NA QUALIDADE DO  
PRODUTO**

**ANDRESSA COSTA SOARES**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestrado em Produção Vegetal

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Nádia Rosa Pereira

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
FEVEREIRO – 2018

**FICHA CATALOGRÁFICA**

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

S676

Soares, Andressa Costa.

SECAGEM DA POLPA DE JAMBOLÃO (SYZYGIUM CUMINI) EM SECADOR DE LEITO DE JORRO : EFEITO DA CLARA DE OVO COMO AGENTE CARREADOR DE SECAGEM NA QUALIDADE DO PRODUTO / Andressa Costa Soares. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.

69 f. : il.

Bibliografia: 62 - 69.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2018.  
Orientadora: Nadia Rosa Pereira.

1. Jambolão (Syzygium cumini). 2. Secagem em leito de jorro. 3. Maltodextrina.  
4. Clara. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630


**SECAGEM DA POLPA DE JAMBOLÃO (*SYZYGIUM CUMINI*) EM SECADOR  
DE LEITO DE JORRO: EFEITO DA CLARA DE OVO COMO AGENTE  
CARREADOR DE SECAGEM NA QUALIDADE DO PRODUTO**

**ANDRESSA COSTA SOARES**

Dissertação apresentada ao  
Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro  
(CCTA/ UENF), como parte das  
exigências para obtenção do  
título de Mestre em Produção  
Vegetal

Aprovada em 28 de fevereiro de 2018

Comissão Examinadora

  
Wanderley Pereira de Oliveira – (Doutor em Engenharia Química) – FCFRP / USP

  
Victor Haber Pérez – (Doutor em Engenharia Química) - UENF/CCTA/LTA

  
Luana Pereira de Moraes – (Doutora em Engenharia de Alimentos) - UENF/CCTA/LTA

  
Prof.ª Nádia Rosa Pereira (Doutora em Engenharia de Alimentos) – UENF/CCTA/LTA

Orientadora

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar presente em minha vida me iluminando, me guiando e dando forças para superar todos os obstáculos. Obrigada por me tornar hoje uma pessoa mais forte e determinada!

À minha mãe Maria Dos Anjos, a pessoa mais guerreira que já conheci, um exemplo de mulher. Ao meu pai Elisson, que muito me ensinou sobre a vida, obrigada por toda confiança! Agradeço pelo imenso apoio de vocês, por me ensinar sempre a correr atrás dos meus objetivos com muita humildade e caráter!

Aos meus irmãos, por todo carinho e apoio;

Ao meu namorado Diego Teixeira, por todo amor, companheirismo e apoio. Te agradeço por sempre estar presente em todos os momentos, sendo eles bons ou ruins. Obrigada por sonhar os meus sonhos!

Agradeço à orientadora Nádia Rosa Pereira por toda dedicação, paciência, apoio e orientação nesses dois anos de mestrado. Obrigada por todos os ensinamentos e por confiar em meu trabalho!

Aos meus amigos por vibrarem a cada conquista, carregando a certeza de que nunca estive só, sei que posso contar com vocês em todos os momentos!

Agradeço aos membros da banca por terem aceitado participar e pela colaboração no presente trabalho;

Aos professores do laboratório de tecnologia de alimentos: Victor Haber Perez, Karla Silva Ferreira e Éder Dutra de Resende por grandes contribuições e toda assistência;

À técnica do laboratório Valdinéia pela valiosa contribuição na parte experimental;

Agradeço ao Professor Carlos Eduardo e ao técnico Bráulio do Laboratório de Ciências Ambientais (CBB) da UENF por toda dedicação e ajuda na realização da análise de distribuição de partículas;

Agradeço às empresas Ingredion Brasil ingredientes Ltda, Doces Tradição e Fortplast pelas doações e contribuições para realização deste trabalho;

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à UENF pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	viii
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Característica do jambolão .....	4
2.2. Secagem .....	5
2.3. Secagem em leito de jorro com uso de inertes.....	6
2.3.1. Inerte.....	8
2.3.2. Temperatura .....	9
2.4. Propriedades físicas dos pós.....	10
2.5. Agentes carreadores .....	12
2.5.1. Proteínas.....	13
2.5.2. Maltodextrina .....	15
2.5.3. Dióxido de silício coloidal .....	16
3. OBJETIVOS .....	18
3.1. Objetivo Geral.....	18
3.2. Objetivos Específicos .....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	20
4.1. Polpa de jambolão .....	20

4.2. Agentes carreadores .....	21
4.3. Caracterização físico-química da pasta e pó.....	21
4.4. Cor instrumental .....	22
4.5. Açúcares.....	22
4.6. Obtenção dos extratos.....	23
4.7. Antocianinas monoméricas.....	23
4.8. Solubilidade .....	24
4.9. Molhabilidade .....	24
4.10. Distribuição de tamanho das partículas.....	25
4.11. Densidade bulk solta e empacotada.....	26
4.12. Higroscopicidade .....	26
4.13. Processo de secagem em leito de jorro com uso de inertes .....	27
4.14. Condições operacionais .....	30
4.15. Formulações das pastas.....	31
4.16. Rendimento do processo.....	32
4.17. Avaliação da estabilidade dos pós à temperatura ambiente.....	32
4.18. Análise Estatística .....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
5.1. Caracterização físico-química da polpa de jambolão e da clara in natura e acidificada.....	34
5.2. Fluidodinâmica do material inerte polietileno de baixa densidade.....	39
5.3. Efeito da adição do agente carreador dióxido de silício coloidal Aerosil® 200 .....	40
5.4. Efeito da mistura clara acidificada e maltodextrina DE10.....	47
5.4.1. Estabilidade do produto .....	55
6. CONCLUSÃO .....	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Trabalhos que mostram o papel de proteínas como agente carreador.	15
Tabela 2- Caracterização do inerte.....	28
Tabela 3 - condições operacionais de secagem de polpa de jambolão em leite de jorro com inertes. ....	30
Tabela 4- Proporção entre clara e maltodextrina adicionadas para completar 19,5% da massa de pasta.....	31
Tabela 5 - Caracterização físico-química da polpa pura e da polpa filtrada de jambolão em diferentes coletas.....	37
Tabela 6-Avaliação do teor de antocianinas totais da polpa. ....	38
Tabela 7 - Caracterização da clara de ovo utilizada nos experimentos. ....	38
Tabela 8 - Caracterização físico-química da pasta e pó com diferentes concentrações de SiO <sub>2</sub> .....	43
Tabela 9- Caracterização física do pó obtido na secagem com diferentes concentrações de dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> ) e maltodextrina DE 10.....	44
Tabela 10- Parâmetros colorimétricos dos pós de jambolão com diferentes concentrações dos agentes carreadores, maltodextrina DE10 e SiO <sub>2</sub> .....	46
Tabela 11 - Caracterização físico-química da pasta com diferentes concentrações de maltodextrina e clara. ....	49
Tabela 12 - Caracterização física do pó obtido na secagem com diferentes concentrações de agentes carreadores. ....	50

Tabela 13 - Caracterização físico-química do pó obtido no processo de secagem. .....	52
Tabela 14 - Parâmetros colorimétricos dos pós de jambolão com diferentes concentrações dos agentes carreadores, maltodextrina DE10 e clara. ....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fruto Jambolão ( <i>Syzygium cumini</i> ) – Fonte arquivo pessoal.....	5
Figura 2. Diagrama esquemático de leito de jorro (Mathur e Epstein, 1974). .....	7
Figura 3. Dispositivo em acrílico utilizado para a determinação da molhabilidade dos pós. ....	25
Figura 4. Foto do pó seco armazenado em dessecador durante a análise de higroscopicidade a 25°C. ....	27
Figura 5. Esquema experimental do leito de jorro com sistema de atomização. (1) painel de controle; (2) agitador magnético; (3) pasta para atomização; (4) bomba peristáltica; (5) peça de atomização; (6,7,8) Termopares; (9) elutriado (saco); (10) coletor de pó; (11) ciclone; (12) resistência; (13) válvula globo; (14) compressor radial; (15) compressor (linha de ar comprimido).....	29
Figura 6. Curva fluidodinâmica do material inerte PEBD avaliando a queda de pressão no leito de jorro em função da velocidade do ar crescente e decrescente. ....	40
Figura 7. Perda de material nas partes do leito de jorro e produção de pó após a secagem de jambolão em leito de jorro $T_{ar} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ....	41
Figura 8. Material aderido nas paredes do equipamento (A), material aderido na peça de atomização (B), material aderido no inerte após o processo de secagem (C). ....	42
Figura 9. Rendimento de pó no produto final e nas peças do equipamento leito de jorro. ....	49

Figura 10. fotografias do pó obtido no processo de secagem com diferentes concentrações de agente carreador maltodextrina DE10 e clara acidificada. (75M 25C) 14,75% maltodextrina + 4,75% clara+ 0,5% SiO <sub>2</sub> . (50M 50C) 9,75% maltodextrina + 9,75% clara+ 0,5% SiO <sub>2</sub> . (25M 75C) 4,75% maltodextrina + 14,75% clara+ 0,8% SiO <sub>2</sub> .....	55
Figura 11. Parâmetros de cor L*, a* e b* em função do tempo de armazenamento. ....	57
Figura 12. Parâmetros de cor C* e H° em função do tempo de armazenamento.	58
Figura 13. Análise de (ρ <sub>bs</sub> ) e (ρ <sub>be</sub> ) em função do tempo de armazenamento.....	59

## RESUMO

SOARES, Andressa Costa, M. Sc. Produção Vegetal. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2018. Secagem da polpa de jambolão (*Syzygium cumini*) em secador de leito de jorro: Efeito da clara de ovo como agente carreador de secagem na qualidade do produto. Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Nádía Rosa Pereira.

A secagem em leito de jorro ocupa lugar de destaque na secagem de pastas e suspensões e é considerada como uma alternativa à secagem por spray dryer. O jambolão (*Syzygium cumini*) é uma fruta rica em compostos fenólicos, inclusive as antocianinas, que possui uma alta atividade antioxidante, sendo considerado um fruto com potencial funcional. Entretanto, as polpas de frutas apresentam elevados teores de açúcares redutores e possuem características coesivas. Por isso, é necessário a adição de agentes carreadores com o objetivo de minimizar irregularidades durante o processo de secagem. Portanto, o presente trabalho avaliou a composição centesimal de frutos de jambolão de diferentes localidades na região de Campos dos Goytacazes (RJ) e o processo de secagem da polpa em leito de jorro com partículas inertes. Foi avaliada a influência da adição de SiO<sub>2</sub>, maltodextrina DE10 e clara de ovo na eficiência da secagem e nas características físico-químicas do pó, tais como: umidade, atividade de água, distribuição de tamanho, densidade *bulk*, molhabilidade, solubilidade, higroscopicidade, cor e teores de antocianinas. A estabilidade dos

pós foi avaliada após 40 dias de armazenamento. As condições fixas operacionais foram: temperatura de entrada do ar de 70 °C, vazão de alimentação da pasta 11 g/min, 550 g de inerte PEBD (polietileno de baixa densidade). A polpa pura e filtrada de jambolão coletada nas diferentes regiões apresentou resultados de composição centesimal similares. A adição de até 0,8% de SiO<sub>2</sub> na pasta formulada com maltodextrina DE10 influenciou positivamente no rendimento, demonstrando menor porcentagem de perda e menor aderência de material nas peças do equipamento. O pó produzido com 0,5% de SiO<sub>2</sub> e 19,5% de maltodextrina DE10 apresentou características de média fluidez, boa solubilidade e boa capacidade de dispersão em água. Foi observado menor rendimento, menor diâmetro médio das partículas, maior higroscopicidade e menor tempo de molhamento para produtos obtidos a partir de pasta formulada com maior teor de clara e menor teor de maltodextrina DE10. Por outro lado, produtos com maior teor de clara apresentaram maior teor de antocianinas 164 mg/100 g (retenção de 79%) em relação às demais amostras. Os pós apresentaram maior luminosidade (L\*), manutenção da cor vermelha (a\*) e redução da cor azul (b\*) após 40 dias de armazenamento, independente da formulação utilizada. Observou-se um aumento da densidade bulk das amostras produzidas com mistura de clara e maltodextrina após armazenamento durante 40 dias, fato este que pode estar relacionado com alterações nas propriedades físicas do material, principalmente a molhabilidade e higroscopicidade. Foi possível concluir que o pó obtido com maior concentração de clara apresentou concentrações mais significativas de compostos bioativos, em relação a maltodextrina DE10 .

Palavras-chave: jambolão, secagem em leite de jorro, maltodextrina e clara.

## ABSTRACT

SOARES, Andressa Costa, M. Sc. Vegetal Production. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February, 2018. Drying jambolão (*Syzygium cumini*) pulp in spouted bed drier: effect of egg white as drying carrier agent on product quality. Advisor: Nádia Rosa Pereira.

Spouted bed drying occupies prominent position in the drying of pastes and suspensions and it is considered as an alternative to spray drying. The jambolão (*Syzygium cumini*) is a fruit rich in phenolic compounds, including anthocyanins, with significant antioxidant capacity, being considered a fruit with functional potential. However, fruits pulps have high levels of reducing sugars and cohesive characteristics. Therefore, the addition of carrier agents is necessary to minimize irregularities during the drying process. Thus, this study has evaluated the centesimal composition of jambolão fruits collected in different localities in the region of Campos dos Goytacazes (RJ) and the drying process of the juice in the fluidized bed with inert particles. Influence of the addition of SiO<sub>2</sub>, maltodextrin DE10 and egg white on the drying efficiency in the physicochemical characteristics of the dry particulate powder, such as: moisture, water activity, particle size distribution, loose and packed bulk density, wettability, solubility, hygroscopicity and anthocyanins, has been evaluated. Fixed operating conditions were: inlet temperature 70°C, the feed rate of the paste 11 g/min, 550 g of inert LDPE (low-density polyethylene). Jambolão pulp and juice samples that had been collected in the different regions has showed similar results of centesimal composition. The

addition of up to 0.8% SiO<sub>2</sub> in the paste formulated with maltodextrin DE10 has had a positive influence on yield that was demonstrated through lower percentage of loss and less adherence of material in equipment parts. The powder produced with 0.5% SiO<sub>2</sub> and 19.5% maltodextrin DE10 showed characteristics of medium flowability, good solubility and good dispersibility in water. It was observed lower yield, lower average particle diameter, higher hygroscopicity and lower wetting time for products obtained from pulp formulated with higher egg white content and lower content of maltodextrin DE10. On the other hand, products with higher content of egg white had a higher content of anthocyanins 164 mg / 100 g, and greater retention of anthocyanins, 79%, in relation to the other samples. Color stability at 0 and 40 days of storage evaluation has showed variations in the brightness parameter L \* and b \* and stability in parameter a \* was observed for most samples. An increase in bulk density of the samples produced with egg white and maltodextrin mixture was observed after storage for 40 days, which may be related to changes in the physical properties of the material, especially the wettability and hygroscopicity of the powder. It was possible to conclude that the powder obtained with the highest concentration of egg white, compared to that of maltodextrin, showed significant concentrations of bioactive compounds.

Keywords: Jambolão, spouted bed drying, maltodextrin and eggwhite.



## 1. INTRODUÇÃO

As frutas fazem parte do grupo de alimentos que apresentam potencial funcional, pois além de apresentar substâncias como fenólicos, flavonoides, carotenoides, polissacarídeos, polifenóis contêm nutrientes e micronutrientes, que são necessários para o funcionamento do organismo humano como fibras, minerais e vitaminas (Fennema et al., 2010).

O jambolão (*Syzygium cumini*) é considerado uma planta exótica da família *Myrtaceae*, cujo fruto é uma rica fonte de antocianinas com significativa capacidade antioxidante, sendo considerado um fruto com potencial funcional (Banerjee et al., 2005; Faria et al., 2011; Veigas et al., 2007). O fruto do jambolão possui característica adstringente, mas com sabor agradável que varia de acordo com seu grau de maturação. O fruto é pequeno, formato ovoide, de coloração roxa quase negra por fora e de pouca polpa em seu interior, porém bem carnosa; que envolve um caroço único e grande quando comparado ao tamanho total do fruto (Lago et al., 2006; Vizzoto e Fetter, 2009)

Um dos processos mais antigos e utilizados na conservação de alimentos é a secagem, que visa remover a água ou qualquer outro líquido volátil de um determinado material por meio do calor. A secagem de produtos alimentícios apresenta diversas vantagens, dentre elas a extensão da vida de prateleira do produto, diminuição de perdas pós-colheita, redução de volume e de peso que, portanto, levam a diminuição dos custos com transporte, armazenamento, embalagem e comercialização. Além disso, pode proporcionar

concentração de nutrientes, possibilitando o consumo de alimento com alto valor nutricional (Celestino, 2010). Dessa forma, a secagem apresenta-se como uma alternativa à secagem de frutas. A utilização do fruto jambolão para elaboração de produtos em pó é uma alternativa para diminuir a perda do fruto em razão de sua natural perecibilidade.

A secagem em leito de jorro com inertes vem se destacando na secagem de pastas e suspensões (Medeiros et al., 2001). Este método tem sido apresentado como uma alternativa à secagem por *spray dryer* em uma tentativa de obter produtos em pó que sejam de boa qualidade e com baixo custo (Dotto et al., 2011).

O processo de secagem em leito de jorro é formado pela atomização da pasta ou suspensão sobre um leito de partículas, que serão revestidas com uma camada fina de material. A película seca se torna frágil e se quebra pelo choque entre as partículas ao longo do processo. O material seco é arrastado para fora da câmara de secagem pela corrente de ar em forma de pó. Em seguida, ocorre a separação do pó por um ciclone conectado ao secador (Medeiros et al., 2001; Freire e Silveira, 2009).

Polpas de frutas possuem elevados teores de açúcares redutores e ácidos orgânicos e apresentam características coesivas durante a secagem. Portanto, a secagem tanto em leito de jorro como por *spray drying* apresenta defeitos como produção de pós higroscópicos e aderência do produto sobre as partículas inertes e nas paredes do equipamento. Diante disso, é necessária a adição de agentes carreadores nas polpas para diminuir a adesão do produto nas partículas e paredes do equipamento, favorecendo o processo de secagem. Em geral, se utilizam carboidratos de alto peso molecular.

As maltodextrinas são biopolímeros originários da hidrólise parcial do amido e que apresentam extensa utilização como agente carreador de secagem (Coutinho, 2007; Medeiros et al., 2001; Truong et al., 2005). As proteínas também são utilizadas como agente carreador, pois apresentam boa eficiência de secagem com a vantagem de possuírem propriedades funcionais. No geral, as proteínas apresentam maior custo-benefício do que os carboidratos de alto peso molecular, como a maltodextrina, pois apresentam bons resultados na secagem de pastas e suspensões em proporções menores do que as usadas para carboidratos (Fang e Bhandari, 2012). Outro agente

carreador utilizado na secagem em leito de jorro e *spray drying* é o dióxido de silício coloidal ( $\text{SiO}_2$ ), que apresenta efeito positivo na eficiência de secagem e é bastante utilizado na indústria farmacêutica (Banelli et al., 2013).

Dentro deste contexto, a clara de ovo é uma fonte proteica rica em aminoácidos essenciais e é descartada como resíduo agroindustrial nas fábricas de *chuvisco*, doce típico da região de Campos dos Goytacazes, RJ. Dessa forma, a clara de ovo pode ser utilizada como agente carreador de secagem, visando melhorar o rendimento de secagem e obtenção de polpa seca em pó com boa qualidade nutricional e tecnológica.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo investigar o processo de secagem da polpa de jambolão em secador de leito de jorro com partículas inertes, visando avaliar o desempenho da mistura de maltodextrina, clara de ovo e dióxido de silício coloidal como agentes carreadores.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Característica do jambolão

O consumo de frutas tropicais vem aumentando, em razão das propriedades nutricionais e terapêuticas das mesmas. O Brasil tem uma ampla variedade de frutas exóticas, mas devido à sua alta perecibilidade são pouco introduzidas no mercado. Esses tipos de frutas são fontes de antioxidantes naturais (Clerici e Carvalho-Silva, 2011; Vizzoto e Fetter, 2009).

O jambolão (*Syzygium cumini*) pertence à família Mirtácea, botanicamente conhecida como *Eugenia jambolana* (Faria et al., 2011). Sua árvore é de grande porte e possui época de frutificação no período de janeiro a maio. A planta é originária da Indonésia, China e Antilhas, sendo cultivada em outros países, incluindo o Brasil, onde apresentou boa adaptação (Vizzoto e Fetter, 2009).

A planta possui frutos pequenos, de formato ovoide, a casca se torna roxa escura quando está completamente madura e a polpa branca. O fruto tem uma semente única e grande envolvida por uma polpa carnosa (Severo et al., 2010). Apesar de adstringente, é agradável ao paladar (Vizzoto e Fetter, 2009).

A cor escura presente na casca é devido ao alto teor de antocianinas (Brito et al., 2007). As antocianinas possuem atividade antioxidante e

pertencem ao grupo dos flavonoides, pigmentos responsáveis pela cor do fruto jambolão. De acordo com os dados relatados na literatura, as principais antocianinas encontradas no fruto jambolão são delphinidina 3,5-diglicosídeo, petunidina 3,5- diglicosídeo, malvidina 3,5-diglicosídeo, cyanidin 3,5-diglicosídeo (Brito et al., 2007; Faria et al., 2011). Esses compostos apresentam efeitos funcionais e terapêuticos, pela ação antioxidante. O fruto do jambolão possui uma alta atividade antioxidante, sendo superior à das frutas mais estudadas e conhecidas como o mirtilo e a amora-preta (Rocha, 2009; Braga, 2014). Sua semente apresenta atividade antioxidante maior que a casca e a polpa, portanto, pode ser utilizada nas formulações de extratos antioxidantes (Vizzoto e Fetter, 2009). A fruta é caracterizada como uma matéria-prima de baixo pH, alta acidez, médio teor de sólidos solúveis e baixo teor de pectina (Lago et al., 2006; Severo et al., 2010).



Figura 1. Fruto Jambolão (*Syzygium cumini*) – Fonte arquivo pessoal.

## 2.2. Secagem

Na conservação de alimentos, um dos procedimentos mais utilizados e importantes para a diminuição de atividade de água ( $A_w$ ) é a secagem. Ela visa à remoção total ou parcial da água ou qualquer outro líquido por aquecimento (Celestino, 2010; Gabas, 1998). A secagem proporciona a elaboração de

produtos secos, o que aumenta a oferta de produtos no mercado, sendo uma motivação para os investimentos de produção e beneficiamento agrícola. Desse modo, o produto vai ter um tempo mais prolongado de vida de prateleira em comparação com a fruta na forma *in natura* (Soares et al., 2001).

O alimento que passa pelo processo de secagem possui vantagens que podem ser atribuídas à redução de umidade, dentre elas o aumento de vida de prateleira do produto, a concentração dos nutrientes devido à perda de água, redução nos custos de transporte (Gabas, 1998; Celestino, 2010; Fellows, 2006)

A secagem de alimentos pode ser caracterizada pela evaporação e dessecção da água do material, a qual contribui para a redução do crescimento e desenvolvimento de micro-organismos, além de diminuir as reações químicas e enzimáticas (Fellows, 2006). No decorrer do processo de secagem é fundamental um fornecimento de calor para que a umidade seja evaporada do material e também deve existir um sorvedor de umidade para que aconteça a remoção do vapor d'água que é formado a partir da superfície do material a ser seco (Park et al., 2007).

### 2.3. Secagem em leito de jorro com uso de inertes

O leito de jorro foi desenvolvido por Mathur e Gishler (1955). Esses pesquisadores desenvolveram esta técnica como um método para secagem de trigo e posteriormente seu uso foi ampliado para outros processos. Hoje, o leito de jorro ocupa lugar de destaque na secagem de pastas e suspensões utilizando partículas inertes, sendo bastante estudado nos últimos anos e tem sido apresentado como uma alternativa à secagem por *spray dryer* (Dotto et al., 2011; Medeiros et al., 2001; Araujo, 2014; Cordeiro e Oliveira, 2005). Esse método apresenta vantagens como altas taxas de transferência de calor e massa, obtenção de produtos com granulometria fina e uniforme, de boa qualidade e com baixo custo (Borges, 2011).

De acordo com Hufenussler e Kachan (1995), citados por Medeiros et al. (2001), um dos primeiros trabalhos relacionados com secagem de polpa de

frutas retratava sobre a desidratação de purê de banana, analisando a umidade e qualidade sensorial do pó obtido em relação ao obtido em secadores a vácuo e *spray dryer*. O sabor do purê reconstituído foi comparado com o original e os resultados foram satisfatórios, pois o processo atendeu aos padrões de conservação exigidos.

De uma forma resumida, o leito de jorro é composto basicamente de uma coluna cilíndrica vinculada a uma base cônica, onde um fluido é injetado no interior, usualmente o ar. Para melhor entendimento do fenômeno que ocorre, é preciso saber primeiramente que o leito é dividido em três principais regiões (Figura 2). A primeira é a região do jorro ou região central, na qual os sólidos têm movimento ascendente, concorrente com a entrada de ar, apresentando alta porosidade e as partículas interagem com o fluido como se estivessem isoladas e as forças que atuam nestas partículas são as de arraste, empuxo e gravitacional. A próxima é a região anular, onde a estrutura da partícula é parecida com a de um leito fixo, portanto ela passa a ter contato direto com as vizinhas. As partículas apresentam movimento descendente com percolação contracorrente ao ar. A última região é a fonte que é superior ao ânulo, onde as partículas sofrem desaceleração caindo no mesmo (Lescano 2009; Freire e Silveira, 2009).

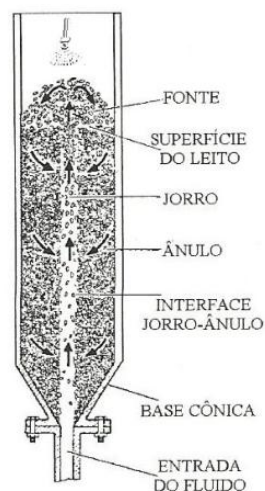


Figura 2. Diagrama esquemático de leito de jorro (Mathur e Epstein, 1974).

Quando o processo ocorre em baixas vazões, o gás passa somente pelas partículas sem movê-las. É necessária uma mínima velocidade de fluido, denominada velocidade de jorro mínimo, para obter um regime de jorro no leito (Strumillo e Kudra, 1986; Mathur e Epstein, 1974; Braga, 2014).

No secador de leito de jorro, a atomização ou gotejamento da pasta ou suspensão sobre o leito de partículas inertes promove o revestimento das mesmas com uma camada fina de material. Conforme o processo vai ocorrendo, a película se torna frágil e, devido aos efeitos da corrente de ar, ela vai se fragmentando. O material seco é arrastado para fora pela corrente de ar em forma de pó. Em seguida, ocorre o recolhimento do pó por um ciclone conectado ao secador. Pode ocorrer acumulação de material no leito, dependendo da característica do material a ser seco, e com isso as taxas de remoção das partículas são baixas (Medeiros et al., 2001). Este processo de secagem apresenta muitas semelhanças ao processo de recobrimento de partículas, a única mudança é o seu objetivo final, pois, neste último, deseja-se que o filme aderido na superfície da partícula não se solte no final do processo e promova o recobrimento da mesma.

### 2.3.1. Inerte

Com base nos estudos reportados na literatura, os inertes poliestirenos (PS), polipropileno, (PP), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD) e esferas de vidro são os mais usados na secagem de pastas e suspensões. Os mesmos podem ser caracterizados quanto a forma, tamanho, esfericidade, densidade bulk, densidade real, energia de superfície e porosidade do leito (Adeodato, 2003; Araújo, 2014; Braga, 2014; Rocha, et al., 2009; Vieira et al., 2004).

Além das condições operacionais de processo, a eficiência da secagem está relacionada diretamente à escolha adequada do inerte. O material inerte deve ser escolhido considerando a resistência térmica, e resistência ao atrito. Uma vez que isso influencia diretamente a fluidez do leito



de partículas. Elevados ângulos de repouso proporcionam menor fluidez e influenciam de forma negativa a fluidodinâmica do leito (Medeiros, 2001).

Conforme relatado por Honorato (2006), na secagem de pastas com partículas inertes ocorre um aumento na medida do ângulo de repouso no início da secagem, entretanto, após a secagem a medida do ângulo de repouso diminui novamente, com valor próximo ao inerte seco e limpo (antes da secagem). O que indica a recuperação das características fluidodinâmicas do leito após secagem.

Conseqüentemente, a escolha depende também do tipo de material a ser utilizado no processo de secagem (Strumillo e Kudra, 1986). Uma boa atomização é de grande importância para que o processo de recobrimento seja eficiente e adequado ao produto final desejado (Donida, 2004).

Medeiros et al. (2001) avaliaram a caracterização de poliestireno de alta e baixa densidade (PSAD e PSBD), PEAD, PEBD e o SANGEL (copolímero de estireno e acetonitrila), utilizados na secagem de polpa de frutas em leito de jorro. Concluiu-se que o polietileno de alta densidade, apresentou a melhor escoabilidade ou menor ângulo de repouso, enquanto o poliestireno apresentou os maiores ângulos. Este fato pode prejudicar o movimento das partículas no leito, o que acarreta em problemas de instabilidade e redução de partículas na fonte.

### 2.3.2. Temperatura

Trabalhos mostram que longos tempos de secagem e temperaturas elevadas promovem degradações substanciais na qualidade dos produtos secos, podendo ter a capacidade de interferir no sabor, na cor, nos nutrientes, acarretar encolhimento, assim como interferir na capacidade de reidratação (Lescano 2009). Mussi (2014) concluiu que a secagem em leito de jorro de resíduo de jambolão com temperatura do ar entre 60 e 80 °C reduziu a concentração de antocianinas em 60 a 70% em relação à concentração inicial no resíduo úmido.

Araújo (2014) avaliou a polpa de jambolão desidratada por secagem em leito de jorro e por liofilização. Na secagem em leito de jorro, foi utilizado PEAD como inerte, goma arábica (5%) como agente carreador, temperatura de entrada do ar de 70 °C, vazão de alimentação de 7 mL/min. O pó obtido nessas condições apresentou características de baixa higroscopicidade e elevada solubilidade, fatores importantes quando se trata de produto seco.

Chung (2016) teve como objetivo obter a polpa de guavira desidratada por atomização em spray drying, utilizando como agente carreador a maltodextrina e a goma arábica. O autor avaliou a influência da temperatura do ar de secagem (130, 155 e 180 °C). A utilização de maltodextrina, como agente carreador e temperatura do ar a 130 °C, produziram pós mais solúveis quando comparadas com a goma arábica. Pós obtidos em temperatura do ar de 155 °C e 10% do agente carreador apresentaram atividade antioxidante superiores comparados às demais condições de secagem estudadas.

Tonon (2009) avaliou a influência da temperatura do ar de secagem (138 a 202 °C) e da concentração de agente carreador (10 a 30%) sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó obtido por *spray drying*. O aumento da temperatura resultou em um aumento no tamanho das partículas, maiores higroscopicidades, menor retenção de antocianinas e uma diminuição do parâmetro de cor L\* e da coordenada cilíndrica H.

#### 2.4. Propriedades físicas dos pós

O estudo das propriedades físicas dos pós é de grande importância para conhecimento do comportamento do produto. São fatores de interesse para indústria de alimentos, uma vez que essas propriedades estão relacionadas com a caracterização física do material como molhabilidade, porosidade, densidade, forma e higroscopicidade. Essas propriedades vão influenciar no comportamento do pó durante o armazenamento, transporte, embalagens, estabilidade microbiológica e outras (Vizzoto e Fetter, 2009).

A molhabilidade de produtos em pó é o tempo necessário para uma amostra submergir em um meio líquido. Este parâmetro é influenciado pelas

características físicas do material, como tamanho, forma, dispersão e solubilização (Hogekamp e Schubert, 2003). Outra propriedade que deve ser levada em consideração para produtos em pó é sua higroscopicidade. Ela é uma das propriedades de importância para determinar a vida útil do produto. De acordo com Jaya e Das (2004), pós de frutas têm maior capacidade de absorver água devido à presença dos açúcares (sacarose, glicose e frutose). Segundo O' hagan et al. (2005) e citados por Tonon (2009), a distribuição do tamanho de partículas é um fator que avalia o comportamento físico-químico do pó no processamento e manipulação dos produtos. A densidade também é uma propriedade física que caracteriza a qualidade dos alimentos desidratados, já a solubilidade é mais relevante em produtos líquidos (Tonon, 2009).

Tonon (2009) estudou sobre a secagem por *spray drying* do suco de açaí. Avaliou os resultados de solubilidade e tempo de molhamento obtidos para as partículas produzidas com os diferentes agentes carreadores. As partículas produzidas com maltodextrina 10DE, maltodextrina 20DE e goma arábica apresentaram alta solubilidade, enquanto que o processo realizado com fécula de mandioca, resultou em partículas pouco solúveis. Em relação à molhabilidade das partículas, as amostras produzidas com goma arábica foram as que levaram mais tempo para submergir, enquanto que as produzidas com fécula de mandioca apresentaram um tempo de molhamento menor em relação às demais. Borges (2011) estudou sobre o bagaço desidratado da acerola, cajá-umbu, jambolão e pitanga obtidos em secador de leito de jorro. Ao avaliar a solubilidade dos pós o autor observou que o pó de cajá-umbu apresentou maior solubilidade do que os demais.

Dessa forma, conforme relatado na literatura é possível perceber que as propriedades do pó podem variar de acordo com o método utilizado, tipo de agente carreador, variedade e qualidade dos frutos. Por isso, é importante a avaliação dessas propriedades nos pós obtidos no processo de secagem, pois elas estão relacionadas com o comportamento do material.

## 2.5. Agentes carreadores

As polpas de frutas apresentam elevados teores de açúcares redutores, os quais possuem características coesivas em razão do baixo peso molecular. Assim, a secagem apresenta aderência do produto sobre as partículas inertes e nas paredes do equipamento e produz pós higroscópicos. Por isso, é necessária a adição de agentes carreadores nas polpas com objetivo de diminuir irregularidades durante o processamento como colapso no leito, adesão do produto nas partículas e paredes do equipamento, alta higroscopicidade e pegajosidade (Cano-Chauca et al., 2005; Gabas et al., 2007; Righetto, 2003; Medeiros et al., 2001; Shrestha et al., 2007; Truong et al., 2005). O problema da viscosidade de produtos que contêm açúcares ocorre, principalmente, em razão de suas baixas temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ). A viscosidade dos sólidos amorfos diminui até um valor crítico ( $10^7$  Pa), e, dessa forma, ficam pegajosos. Isso ocorre com o aumento da temperatura e/ou o conteúdo de umidade (Veja et al., 2005). Em geral, se utilizam carboidratos de alto peso molecular por apresentarem altas temperaturas de transição vítrea.

A adesão do produto e fluidodinâmica do processo também estão relacionadas com a tensão superficial, ângulo de contato e comportamento reológico. No decorrer da secagem, se a tensão superficial for pequena as partículas podem ser carreadas, mas quando se tem baixo ângulo de contato e uma grande tensão superficial pode ocorrer a adesividade do material nas paredes do equipamento, devido à formação de pontes líquidas, o que aumenta ainda mais as forças de adesão. Portanto, para que ocorra uma redução da área de contato é importante que a parede do material possua baixa tensão superficial, fazendo com que reduza a viscosidade. (Donida et al., 2005; Rocha et al., 2009; Bhandari e Howes, 2005).

A secagem da polpa sem a adição de agentes carreadores pode resultar em baixos rendimentos, afetando o processo e as características do produto final (Braga, 2014). De acordo com a literatura, os agentes carreadores

mais usados neste tipo de processo de secagem são os carboidratos como as maltodextrinas e a goma arábica e as proteínas como a caseína e o whey protein (Araújo, 2014; Bazaria e Kumar, 2016; Braga, 2014).

### 2.5.1. Proteínas

As proteínas são usadas como material de parede, pois apresentam baixa viscosidade e boa solubilidade, além de apresentar efeito protetor no processo de microencapsulação (Reineccius et al., 1995). Elas têm sido empregadas nas indústrias de alimentos em processos de secagem, em virtude de suas propriedades funcionais.

A polpa de jambolão apresenta uma elevada concentração de açúcares de baixo peso molecular, como a glicose, frutose e sacarose que são os açúcares mais comuns citados na literatura (Barcia, 2009; Lago et al., 2006). O uso de proteínas como agente carreador é uma alternativa a fim de melhorar o rendimento do processo, com a obtenção de um produto em pó de boa qualidade e com alto valor nutricional (Braga, 2014; Mine, 1995).

Fang e Bhandari (2012) relatam que são necessárias grandes quantidades de carboidrato de alto peso molecular para converter suco de fruta rico em açúcares em produto em pó. Isso pode aumentar o custo e alterar as características do produto. Estudos demonstram que adicionando pequenas quantidades de proteínas como agente carreador no processo de microencapsulação é possível modificar as propriedades do material, fazendo com que melhore o desempenho e rendimento da secagem (Bazaria e Kumar, 2016; Fang e Bhandari, 2012; Adhikari et al., 2009). A tabela 1 apresenta um resumo dos trabalhos que abordam a adição da proteína como agente carreador, evidenciando os resultados sobre rendimento do processo de secagem.

Quando as proteínas são submetidas a altas temperaturas, na secagem, ocorre a migração preferencial para interface ar/água, o que demonstra uma boa capacidade de formação de um filme liso e sem pegajosidade. Isso justifica o motivo pelo qual as proteínas podem ser

utilizadas como agente carreador, pois podem ser auxiliares bem eficientes para o processo de secagem (Fang e Bhandari, 2012, Adhikari et al., 2007).

De acordo com Stadelman e Coterill (1986), citados por Christ (2006), as proteínas do ovo possuem muitas propriedades funcionais, apresentando características de alto valor biológico. A clara de ovo é um material composto por aproximadamente 9,7-10,6% de proteínas, 0,5-0,6% de carboidratos e 0,01% de gorduras (Mine, 1995). Nela são encontradas vários tipos de proteínas como ovomucoide, ovomucina, ovidina, ovoglobulina, flavoproteína, ovalbumina, conalbumina, lisozima e ovinibidor, além de vitaminas e sais minerais (Mine, 1995).

Christ (2006) avaliou o processo de secagem da clara de ovo usando um secador de leite de jorro fluidizado bidimensional utilizando esferas de vidro como inertes. As condições de secagem com temperaturas entre 65 °C e 75 °C e baixas vazões de pasta apresentaram retenção de matéria seca nas esferas inertes, refletindo em menores índices de recuperação de matéria seca pelo ciclone. Por outro lado, a temperatura do ar apresentou efeito negativo sobre o grau de desnaturação da conalbumina e da ovalbumina, apresentando maior intensidade na conalbumina.

Braga (2014) avaliou a influência da adição dos agentes carreadores (maltodextrina DE 10, caseína e óleo de palma) na mistura leite-polpa de amora e da maltodextrina na polpa de amora (*in natura*). O autor concluiu que a adição, em conjunto ou separada, dos agentes carreadores óleo de palma e a caseína resultou, de forma geral, no decréscimo da eficiência de produção de pó. Quando avaliada separadamente, a caseína demonstrou um menor decréscimo na produção de pó (17,92%), enquanto que a adição separada de óleo de palma resultou em um maior decréscimo, queda de aproximadamente 62,22% na eficiência de produção de pó.

Tabela 1- Trabalhos que mostram o papel de proteínas como agente carreador.

Autor/ Ano	Material analisado	Processo de secagem	Agente carreador	Principais resultados
Fang e Bhandari (2012)	Suco de <i>Myrica rubra</i> Sieb. et Zucc.	Secagem por pulverização	- Maltodextrina DE 10 - Isolado de proteína de soro	Apenas (1%) de proteína foi eficiente para (recuperação de pó > 50%). Já a maltodextrina com (> 30%) era necessária para o mesmo propósito.
Bazaria e Kumar (2016)	Suco de beterraba	Secagem por pulverização	Concentrado de proteína de soro de leite	Ao adicionar 15% de proteína, constatou-se recuperação de 75,45%.
Wang, et al. (2013)	Molho de soja	Secagem por pulverização	- Isolamento de proteína de sorohidrolisado- Maltodextrina DE 5	A adição de apenas 5% de isolado de proteína de soro apresentou um aumento no rendimento do produto no processo.

### 2.5.2. Maltodextrina

As maltodextrinas são produtos de degradação enzimática a partir das ligações glicosídicas do amido, sua caracterização consiste no valor de dextrose equivalente (DE) inferior a 20. Elas apresentam uma mistura homogênea de sacarídeos em uma ampla distribuição do peso molecular entre polissacarídeos e oligossacarídeos (Sadeghi et al., 2008; Yusraini, et al., 2013).

A dextrose equivalente é o fator principal que caracteriza as propriedades reológicas e funcionais de maltodextrinas. Entretanto, maltodextrinas obtidas de diferentes fontes de amido que apresentam mesmo

valor DE podem demonstrar diferentes propriedades físico-químicas. Em razão das diferenças de estrutura botânica do amido e proporção entre amilose para amilopectina. (Dokic, Jakovljevic e Dokic, 2004; Pycia et al., 2016; Wang e Wang, 2000).

As maltodextrinas são agentes carreadores de alto peso molecular e alta temperatura de transição vítrea, as mesmas estão sendo bem utilizadas na produção de alimentos desidratados, devido à redução de viscosidade e à melhora na firmeza dos produtos. Essas características são resultantes da sua capacidade de absorção de água, criação de barreiras protetoras sobre a superfície das partículas e a capacidade para aumentar a temperatura de transição vítrea (Valenzuela e Aguilera, 2015).

Tonon (2009) avaliou a influência das condições operacionais da secagem por spray dryer (temperatura do ar de secagem, 138 a 202 °C; vazão mássica de alimentação, 5 a 25 g/min; concentração de agente carreador maltodextrina 10DE, 10 a 30%), sobre as características físico-químicas do suco de açaí em pó (umidade, higroscopicidade e retenção de antocianinas) e rendimento do processo. Nas condições operacionais otimizadas (temperatura do ar de secagem= 140 °C, vazão mássica de alimentação= 15 g/min e 6% de agente carreador), quatro diferentes tipos de agentes carreadores foram testados: maltodextrina 10DE, maltodextrina 20DE, goma arábica e fécula de mandioca. Os pós produzidos com maltodextrina 20DE e com goma arábica apresentaram maiores valores de umidade e atividade de água, e menor tamanho de partículas, na medida em que os pós produzidos com fécula de mandioca apresentaram menor solubilidade e porosidade e maior densidade aparente e molhabilidade, maior diâmetro médio e maior perda de compostos polifenólicos e antocianinas durante o processo de secagem.

### 2.5.3. Dióxido de silício coloidal

O dióxido de silício coloidal (Aerosil®), também conhecido como sílica fumada, é um material aplicado como agente carreador em secagem por spray-drying de extratos vegetais e frequentemente utilizado na indústria



farmacêutica. O mesmo possui características de um pó fino, branco, hidrofílico e com baixa densidade (Shiota, 2014; Jonat, et al., 2004; Banelli et al. 2013).

Vasconcelos et al. (2005) avaliaram a influência da temperatura de entrada e a concentração de Aerosil® 200 nas características de extratos secos por *spray dryer* da *Schinus terebinthifolius* Raddi. Os autores perceberam que utilizando 30% do agente carreador Aerosil® 200 obtiveram um pó solto, com rendimento acima de 80% e melhor estabilidade dos extratos secos.

Banelli et al. (2013) avaliaram a secagem de planta aromática *Lippia sidoides* por *spray drying* e concluíram que com o aumento de SiO<sub>2</sub> na mistura, maior foi a recuperação do pó e, conseqüentemente, baixa acumulação de produto no equipamento.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o processo de secagem da polpa de jambolão em secador de leito de jorro com partículas inertes usando a combinação de maltodextrina e clara de ovo como agentes carreadores.

#### 3.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a composição centesimal, cor e teor de antocianinas na polpa pura e na polpa filtrada dos frutos de jambolão coletados em três localidades na região de Campos dos Goytacazes, RJ;
- Avaliar a influência da adição de  $\text{SiO}_2$  no rendimento da secagem de polpa de jambolão em leito de jorro com inertes usando maltodextrina DE10 como agente carreador;
- Avaliar a influência da substituição parcial da maltodextrina por clara de ovo em diferentes proporções na eficiência da secagem da polpa do jambolão em leito de jorro com partículas inertes;

- Avaliar a influência da substituição parcial da maltodextrina por clara de ovo em diferentes proporções na umidade, atividade de água, distribuição do tamanho de partículas, densidade bulk solta e empacotada, molhabilidade, solubilidade, higroscopicidade e teor de antocianinas e da polpa de jambolão em pó produzida pela secagem em leito de jorro com inertes;
- Avaliar a estabilidade da cor do pó de jambolão produzido em leito de jorro com diferentes proporções de maltodextrina DE 10 e clara de ovo após 40 dias de armazenamento à temperatura ambiente.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Polpa de jambolão

Foram realizadas coletas dos frutos de jambolão maduros, no período da safra que ocorre entre janeiro a maio. A coleta foi realizada em três regiões diferentes da cidade de Campos dos Goytacazes, região (A) Lagoa de cima ( $21^{\circ}44'33''\text{S } 41^{\circ}30'08''\text{W}$ ), (B) Alto da areia ( $21^{\circ}54'47''\text{S } 41^{\circ}12'27''\text{W}$ ) e (C) Pau Grande ( $22^{\circ}05'32''\text{S } 41^{\circ}12'20''\text{W}$ ). Os frutos coletados foram levados para o Setor de Operações Unitárias do Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, Campos dos Goytacazes – RJ, para passar pelo processo de higienização e sanitização em solução de solução de hipoclorito de sódio a 100 mg/L durante 10 minutos. Posteriormente, os frutos foram despulpados em uma despulpadeira comercial de aço inox (DES-10, Braesi, Brasil) de acordo com Mussi (2014) e armazenados sob congelamento em porções de 500 g até o momento das análises e processos. A polpa obtida passou pelo processo de filtração, com auxílio de um tecido sintético (filó), para redução dos sólidos em suspensão. A polpa filtrada foi utilizada nos experimentos de secagem.

#### 4.2. Agentes carreadores

Foram usados como agentes carreadores de secagem a maltodextrina Mor-Rex 1910 de 10DE fornecida pela empresa Ingredion Brasil ingredientes Ltda. A clara de ovo foi cedida pela empresa Doces Tradição, uma produtora de chvisco (doce típico da região de Campos dos Goytacazes, RJ). A clara passou por um processo de pasteurização a 58°C por 2 min e posteriormente foi acidificada, ajustando pH para 3,5. O terceiro agente carreador utilizado foi o dióxido de silício coloidal (Aerosil®200) da empresa Pericilglass.

#### 4.3. Caracterização físico-química da pasta e pó

As amostras de polpa pura e filtrada de jambolão *in natura* foram caracterizadas pelas análises de composição centesimal, teor de açúcares, atividade de água ( $A_w$ ), pH, cor instrumental, teor de antocianinas monoméricas totais e atividade antioxidante. O produto seco em pó foi caracterizado pelas mesmas análises, além da distribuição de tamanho de partículas, densidade bulk solta e empacotada, solubilidade, molhabilidade e higroscopicidade.

A análise de umidade foi realizada pelo método gravimétrico em estufa a 105 °C até equilíbrio das amostras e posteriormente em estufa a vácuo a 70 °C por 6 horas conforme método 934.06 da AOAC (1998). As cinzas foram determinadas pela incineração da amostra em mufla a 550 °C. O teor de sólidos solúveis totais foi realizado por refratometria pelo método 932.12 da AOAC (1998). O teor de proteína foi obtido pelo método Kjeldahl 991.20 da AOAC (1998) e os lipídios pelo método de Bligh & Dyer, que é uma técnica de extração a frio (AOAC, 1998).

A determinação da acidez total titulável foi realizada de acordo com a metodologia 33.2.06 (AOAC, 1998). A determinação do pH foi realizada nas amostras despulpadas e homogeneizadas por leitura direta em pHmetro digital

(AOAC, 1998). A determinação da atividade de água foi realizada a 25 °C por meio do instrumento Aqualab (CX-2T, Decagon, USA).

#### 4.4. Cor instrumental

Para a determinação da cor, as amostras foram dispostas em placa de petri (4 cm) e com auxílio do espectrofotômetro portátil (CR-10, Minolta Colour Reader, USA) foram realizadas leituras a cada 90° perpendicular até atingir 360° de rotação. Sendo realizadas no total 12 repetições para cada amostra.

Os resultados foram obtidos pela leitura das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  definido pela CIE 1976. O parâmetro  $L^*$  indica a luminosidade, sendo o  $L^*$  igual a zero correspondente ao preto e  $L^*$  igual a 100 correspondente ao branco, o parâmetro  $a^*$  representa o índice de saturação vermelho (vermelho a verde) e o parâmetro  $b^*$  indica o índice de saturação amarelo (amarelo a azul). Foram avaliadas as coordenadas cilíndricas  $C^*$  que definem o croma e  $h^*$ , o ângulo de tonalidade (equação 1 e 2, respectivamente) (Minolta, 1998).

$$C^* = a^{*2} + b^{*2} \quad \text{Equação 1}$$

$$h^0 = \arctan\left(\frac{a^*}{b^*}\right) \quad \text{Equação 2}$$

#### 4.5. Açúcares

Os açúcares foram separados, identificados e quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) de acordo com (Sturm et al., 2003), com algumas modificações. Para polpa e o pó, foram elaborados extratos utilizando água mili-Q na proporção de 1:10. A extração foi realizada sob agitação por 2 minutos em agitador magnético, seguida de ação de ultrassom por 10 minutos, em banho ultrassônico, e centrifugação a 3000 rpm

durante 10 min. O extrato foi filtrado em filtro 0,22  $\mu\text{m}$  e posteriormente foi injetado no cromatógrafo líquido (YL9100, System, YL Instrument Co., Korea) contendo coluna Rezex RCM – Monosaccharide  $\text{Ca}^{+2}$  (8%) (Phenomenex). A fase móvel utilizada foi água Milli-Q com um fluxo de 0,6 mL/min. A temperatura da coluna foi mantida a 40 °C. A realização da curva de calibração foi feita no intervalo de linearidade dos padrões de sacarose, glicose e frutose (Puríssima) analisados entre 1 a 4 g/L obtendo um coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 0,999.

#### 4.6. Obtenção dos extratos

Para avaliação do teor de antocianinas foram preparados extratos metanólicos avaliando a polpa e os pós obtidos no processo de secagem. A extração foi realizada com metanol (Sinética, Brasil) na concentração de 100 mg/mL para as amostras em pó e 200 mg/mL para as amostras líquidas (polpa) da seguinte maneira: 5 min de agitação, 30 min de ultrassom, 10 min de centrifugação, 24 horas a 4 °C, seguido de 10 min de centrifugação. Após a extração, o sobrenadante foi coletado e utilizado para análise, sem armazenamento prévio.

#### 4.7. Antocianinas monoméricas

A determinação do conteúdo de antocianina foi realizada pelo método do pH diferencial de acordo com Lee et al. (2005). Foram preparadas as soluções tampão pH 1,0 e pH 4,5, que foram adicionadas ao extrato e, posteriormente, a absorbância das soluções nos dois pHs foi determinada pela leitura em espectrofotômetro UV- Visível (105 UV- VIS, Thermo Scientific, Genesys, China) nos comprimentos de onda de 520 e 700 nm.

$$\text{Teor de antocianina } \left( \frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{A \times PM \times F \times 10^3}{\varepsilon \times l} \times \frac{10^2}{C_{ex}} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo que:

A = (Absorbância 520 nm - Absorbância 700nm) pH 1,0 - (Absorbância 520 nm - Absorbância 700 nm) pH 4,5;

PM (peso molecular) = 449,2 g/mol para cianidina-3-glucósido (cyd-3-Glu);

F = fator de diluição;

$\varepsilon$  = Coeficiente de extinção molar para cyd-3-Glu (26.900 L/mol cm);

$C_{ex}$  = concentração do extrato (g/L).

#### 4.8. Solubilidade

A solubilidade da amostra seca foi determinada seguindo o método descrito por Eastman e Moore (1984), modificado por Cano-Chauca et al. (2005). Amostra em pó e água destilada (0,3g: 30 mL) foram misturadas a 2500 rpm por 5 minutos e centrifugadas a 3000 rpm por 5 minutos. Uma alíquota do sobrenadante (25 mL) foi transferida para placa de petri, previamente pesada, logo após passou pelo processo de evaporação em placa de aquecimento e seca em estufa a 105 °C por 5 h. A solubilidade em água foi calculada pela relação entre a diferença de peso das placas antes e após a secagem em estufa e massa de amostra em pó seca.

#### 4.9. Molhabilidade

A molhabilidade das amostras em pó foi determinada como o tempo necessário para uma amostra em pó ficar totalmente molhada por um líquido. A amostra foi adicionada em um dispositivo (Hogekamp e Schubert, 2003),



composto de um cilindro de acrílico, o qual foi preenchido com água destilada, e um compartimento para a amostra de pó, cuja base apresenta uma lâmina munida de um sistema de acionamento por meio elástico. Depois do preenchimento deste compartimento com 3 g de amostra, o sistema elástico foi acionado e a lâmina, deslocada. O tempo de molhamento, medido com cronômetro, foi considerado até não se observar a presença de material em pó na superfície do líquido.



Figura 3. Dispositivo em acrílico utilizado para a determinação da molhabilidade dos pós.

#### 4.10. Distribuição de tamanho das partículas

A distribuição do tamanho das partículas dos pós foi analisada em analisador de tamanho de partículas por difração a laser (SALD-3101, Shimadzu, USA) disponível no Laboratório de Ciências Ambientais (CBB) da UENF. Foi utilizado álcool 95% como meio líquido com o objetivo de evitar a solubilização do pó.

#### 4.11. Densidade bulk solta e empacotada

A densidade bulk foi medida com auxílio de uma proveta graduada. A densidade bulk solta ( $\rho_{bs}$ ) foi determinada pela massa de partículas, dispostas em arranjo normal, que ocuparam um volume conhecido. Enquanto a densidade bulk empacotada ( $\rho_{be}$ ) foi determinada após compactação, batendo-se a proveta 50 vezes sobre bancada. Ou seja, a densidade bulk empacotada desconsidera todos os espaços vazios entre o material. O índice de Carr foi calculado considerando os valores de densidade bulk solta e empacotada (Godoi, 2009).

$$IC = 100 \times \left(1 - \frac{\rho_{bs}}{\rho_{be}}\right) \quad \text{Equação 4}$$

#### 4.12. Higroscopicidade

A higroscopicidade das amostras em pó foi determinada de acordo com Cai e Corke (2000), com algumas modificações feitas por Tonon (2009). Foi pesado cerca de 1g de cada amostra e a mesma foi acondicionada em dessecador contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,64%) a 25°C (Figura 4). Depois de uma semana, as amostras foram levadas para estufa a 105°C, até atingir peso constante para determinação de massa seca. Posteriormente as amostras foram pesadas e a higroscopicidade foi expressa como g de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/ 100g).

$$\text{Higroscopicidade (g/100g)} = \left( \frac{M_s}{M_a \times (1-X)} \right) \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Sendo que:

$M_s$ = Massa (g) seca após estufa;

Ma= Massa (g) de amostra inicial;

X= Umidade do pó (g/g).



Figura 4. Foto do pó seco armazenado em dessecador durante a análise de higroscopicidade a 25°C.

#### 4.13. Processo de secagem em leito de jorro com uso de inertes

Foi utilizado o secador de leito de jorro cônico-cilíndrico com o uso de material inerte para a realização do processo de secagem para obtenção do produto em pó (Figura 5).

A base cônica do leito tem ângulo incluso de 60°, altura de 85 mm e diâmetro de entrada de 50 mm. A coluna cilíndrica tem 136 mm de diâmetro e altura de 545 mm. Foram colocados dois termopares na coluna cilíndrica, sendo o primeiro na altura de 5,5 cm a partir do flange da coluna cilíndrica e o segundo que é mais próximo do bico atomizador a uma distância de 20,5 cm do flange. O ar responsável pelo jorro do material inerte e pela secagem foi alimentado por um compressor radial de 5 CV (CV 501, Ventbras, Brasil) com aquecimento do ar promovido por um conjunto de resistências elétricas e sistema de controle. A vazão do ar foi controlada por uma válvula globo. O

produto final (pó) foi coletado em um ciclone tipo Lapple. A pasta, contendo polpa de jambolão e agentes carreadores, foi atomizada na região superior do leito usando uma pistola atomizadora com 0,7 mm de diâmetro de saída (1/4JAU-SS, Spraying Systems), de duplo fluido, alimentado por ar comprimido e pela pasta, usando bomba peristáltica (Cole-Parmer, Masterflex 7553 – 70 e 7016-20, EUA).

A velocidade do ar foi medida por um termoanemômetro digital portátil (IP-720, IMPAC, China) na entrada do tubo do compressor. Os parâmetros fluidodinâmicos analisados foram queda de pressão do leito e altura da fonte. O inerte utilizado neste trabalho foi o polietileno de baixa densidade (PEBD). O mesmo foi caracterizado quanto à densidade aparente, densidade bulk, esfericidade e diâmetro médio de Sauter (Tabela 2).

Tabela 2- Caracterização do inerte.

<b>Características físicas</b>	
<b>Material</b>	<b>PEBD</b>
Forma	irregular (pellet)
$d$ Sauter (mm)	$2,62 \pm 0,01$
$\rho$ aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$0,87 \pm 0,02$
$\rho_{bs}$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$0,57 \pm 0,01$
$(\rho_{be})$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	$0,520 \pm 0,003$
Esfericidade $\Phi$	$0,74 \pm 0,25$

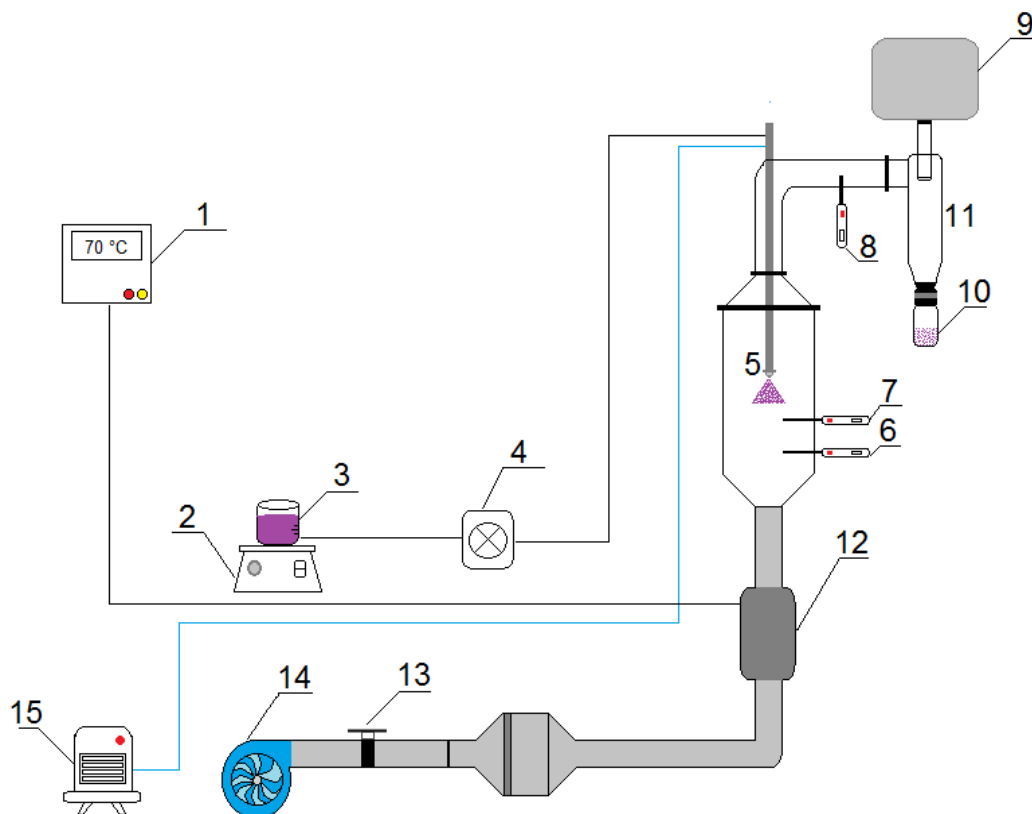


Figura 5. Esquema experimental do leito de jorro com sistema de atomização. (1) painel de controle; (2) agitador magnético; (3) pasta para atomização; (4) bomba peristáltica; (5) peça de atomização; (6,7,8) Termopares; (9) elutriado (saco); (10) coletor de pó; (11) ciclone; (12) resistência; (13) válvula globo; (14) compressor radial; (15) compressor (linha de ar comprimido).

Foram feitos dois conjuntos de experimentos de secagem da polpa de jambolão. O primeiro foi realizado com o objetivo de avaliar a influência da adição de agente carreador dióxido de silício coloidal ( $\text{SiO}_2$ ) (Aerosil®200) no rendimento do processo da secagem de pasta contendo polpa de jambolão e maltodextrina DE10. O segundo foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da mistura dos agentes carreadores, maltodextrina DE10 e clara acidificada, na eficiência da secagem e na qualidade do pó. A formulação das pastas está descrita no item 4.3.3.

#### 4.14. Condições operacionais

Os ensaios de secagem foram realizados com vazão do ar (Q) fixa com pequenas variações para manutenção da dinâmica estável do sistema. A secagem de 300 mL de pasta foi realizada em batelada em regime intermitente. Foi definido o tempo de intermitência de 3,5 minutos, sendo 30 segundos com alimentação da pasta no sistema e 3 minutos sem alimentação. Foi avaliada em testes preliminares a altura do bico atomizador, medida realizada entre o flange superior da parte cônica até a peça de atomização. A altura do bico atomizador de 20 cm apresentou aglomeração das partículas inertes e consequente colapso do leito. Com o deslocamento da peça de atomização para altura de 30 cm foi possível observar que houve aumento de material aderido nas paredes do secador e no bico atomizador. Portanto, definiu-se utilizar altura de 25 cm, visando minimizar o colapso do leito e aderência de produto no tubo do bico atomizador. A Tabela 3 apresenta as condições fixas operacionais.

Tabela 3 - condições operacionais de secagem de polpa de jambolão em leito de jorro com inertes.

<b>Condições operacionais</b>	
Temperatura de entrada (°C)	70
Temperatura de saída (°C)	60
$Q/Q_{jm}$ (m <sup>3</sup> /min)	2,95
Vazão de Alimentação (g/min)	11
Pressão de atomização (bar)	0,6
Massa de inertes PEBD (g)	550
Altura de inertes PEBD (mm)	30
Altura do bico atomizador (mm)	250

#### 4.15. Formulações das pastas

No primeiro planejamento, as pastas foram formuladas contendo 80% em massa da polpa filtrada de jambolão e 20% de agentes carreadores (maltodextrina e dióxido de silício coloidal). A composição do agente carreador foi formulada variando 0%, 0,5% e 0,8% de SiO<sub>2</sub>, completados com maltodextrina até atingir 20% da massa da pasta.

No segundo planejamento, as pastas foram formuladas fixando 80% da massa da polpa filtrada de jambolão e 20 % de agente carreador, distribuídos em 0,5% de SiO<sub>2</sub> e 19,5% da mistura contendo maltodextrina e clara de ovo. Três proporções da mistura maltodextrina e clara de ovo foram avaliadas, conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4- Proporção entre clara e maltodextrina adicionadas para completar 19,5% da massa de pasta.

Nomenclatura	Proporção (%)	
	Maltodextrina DE 10	Clara de ovo
75M 25C	75	25
50M 50C	50	50
25M 75C	25	75

Na pasta elaborada, foi adicionado a polpa filtrada de jambolão e o agente carreador à temperatura ambiente. A pasta foi homogeneizada em agitador magnético por 20 min.

#### 4.16. Rendimento do processo

O desempenho da secagem em leito de jorro foi avaliado relacionando a massa inicial da pasta com a acumulação de produto no equipamento, inertes e perda por elutriação após o processo de secagem. A porcentagem de rendimento foi calculada individualmente conforme a Equação 6.

$$\text{Rendimento}(\%) = \left( \frac{(1-X_{pó}) \times M_{pó}}{(1-X_{pa}) \times M_{al}} \right) \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

Sendo que:

X<sub>pó</sub>: Umidade do pó (g/g);

M<sub>pó</sub>: Massa do pó (g);

X<sub>pa</sub>: Umidade da pasta (g/g);

M<sub>al</sub>: Massa de alimentação.

#### 4.17. Avaliação da estabilidade dos pós à temperatura ambiente

Amostras obtidas no segundo planejamento, com diferentes concentrações de agentes carreadores maltodextrina DE10 e clara acidificada, foram armazenadas em embalagens herméticas de plástico metalizado, compostas por camada externa de poliéster e interna de polietileno (linha Tradpouch, Tradbor). As amostras embaladas foram armazenadas dentro de um dessecador à temperatura ambiente durante 40 dias. Foram realizadas análises de densidade *bulk* solta ( $\rho_{bs}$ ), densidade empacotada ( $\rho_{be}$ ) e cor, nos tempos 0 e 40 dias de armazenamento.



#### 4.18. Análise Estatística

Os dados obtidos neste trabalho foram analisados estatisticamente pelo teste de comparação de médias, usando análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey em nível de 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ). Para a realização das análises, as amostras de cada experimento foram analisadas em triplicata.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização físico-química da polpa de jambolão e da clara in natura e acidificada

A Tabela 5 mostra a caracterização físico-química da polpa e da polpa filtrada de jambolão coletadas em diferentes regiões. Os resultados obtidos mostram que a polpa de jambolão é uma fruta com bastante umidade, apresenta um pH ácido e possui baixo teor de cinzas, lipídios e proteínas. Os resultados estão próximos aos encontrados por Vizzoto e Fetter (2009) com 88% de água, 0,34% de cinzas, 0,30% de lipídios, 0,67% proteínas, pH de 3,9. Os valores de pH são semelhantes ao encontrado por Bezerra (2015) de 3,63 e Mussi (2014) de 3,68. Porém, alguns resultados relatados neste estudo foram superiores aos resultados de Vizzoto e Fetter (2009) como o de sólidos solúveis 9,0 ° Brix e acidez total (%) 5,91 e inferiores aos valores encontrados por Mussi (2014) com acidez total (%) 9,3 e 11,1 ° Brix de sólidos solúveis. Isso pode ser devido à região onde foi realizada a coleta dos frutos e condições de cultivo.

A polpa filtrada não apresentou diferença significativa entre as análises de atividade de água, pH, cinzas e lipídios. Enquanto que, as análises de umidade, sólidos solúveis totais, acidez, proteína e os açúcares sacarose,

glicose e frutose apresentaram diferença significativa quando relacionados à polpa *in natura*. Essa diferença pode estar relacionada com o processo de filtração manual, o qual removeu o resíduo das cascas.

Os valores encontrados para polpa neste estudo não apresentaram diferença significativa entre as regiões para os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e croma  $C^*$ . Apenas o ângulo Hue apresentou diferença entre a região A e C. A luminosidade para polpa de jambolão foi próxima à encontrada por Araújo (2014) (11,71) e Bezerra (2015) (11,68), fato este que está relacionado com uma cor mais escura, ou seja, valor mais próximo de zero.

O parâmetro  $a^*$  varia de verde para vermelho, sendo que a polpa de jambolão apresenta valores de  $a^*$  e  $b^*$  que indicam coloração com maior intensidade para a cor vermelha ( $a^*$ ) e para a cor azul ( $b^*$ ). Estes resultados estão próximos ao encontrado por Araújo (2014). O croma  $C^*$  indica a intensidade da cor e os valores encontrados neste trabalho não apresentaram diferença significativa apresentando valores de 28,6 a 33,35, demonstrando estar em uma região mais limpa e menos saturada. Bezerra (2015) obteve resultados semelhantes ao encontrado neste trabalho (26,8). Outro trabalho com resultados próximos foi de Araújo (2014) (22,7). O parâmetro  $h^\circ$  quando apresenta valores de  $0^\circ$  ou  $360^\circ$  indica tonalidade da cor vermelha. Os dados encontrados no presente trabalho para a polpa de jambolão são  $340^\circ$  a  $341^\circ$ , valor próximo aos dados da literatura. Faria et al. (2011) avaliando a análise colorimétrica do fruto jambolão encontraram o mesmo resultado obtido neste estudo  $340^\circ$ , o que é esperado para polpa de jambolão, indicando a cor arroxeada.

Os açúcares sacarose, glicose e frutose foram identificados e quantificados na polpa de jambolão pura e filtrada das diferentes regiões. É possível observar que a sacarose foi quantificada em menor quantidade quando relacionada a glicose e frutose. Sturm et al. (2003) em seu estudo sobre a composição de diferentes variedades de morango observaram que o teor de sacarose diminui com a maturidade do fruto e a glicose e a frutose aumentam quando o morango está totalmente maduro.

Nota-se algumas mudanças de composição entre a polpa pura e polpa filtrada, isso é devido ao processo de filtração que é feito para utilização da polpa na secagem por atomização.

De acordo com a Tabela 6, observa-se que a polpa pura não apresenta diferença significativa nos valores de antocianinas quando comparado às três regiões (A) Lagoa de cima, (B) Alto da areia e (C) Pau Grande, onde foram coletados os frutos. Já a polpa filtrada proveniente da região da Lagoa de cima diferiu das demais regiões apresentando maior teor de antocianina (276 mg/100g). Após a filtração a polpa apresentou menor teor de antocianinas, diferindo-se estatisticamente ( $p \leq 0,05$ ) da polpa pura.

O teor de antocianinas encontrado no presente estudo está superior ao encontrado por (Veigas et al., 2007) 230 mg/ 100g (base seca) utilizando extrato metanol acidificado (1%) e inferior a Araújo (2014) 720,9 mg/100g em base seca utilizando extrato aquoso. Essas variações podem ser decorrentes do método de extração e as características da região como cultivo/crescimento, clima e solo da região de coletas dos frutos, o que pode interferir diretamente na composição do próprio fruto e na quantificação dos compostos. Outro fator que pode influenciar são as diferentes adaptações feitas na metodologia.

Tabela 5 - Caracterização físico-química da polpa pura e da polpa filtrada de jambolão em diferentes coletas.

Análises	Região A		Região B		Região C	
	Polpa	Polpa filtrada	Polpa	Polpa filtrada	Polpa	Polpa filtrada
<b>Umidade (%)</b>	84,0 ± 0,2 <sup>aA</sup>	86,0 ± 0,2 <sup>bA</sup>	82 ± 2 <sup>aA</sup>	90 ± 0,1 <sup>bB</sup>	88,0 ± 0,3 <sup>bA</sup>	90,5 ± 0,1 <sup>bB</sup>
<b>Aw</b>	0,986 ± 0,001 <sup>aA</sup>	0,983 ± 0,0005 <sup>bA</sup>	0,9878 ± 0,0009 <sup>aA</sup>	0,9876 ± 0,0008 <sup>aB</sup>	0,985 ± 0,002 <sup>aA</sup>	0,9867 ± 0,0003 <sup>aB</sup>
<b>pH</b>	3,7 ± 0,06 <sup>aA</sup>	3,6 ± 0,02 <sup>aA</sup>	3,34 ± 0,05 <sup>aB</sup>	3,46 ± 0,2 <sup>aA</sup>	3,18 ± 0,04 <sup>aC</sup>	3,46 ± 0,07 <sup>bA</sup>
<b>SST (° Brix)</b>	15,2 ± 0,6 <sup>aA</sup>	15,6 ± 0,06 <sup>aA</sup>	13,5 ± 1,4 <sup>aAB</sup>	11,2 ± 0,06 <sup>bB</sup>	12,4 ± 0,5 <sup>aB</sup>	10,3 ± 0,3 <sup>aC</sup>
<b>Acidez Total (%)</b>	8,7 ± 0,3 <sup>aA</sup>	7,5 ± 0,2 <sup>bA</sup>	9,6 ± 0,2 <sup>aB</sup>	7,9 ± 0,1 <sup>bA</sup>	10,4 ± 0,1 <sup>aC</sup>	8,0 ± 0,4 <sup>bC</sup>
<b>Cinzas (%)</b>	0,19 ± 0,03 <sup>aA</sup>	0,16 ± 0,04 <sup>aA</sup>	0,23 ± 0,09 <sup>aA</sup>	0,111 ± 0,007 <sup>aA</sup>	0,18 ± 0,02 <sup>aA</sup>	0,13 ± 0,04 <sup>aA</sup>
<b>Lipídios (%)</b>	0,5 ± 0,5 <sup>aA</sup>	0,11 ± 0,05 <sup>aA</sup>	0,3 ± 0,1 <sup>aA</sup>	0,10 ± 0,1 <sup>aA</sup>	0,2 ± 0,1 <sup>aA</sup>	0,13 ± 0,01 <sup>aA</sup>
<b>Sacarose (mg/g)</b>	29 ± 1 <sup>aA</sup>	24,3 ± 0,4 <sup>aB</sup>	34 ± 3 <sup>aA</sup>	28 ± 1 <sup>bB</sup>	33 ± 1 <sup>aA</sup>	24 ± 1 <sup>aB</sup>
<b>Glicose (mg/g)</b>	335 ± 13 <sup>aA</sup>	330 ± 2 <sup>aA</sup>	316 ± 17 <sup>aA</sup>	264 ± 15 <sup>bB</sup>	318 ± 18 <sup>aA</sup>	239 ± 9 <sup>bB</sup>
<b>Frutose (mg/g)</b>	369 ± 24 <sup>aA</sup>	348 ± 2 <sup>aA</sup>	336 ± 19 <sup>aA</sup>	282 ± 17 <sup>bB</sup>	336 ± 18 <sup>aA</sup>	253 ± 9 <sup>bB</sup>
<b>Proteínas (%)</b>	0,7 ± 0,1 <sup>aA</sup>	0,36 ± 0,03 <sup>aB</sup>	0,8 ± 0,1 <sup>aA</sup>	0,28 ± 0,05 <sup>aB</sup>	0,57 ± 0,05 <sup>aA</sup>	0,34 ± 0,04 <sup>aB</sup>
<b>Cor</b>						
<b>Parâmetro L*</b>	15,0 ± 0,3 <sup>aA</sup>	7,62 ± 0,25 <sup>aB</sup>	18,56 ± 0,03 <sup>aA</sup>	9,6 ± 0,3 <sup>bB</sup>	15,7 ± 0,2 <sup>aA</sup>	12,86 ± 1,01 <sup>cB</sup>
<b>Parâmetro a*</b>	26,9 ± 0,2 <sup>aA</sup>	6,17 ± 0,16 <sup>aB</sup>	31,55 ± 0,07 <sup>aA</sup>	15,2 ± 1,2 <sup>aB</sup>	30,73 ± 0,03 <sup>aA</sup>	16,1 ± 1,12 <sup>bB</sup>
<b>Parâmetro b*</b>	9,6 ± 0,2 <sup>aA</sup>	1,49 ± 0,16 <sup>aB</sup>	10,83 ± 0,07 <sup>aA</sup>	8,8 ± 0,4 <sup>bB</sup>	10,3 ± 0,3 <sup>aA</sup>	10,4 ± 0,9 <sup>cB</sup>
<b>Croma C*</b>	28,6 ± 0,3 <sup>aA</sup>	6,35 ± 0,67 <sup>aB</sup>	33,35 ± 0,06 <sup>aA</sup>	17 ± 1 <sup>aB</sup>	32,4 ± 0,1 <sup>aA</sup>	19,2 ± 0,5 <sup>bB</sup>
<b>Ângulo Hue*</b>	340,2 ± 0,4 <sup>aA</sup>	346,3 ± 1,6 <sup>aB</sup>	341,0 ± 0,1 <sup>abA</sup>	329 ± 2 <sup>aB</sup>	341,5 ± 0,5 <sup>bA</sup>	327,5 ± 3,6 <sup>bB</sup>

Médias seguidas de letra iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ ): Letras minúsculas comparam regiões A, B e C e maiúsculas,

polpa pura e polpa filtrada. Região (A) Lagoa de cima, (B) Alto da areia e (C) Pau Grande.

Tabela 6-Avaliação do teor de antocianinas totais da polpa.

	Regiões	Teor de antocianinas (mg/ 100g) bs
<b>Polpa pura</b>	A	444 ± 45 <sup>aA</sup>
	B	448 ± 27 <sup>aA</sup>
	C	373 ± 18 <sup>aA</sup>
<b>Polpa filtrada</b>	A	276 ± 9 <sup>aB</sup>
	B	207 ± 8 <sup>bB</sup>
	C	193 ± 3 <sup>cB</sup>

Médias seguidas de letra iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si ( $p>0,05$ ): Letras minúsculas comparam regiões A,B e C e maiúsculas, polpa pura e polpa filtrada. Região (A) Lagoa de cima, (B) Alto da areia e (C) Pau Grande.

Tabela 7 - Caracterização da clara de ovo utilizada nos experimentos.

Amostra	Clara <i>in natura</i>	Clara acidificada
pH	10,01 ± 0,06 <sup>a</sup>	3,5 ± 0,0 <sup>b</sup>
Sólidos solúveis (° Brix)	13,8 ± 0,6 <sup>a</sup>	10,0 ± 0,1 <sup>b</sup>
Umidade (g/100g)	88,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	85,3 ± 0,0 <sup>b</sup>
Proteína (%)	9,5 ± 1,3 <sup>a</sup>	9,4 ± 0,2 <sup>a</sup>
Cinzas (%)	0,38 ± 0,17 <sup>a</sup>	0,41 ± 0,08 <sup>a</sup>

Médias seguidas de letra iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si ( $p>0,05$ ):

Ao avaliar a clara *in natura* e a clara acidificada foi percebido redução do teor de sólidos solúveis totais e umidade após o processo de acidificação da clara. Essa mudança pode estar relacionada com a modificação da estrutura da clara após o processo de acidificação, fazendo com que fique menos viscosa e mais fluida, favorecendo melhor a homogeneização da clara com a polpa. Christ (2006) encontrou 11,8% de sólidos solúveis, valor próximo ao encontrado nesse trabalho. Alloni e Antunes (2005) encontraram valores de pH variando de 9,1 a 9,43, valores próximos ao encontrado em clara *in natura*. Para análise de cinzas e proteínas, as amostras não apresentaram diferença estatística entre os resultados encontrados. Christ (2006) encontrou valores

próximos de proteína (11,5%). Fato este que já era esperado, pois o processo de acidificação não altera a composição do material.

## 5.2. Fluidodinâmica do material inerte polietileno de baixa densidade

A Figura 6 mostra o comportamento do inerte em relação à queda de pressão ( $\Delta P$ ) em função da velocidade crescente e decrescente do ar no leito. As curvas obtidas demonstram comportamento típico aos reportados por Adeodato (2003), Braga (2014) e Freitas (2015).

Foi observado que, à medida que foi aumentando a velocidade do ar, as partículas apresentavam uma pequena elevação no leito e ao se aproximarem da velocidade de 13 m/s, verificou-se o desenvolvimento do jorro mínimo. Ao atingir velocidades próximas de 20 m/s foi observado um jorro intenso e elutriação dos inertes para o coletor do ciclone. Ou seja, trabalhar em altas velocidades possui maior gasto de energia e o material se encontra na região de arraste. Ao atomizar a pasta sobre o leito de partículas inertes foi observado que com velocidades abaixo de 22 m/s não era possível obter um jorro estável e com isso, acabava acarretando em um colapso no leito. A velocidade de jorro mínimo (13 m/s), que corresponde a uma vazão de 1,96 kg/min, utilizada neste trabalho é alta quando comparada a outros trabalhos, mas este comportamento pode ser explicado pelas próprias condições de construção do equipamento. Braga (2014) reportou vazões de jorro mínimo iguais a 0,87 e 0,86 kg/min para polipropileno e polietileno de baixa densidade, respectivamente.

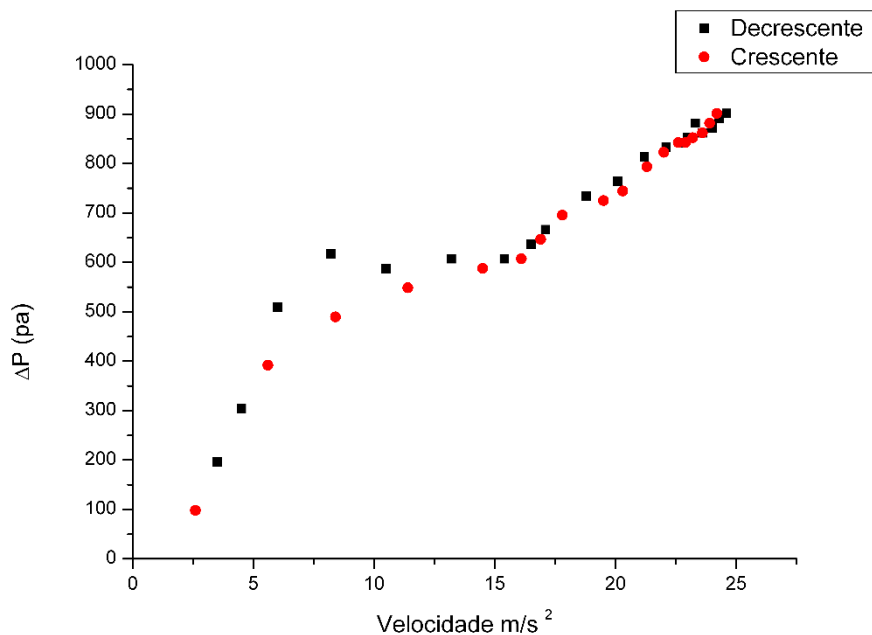


Figura 6. Curva fluidodinâmica do material inerte PEBD avaliando a queda de pressão no leito de jorro em função da velocidade do ar crescente e decrescente.

### 5.3. Efeito da adição do agente carreador dióxido de silício coloidal Aerosil® 200

Os ensaios para secagem foram feitos utilizando como agente carreador a maltodextrina e o Aerosil® nas seguintes concentrações 0%, 0,5% e 0,8% mantendo-se fixa a concentração de 80% de polpa na pasta. Ao realizar os ensaios de secagem percebeu-se que ao adicionar o agente carreador Aerosil® obteve uma melhora, pois havia menos perda de material nas paredes do equipamento e na peça de atomização (Figura 7). Mas, ao aumentar a concentração deste agente carreador percebeu também que, quanto maior a porcentagem de Aerosil® mais fino era o pó obtido no sistema e maior a perda por elutriação. Este comportamento pode estar relacionado com a dinâmica de



processo, configuração do equipamento e a interação da polpa com o agente carreador e a sílica.

A concentração de 0,5% de Aerosil® foi a escolhida com base na avaliação de produção de pó e perda (Figura 8). Vasconcelos et al. (2004) avaliaram a influência da temperatura de entrada e as concentrações de Aerosil® 200 na secagem por *spray dryer* em *Schinus Terebinthifolius Raddi*. Eles relatam que quanto maior a temperatura de entrada e a concentração de Aerosil® melhor o rendimento do processo e produção de pó solto e fino.

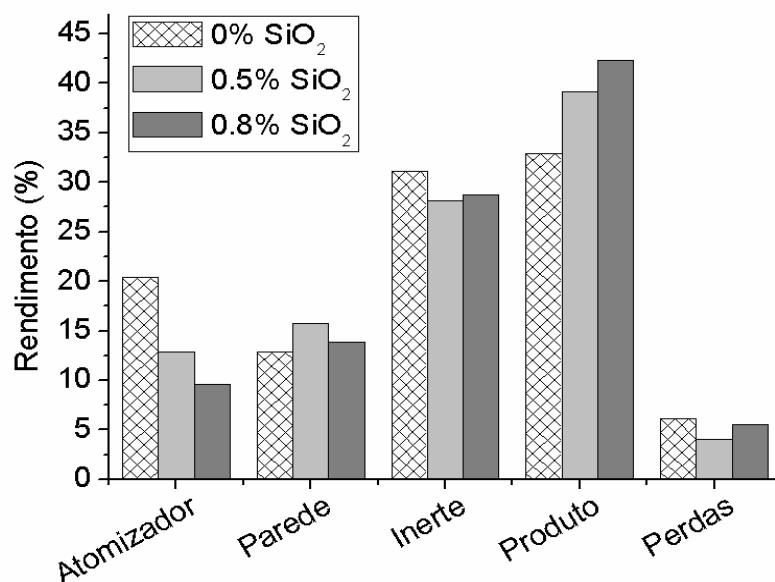


Figura 7. Perda de material nas partes do leito de jorro e produção de pó após a secagem de jambolão em leito de jorro  $T_{ar} = 60^{\circ}C$ .

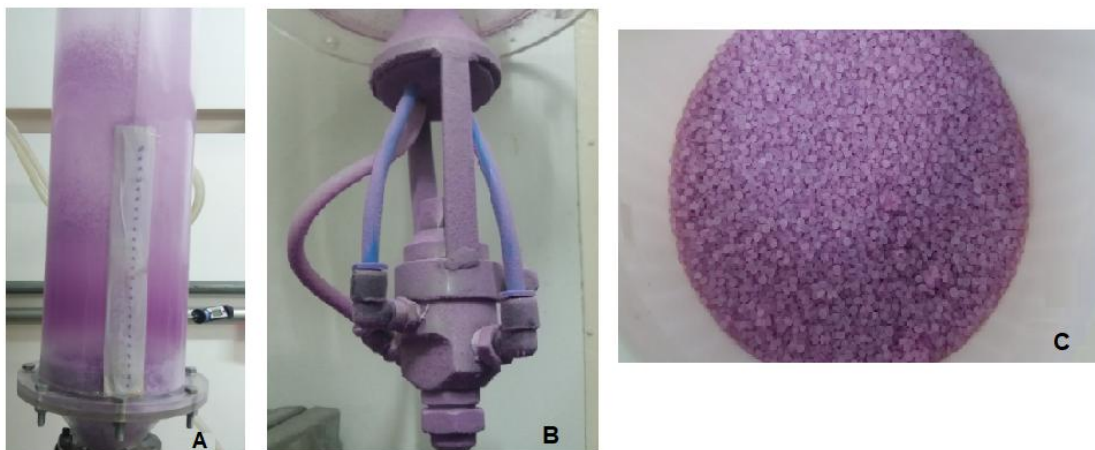


Figura 8. Material aderido nas paredes do equipamento (A), material aderido na peça de atomização (B), material aderido no inerte após o processo de secagem (C).

As diferentes concentrações de agentes carreadores apresentaram diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) no teor de sólidos solúveis totais das amostras (Tabela 8). O aumento na concentração de  $\text{SiO}_2$  promoveu aumento no teor de sólidos solúveis das amostras e uma pequena variação nos valores de umidade das pastas. As pastas de modo geral se encontraram em meio ácido e a amostra com 0,5%  $\text{SiO}_2$  foi mais ácida, diferindo-se estatisticamente das demais ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 8. Caracterização físico-química da pasta e pó com diferentes concentrações de SiO<sub>2</sub>.

Análise	0% SiO <sub>2</sub>		0,5% SiO <sub>2</sub>		0,8% SiO <sub>2</sub>	
	Pasta	Pó	Pasta	Pó	Pasta	Pó
pH	3,59 ± 0,03 <sup>a</sup>	-	3,73 ± 0,06 <sup>b</sup>	-	3,72 ± 0,04 <sup>b</sup>	-
Umidade (g/100g)	72,60 ± 0,06 <sup>a</sup>	6,0 ± 0,2 <sup>1</sup>	70,81 ± 0,09 <sup>a</sup>	6 ± 2 <sup>1</sup>	71,4 ± 0,1 <sup>a</sup>	4,5 ± 0,2 <sup>2</sup>
Aw	0,987 ± 0,001 <sup>a</sup>	0,258 ± 0,002 <sup>1</sup>	0,9860 ± 0,0004 <sup>a</sup>	0,26 ± 0,03 <sup>1</sup>	0,986 ± 0,001 <sup>a</sup>	0,2172 ± 0,02 <sup>1</sup>
SST (° Brix)	29,5 ± 0,4 <sup>a</sup>	-	31,0 ± 0,4 <sup>b</sup>	-	32,1 ± 0,2 <sup>c</sup>	-
Acidez (g/100g)	2,43 ± 0,05 <sup>a</sup>	-	2,01 ± 0,08 <sup>b</sup>	-	2,10 ± 0,08 <sup>b</sup>	-

Médias seguidas de letra iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ ): Sólidos solúveis totais (SST).

A umidade dos pós obtidos após o processo de secagem diminuiu cerca de 65% quando comparada ao teor de umidade da pasta. Já a atividade de água foi maior que 0,98 para todas as pastas, sendo reduzida de 0,2172 a 0,2630 após o processo de secagem, o que é esperado para produtos em pó. Araújo (2014) encontrou 5,78% de umidade e atividade de água 0,347 em pó de jambolão com goma arábica seco em leite de jorro. Tonon (2009) ao estudar sobre o pó da fruta de açaí com maltodextrina DE 10 encontrou 0,229 de atividade de água.

A  $\rho_{bs}$  e  $\rho_{be}$  são propriedades que dependem das características do pó, principalmente quanto a seu tamanho, formato e composição. O valor de  $\rho_{bs}$  da amostra com maior concentração de  $\text{SiO}_2$  foi superior às demais amostras (Tabela 9). Este fato pode ser explicado ao avaliar o tempo de molhamento, discutido a seguir. A  $\rho_{be}$  é estatisticamente diferente das demais amostras, apresentando valores superiores. Dantas (2009) em seu trabalho sobre pós de misturas de frutas com diferentes fontes lipídicas encontrou valores semelhantes (0,33 – 0,40 g/ mL).

Tabela 9- Caracterização física do pó obtido na secagem com diferentes concentrações de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) e maltodextrina DE 10.

Amostra	0% $\text{SiO}_2$	0,5% $\text{SiO}_2$	0,8% $\text{SiO}_2$
$\rho_{bs}$ (g/mL)	$0,37 \pm 0,02^b$	$0,402 \pm 0,004^{ab}$	$0,45 \pm 0,01^a$
$\rho_{be}$ (g/mL)	$0,51 \pm 0,02^b$	$0,55 \pm 0,02^b$	$0,70 \pm 0,01^a$
Índice de Carr (%)	$27 \pm 1^b$	$27 \pm 2^b$	$36 \pm 1^a$
Solubilidade (g/100 g)	$91 \pm 8^a$	$88 \pm 11^a$	$90 \pm 3^a$
Tempo de molhamento (min)	$2,49 \pm 0,02^a$	$1,7 \pm 0,1^b$	$1,7 \pm 0,1^b$
Higroscopicidade (g/100g)	$18,4 \pm 0,4^a$	$17,7 \pm 0,6^a$	$15 \pm 3^a$

Médias seguidas de letra iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ ). Densidade bulk solta ( $\rho_{bs}$ ). Densidade bulk empacotada ( $\rho_{be}$ ).

A  $\rho_{bs}$  e  $\rho_{be}$  são propriedades que dependem das características do pó, principalmente quanto a seu tamanho, formato e composição. O valor de  $\rho_{bs}$  da amostra com maior concentração de  $\text{SiO}_2$  foi superior às demais amostras

(Tabela 10). Este fato pode ser explicado ao avaliar o tempo de molhamento, discutido a seguir. A  $\rho_{be}$  é estatisticamente diferente das demais amostras, apresentando valores superiores. Dantas (2009) em seu trabalho sobre pós de misturas de frutas com diferentes fontes lipídicas encontrou valores semelhantes (0,33 – 0,40 g/ mL).

De acordo com Godoi (2009), o índice de Carr é o parâmetro que pode indicar as características de escoamento de um material. As amostras com menor quantidade de  $SiO_2$  podem ser caracterizadas como de média fluidez. Enquanto que a amostra com maior concentração de  $SiO_2$  (0,8%) apresenta-se coesiva, índice de Carr maior que 28%, o que indica que os pós podem não fluir tão facilmente em meio líquido.

As amostras apresentaram solubilidade entre 88 e 91% e não apresentaram diferença significativa entre si. Tonon (2009) utilizando maltodextrina DE10 como agente carreador em secagem por atomização de açaí encontrou 94,44% de solubilidade. Cano-Chauca et al. (2005) estudaram secagem por atomização de manga, utilizando maltodextrina como agente carreador e obtiveram solubilidade em torno de 95%. Isso comprova que os agentes carreadores utilizados apresentam um alto grau de solubilidade.

De acordo com os resultados encontrados, pode-se dizer que o tempo de molhamento das amostras ocorreu de forma rápida. Isso quer dizer que o agente carreador  $SiO_2$  melhora na capacidade de dispersão da amostra em água. Os valores obtidos estão inferiores aos encontrados por Tonon (2009) na secagem por atomização do suco de açaí utilizando como agente carreador a maltodextrina DE10, este fato pode ser explicado pela diferença na composição do fruto açaí em relação ao jambolão. Assim como relata Schubert (2010), as características relacionadas à composição dos alimentos (teores de gordura, amido, proteína), à viscosidade do líquido e ao tamanho das partículas influenciam de forma direta na molhabilidade dos produtos.

Considerando o efeito da adição de  $SiO_2$  no tempo de molhamento, as amostras não apresentaram diferença estatística entre si. De acordo com Juarez-Enriquez (2017), a higroscopicidade está relacionada com a capacidade do pó de absorver a água presente em ambientes de alta umidade. De acordo com Haugaard et al. (1978) e citados por Jaya e Das (2004), pós de polpa de fruta podem apresentar elevada higroscopicidade quando comparada a outros tipos de

pó, pois o fator que influencia são os açúcares presentes nas frutas (glicose, sacarose e frutose).

O pó com 0,5% SiO<sub>2</sub> apresentou características de média fluidez, boa solubilidade, boa capacidade de dispersão em água e valores de densidade próximo ao esperado para produtos em pó. Mediante esses resultados, a concentração de agente carreador 0,5% SiO<sub>2</sub> foi escolhida para ser adicionada na pasta com diferentes concentrações de maltodextrina DE10 e clara acidificada.

Tabela 10- Parâmetros colorimétricos dos pós de jambolão com diferentes concentrações dos agentes carreadores, maltodextrina DE10 e SiO<sub>2</sub>.

Parâmetros	0% SiO <sub>2</sub>	0,5% SiO <sub>2</sub>	0,8% SiO <sub>2</sub>
L*	63,41 ± 0,09 <sup>a</sup>	67,54 ± 0,09 <sup>b</sup>	65,5 ± 0,09 <sup>c</sup>
a*	22,80 ± 0,08 <sup>a</sup>	19,1 ± 0,1 <sup>b</sup>	20,1 ± 0,3 <sup>c</sup>
b*	-15,5 ± 0,2 <sup>a</sup>	-13,7 ± 0,3 <sup>b</sup>	-14,7 ± 0,3 <sup>c</sup>
Croma, C*	27,5 ± 0,1 <sup>a</sup>	23,5 ± 0,2 <sup>b</sup>	24,9 ± 0,4 <sup>c</sup>
Ângulo Hue, h°	325,8 ± 0,6 <sup>a</sup>	324,5 ± 0,9 <sup>b</sup>	323,9 ± 0,5 <sup>b</sup>

Médias seguidas de letra iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si (p>0,05)

Os parâmetros L\*, a\*, b\* e Croma c\* apresentaram diferença significativa entre as amostras com diferentes concentrações de SiO<sub>2</sub>. O pó produzido com concentração de 0,5% de SiO<sub>2</sub> apresentou coloração mais clara do que as demais amostras. Foi observada uma redução dos parâmetros a\* e b\*, a qual está relacionada com a variação das cores que está diretamente ligada com a adição dos agentes carreadores. O mesmo foi observado por Tonon et al. (2009) ao avaliar os parâmetros L\*, a\* e b\*. Araújo (2014) utilizando goma arábica como agente carreador encontrou valores inferiores aos retratados neste estudo nos parâmetros L\* 22,98, a\* 15,68 e b\*-4,24.

Foi observada uma redução do C\*, que representa a intensidade ou pureza da cor, com a adição de SiO<sub>2</sub>. O pó apresentou valores entre 323,90° a 325,84°, o que mostra uma predominância da cor vermelha. Valores encontrados neste trabalho estão inferiores aos de Araújo (2014) de 359, 73°, o que pode ser explicado pela diferença de concentração do agente carreador adicionado na

pasta. No presente trabalho foi utilizado 20% de agente carreador enquanto Araújo (2014) usou 5%, o que pode ter favorecido a obtenção de pó com cor mais roxa pelo autor em razão da menor quantidade de agente carreador adicionado.

#### 5.4. Efeito da mistura clara acidificada e maltodextrina DE10

A Figura 9 apresenta o rendimento dos pós obtidos a partir de pastas com diferentes concentrações de agentes carreadores. Foi observado um decréscimo do rendimento do produto com o aumento da concentração de clara na pasta. Quanto maior a concentração de clara, mais fino o pó e conseqüentemente maior a perda por elutriação. Outro fator que contribuiu para o baixo rendimento do pó na peça de atomização, nas paredes do leito e nos inertes, pode ter ocorrido em razão da saturação do ar durante a secagem.

É importante ressaltar que a velocidade do ar influencia no rendimento do processo. De acordo com Dacanal (2009), baixas velocidades de fluidização podem acarretar em maiores perdas por incrustações do produto, e altas velocidades promove agitação das partículas e maiores são as perdas por elutriação. Portanto, a velocidade do ar de fluidização utilizada neste trabalho foi fixa, o que pode estar relacionado com a densidade do material, pois quanto menor a densidade, mais leve o pó produzido e mais fácil de ser carreado. Outro fator é que o equipamento utilizado apresenta várias emendas e com isso maior a probabilidade de perdas entre uma emenda e outra.

Vale ressaltar que a escolha do inerte é de grande importância para o desempenho da secagem. Pois, as propriedades do material inerte podem interferir durante o processo, como, por exemplo, a remoção da película de material no inerte. Braga (2014) avaliou diferentes tipos de inertes na secagem com mistura de leite - amora preta. Verificou-se que o poliestireno (PS) apresentou eficiência média da produção do pó de 63,2%. Utilizando o polietileno de baixa densidade (PEBD) como inerte foi de 25,5%, e para o polietileno de alta densidade (PEAD) 22,3%. Medeiros et al. (2001) reportaram que, o polietileno de alta densidade apresentou melhor escoabilidade em relação ao polietileno de baixa densidade na secagem de polpa de fruta em leito de jorro. De acordo com os estudos feitos na literatura, o polietileno de baixa densidade apresenta

propriedades intermediárias quando comparado aos outros tipos de inerte e por isso foi escolhido para realização do presente trabalho, além de ter sido o único arrecadado de doações das empresas.

Conforme pode-se observar o maior rendimento do produto foi obtido com maior concentração de maltodextrina DE10 e menor de clara, mesmo assim apresentou rendimento menor do que o esperado para ser considerado um processo viável de secagem. Foi observado que as condições operacionais utilizadas influenciaram negativamente no desempenho do processo. O aumento da tensão superficial e a redução do ângulo de contato interferem negativamente no rendimento, potencializando as forças de adesão, o que explica a aderência de pastas nas paredes do equipamento e no material inerte.

Na literatura encontram-se trabalhos para pastas com proteínas isoladas, ou seja, ausência de lactose e gordura como, por exemplo, Fang e Bhadari (2012), que compararam proteína isolada e maltodextrina. Os autores constataram que ao adicionar 1% de proteína foi eficiente para mais de 50% de recuperação do pó, enquanto que 30% de maltodextrina era necessário para o mesmo propósito. Os três tipos de pós produzidos alcançaram rendimento inferior ao encontrado por Araújo (2014), que estudou secagem de jambolão por liofilização e leite de jorro, observando em seu pó pela secagem em leite de jorro com goma arábica como adjuvante rendimento de 61,91%, valor superior ao encontrado neste estudo. Braga (2014) avaliou o rendimento da mistura de leite e amora preta em pó por secagem em leite de jorro, o que resultou em eficiência de produção de pó superior a 75%. Essa diferença pode estar relacionada às condições do equipamento, secagem e agente carreador.



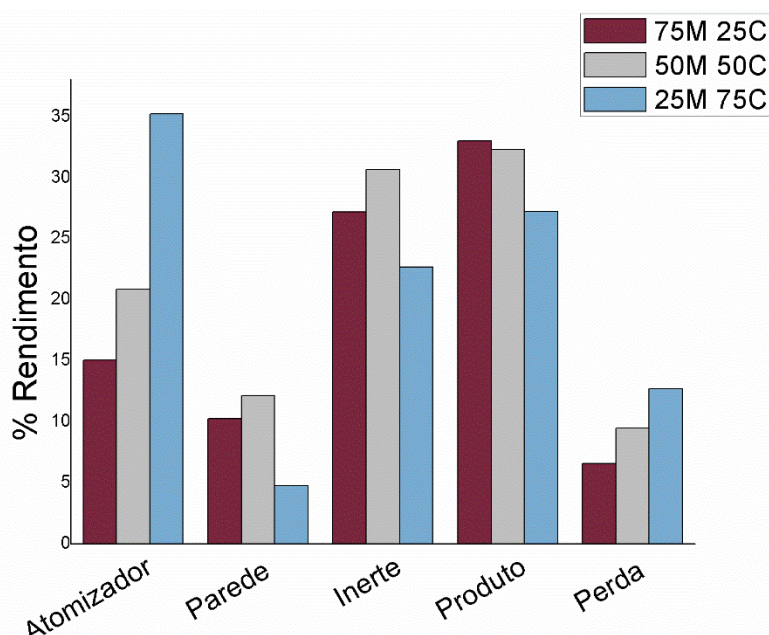


Figura 9. Rendimento de pó no produto final e nas peças do equipamento leito de jorro.

Apesar dos valores estarem próximos, o pH das diferentes amostras apresentou diferença estatística (Tabela 11). Os resultados encontrados estão dentro do esperado, pois a polpa de jambolão *in natura* apresenta um pH em torno de (3,0 – 4,5) (Vizzoto e Fetter, 2009). De acordo com esses valores, podem ser classificadas como pastas ácidas devido à adição de clara acidificada como agente carreador e pela adição da polpa de jambolão que representa 80% da massa da solução.

Tabela 11 - Caracterização físico-química da pasta com diferentes concentrações de maltodextrina e clara.

Análises	75M 25 C	50M 50C	25M 75C
pH	3,8 ± 0,1 <sup>a</sup>	3,7 ± 0,1 <sup>b</sup>	3,6 ± 0,1 <sup>b</sup>
Umidade (g/100g)	74 ± 2 <sup>a</sup>	80 ± 2 <sup>b</sup>	83,2 ± 0,7 <sup>c</sup>
Aw	0,983 ± 0,002 <sup>a</sup>	0,985 ± 0,002 <sup>a</sup>	0,985 ± 0,002 <sup>a</sup>
SST (° Brix)	25,5 ± 0,5 <sup>a</sup>	21,6 ± 0,3 <sup>b</sup>	18,5 ± 0,3 <sup>c</sup>

Médias seguidas de letra iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ ) (75M 25C) 14,75% maltodextrina + 4,75% clara + 0,5% sio<sub>2</sub>. (50M 50C) 9,75% maltodextrina + 9,75% clara + 0,5% sio<sub>2</sub>. (25M 75C) 4,75% maltodextrina + 14,75% clara + 0,5% sio<sub>2</sub>. Sólidos solúveis totais (SST).

Os resultados de umidade das pastas apresentaram diferença estatística entre si. Os pós com maior concentração de maltodextrina apresentaram umidade menor do que as demais amostras. A atividade de água não apresentou diferença estatística, sendo superior a 0,98 para todas as amostras. Os sólidos solúveis totais das pastas diferiram-se entre si conforme observado na tabela 12, sendo que a pasta com maior concentração de clara apresentou menor teor de sólidos solúveis do que as outras amostras. Quanto maior a concentração de clara em forma líquida menor a concentração de sólidos na pasta, em razão do efeito de diluição causado pela incorporação da umidade da clara na pasta. Bezzera (2015) realizou a caracterização físico-química das diferentes formulações de frozen yogurt elaborado com leite caprino e obteve valores de pH superiores variando de 4,02 a 4,30 e teor de sólidos solúveis em torno de 29%.

A tabela 12 apresenta os resultados encontrados nas análises de caracterização física do pó. A  $\rho_{bs}$  das amostras apresentou diferença significativa entre si. Lescano (2009) obteve valores próximos ao encontrado neste estudo, variando de 0,347 – 0,391 g/ mL. A  $\rho_{be}$  desconsidera todos os espaços vazios entre as partículas do material. Os resultados encontrados não apresentaram diferença significativa entre as amostras, pois apresentaram valores próximos uns aos outros. Dantas (2009) em seu trabalho sobre pós de misturas de frutas com diferentes fontes lipídicas encontrou (0,33 – 0,40 g/ mL) para  $\rho_{be}$ .

Tabela 12 - Caracterização física do pó obtido na secagem com diferentes concentrações de agentes carreadores.

Análises	75M 25C	50M 50C	25M 75C
$\rho_{bs}$ (g/mL)	$0,35 \pm 0,01^b$	$0,38 \pm 0,01^a$	$0,36 \pm 0,00^a$
$\rho_{be}$ (g/mL)	$0,55 \pm 0,01^a$	$0,52 \pm 0,01^a$	$0,52 \pm 0,02^a$
Índice de carr (%)	$36,8 \pm 0,5^a$	$27 \pm 2^b$	$29 \pm 3^{ab}$
Solubilidade (g/100 g)	$80 \pm 13^a$	$82 \pm 5^a$	$83 \pm 4^a$
Tempo de molhamento (min)	$10 \pm 1^a$	$8,4 \pm 0,5^b$	$6 \pm 0,5^c$
Higroscopicidade (g/100g)	$19,2 \pm 0,5^a$	$19,8 \pm 0,8^a$	$26 \pm 2^b$
Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )	$11,4 \pm 0,6^a$	$13,3 \pm 0,4^b$	$7,88 \pm 0,06^c$

Médias seguidas de letra iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si ( $p > 0,05$ ).

(75M 25C) 14,75% maltodextrina + 4,75% clara+ 0,5% SiO<sub>2</sub>. (50M 50C) 9,75% maltodextrina + 9,75% clara+ 0,5% SiO<sub>2</sub>. (25M 75C) 4,75% maltodextrina + 14,75% clara+ 0,5% SiO<sub>2</sub>. ( $\rho_{bs}$ ) densidade bulk solta. ( $\rho_{be}$ ) densidade bulk empacotada.

Analisando o índice de Carr é possível perceber que houve diferença significativa da amostra com maior concentração de maltodextrina quando relacionada às outras amostras. A amostra 75M 25C apresentou maior índice de carr e encontra-se de forma coesiva ( $IC > 28\%$ ), o que explica seu maior tempo de molhamento do pó em relação às demais amostras.

A solubilidade não apresentou diferença significativa entre as amostras com diferentes proporções de clara e maltodextrina. A capacidade de solubilização dos pós foi próxima ao encontrado por Araújo (2014) de 81,63% para polpa de jambolão seca em leite de jorro. De acordo com Barbosa (2010), a adição de agentes carreadores, principalmente da maltodextrina DE10 ajuda no processo de solubilização dos pós. Christ (2006) estudou sobre secagem de clara de ovo em leite de jorro e relatou que valores de pH em torno de 3,0 apresentam solubilidade de 80%. Esses fatores podem justificar o resultado encontrado no presente estudo ao avaliar a solubilidade dos pós com diferentes concentrações de maltodextrina e clara acidificada.

A molhabilidade das amostras é o tempo gasto de molhamento de todo o material em um meio líquido (geralmente água). Ao avaliar o tempo de molhamento das amostras em água, foi possível verificar que o pó com 75M 25C levou mais tempo para submergir do que os demais. Foi comprovado estatisticamente que ao aumentar a quantidade do agente carreador clara, a molhabilidade dos pós tende a diminuir. O que pode estar relacionado com a densidade, pois quanto maior a densidade do material, mais pesadas são as partículas e conseqüentemente mais fácil a dispersão em água (Hogekamp e Schubert, 2003). Os valores obtidos estão próximos aos encontrados por Tonon (2009) de 8,61 min para pó de açaí com maltodextrina DE10 obtido por secagem por atomização.

A higroscopicidade da amostra com maior concentração de clara (25M 75C) foi estatisticamente superior às demais. A maior higroscopicidade dessa amostra está ligada ao fenômeno conhecido como *caking*, o que dificulta a utilização desses produtos devido à formação de partículas aglomeradas que podem se quebrar facilmente (Carlos et al., 2005). Os pós com maiores concentrações de maltodextrina apresentaram menor higroscopicidade, mesmo comportamento observado por (Tonon, 2009). Cai e Corke (2000) avaliaram a

secagem por pulverização de betacianinas e observaram que a adição de maltodextrina reduziu a higroscopicidade dos pós.

A amostra com maior quantidade de agente carreador clara (25M 75C) apresentou menor diâmetro médio da partícula quando comparado ao diâmetro das outras amostras. O que explica o comportamento do material com menor tempo de molhamento e maior poder higroscópico. Segundo Dacanal (2009), o diâmetro médio das partículas está relacionado com o rendimento do processo. Quanto maior o rendimento do processo maior o diâmetro médio das partículas. Entretanto, o aumento do diâmetro médio acarreta em uma diminuição das perdas por elutriação, porém resulta em uma maior retenção de material no interior do equipamento. Este comportamento foi observado neste trabalho.

As amostras com maior concentração de maltodextrina apresentaram maior diâmetro médio das partículas, porém demonstraram maior aderência do material nas paredes do leito e nos inertes. Enquanto que a amostra com maior concentração de clara apresentou menor diâmetro médio e maior foi a perda por elutriação. Tonon (2009) avaliou diferentes agentes carreadores na secagem de açaí e observou que o tamanho das partículas variou entre 9 e 14  $\mu\text{m}$ . Utilizando maltodextrina DE10 como agente carreador o autor encontrou 19,94  $\mu\text{m}$ , valor próximo ao encontrado neste estudo para as amostras com maior concentração de maltodextrina.

Tabela 13 - Caracterização físico-química do pó obtido no processo de secagem.

Análises	75M 25C	50M 50C	25M 75C
Umidade (g/100g)	6,7 $\pm$ 0,7 <sup>a</sup>	8 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	12 $\pm$ 1 <sup>c</sup>
Aw	0,25 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	0,26 $\pm$ 0,04 <sup>a</sup>	0,26 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>
Acidez Total (g/100g)	2,3 $\pm$ 0,2 <sup>a</sup>	3,86 $\pm$ 0,07 <sup>b</sup>	5,95 $\pm$ 0,08 <sup>c</sup>
Proteína (g/100g)	2,7 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>	4,87 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>	5,3 $\pm$ 0,4 <sup>c</sup>
C <sub>ant</sub> (mg/100 g) bs	74 $\pm$ 12 <sup>a</sup>	115 $\pm$ 6 <sup>b</sup>	164 $\pm$ 19 <sup>c</sup>
% Retenção Ant	54,95	66,3	79,1

Os valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem entre si ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey. (75M 25C) 14,75% maltodextrina + 4,75% clara + 0,5% SiO<sub>2</sub>. (50M 50C) 9,75% maltodextrina + 9,75% clara + 0,5% SiO<sub>2</sub>. (25M 75C) 4,75% maltodextrina + 14,75% clara + 0,5% SiO<sub>2</sub>. C<sub>ant</sub> (concentração de antocianina). Aw (atividade de água). Ant (antocianinas).

A umidade do pó com diferentes concentrações de maltodextrina e clara acidificada apresentou diferença estatística entre as amostras (Tabela 14). Observa-se que a amostra 75M 25C apresenta menor umidade quando comparada às outras. A atividade de água não diferiu estatisticamente entre as amostras. Os valores de umidade e atividade de água encontrados são valores característicos para produtos em pó. Tonon (2009) reporta  $a_w$  de 0,229 para pó de açaí com maltodextrina DE10 e Araújo (2014) obteve pó de jambolão com goma arábica com  $a_w$  de 0,347.

A acidez total titulável e teor de proteínas dos pós apresentaram diferença significativa entre as amostras. O fator que pode ter influenciado foi a clara acidificada adicionada na composição da pasta elaborada. Observa-se que, quanto maior a concentração de clara acidificada maior a porcentagem de proteínas e acidez do pó.

Os teores de antocianinas das amostras apresentaram diferença estatística. As concentrações de antocianina dos pós com maior quantidade de clara acidificada estão maiores quando comparadas ao pó com maior concentração de maltodextrina. Essa diferença se deve à adição do agente carreador maltodextrina na pasta, pois a maltodextrina é um pó branco e fino, o que deixa a pasta com uma cor mais clara. É possível observar visualmente essa mudança de coloração na pasta e no pó obtido após o processo de secagem. No pó das diferentes amostras o teor de antocianinas está inferior ao encontrado por Araújo (2014) 468,6 (mg / 100 g) e superior ao encontrado por Fracassetti et al. (2013) avaliando polpa de camu-camu atomizada em spray dryer (19,63 mg/100g.).

De acordo com a tabela 12, pode-se observar que a porcentagem de retenção das antocianinas aumenta de acordo com o aumento da concentração de clara de ovo. Tonon (2009) avaliou a secagem de açaí por spray dryer em diferentes concentrações de maltodextrina e observou que o uso de concentrações menores do agente carreador poderia resultar em produtos com maior teor de antocianinas (menos "diluídos"). Este comportamento também foi observado neste trabalho, portanto a clara demonstrou efeito protetor das antocianinas.

Diversos fatores podem explicar essa redução do teor de antocianinas, pois esses pigmentos são muito sensíveis a luz, temperatura ao oxigênio e outros

(Fennema et al., 2010). A temperatura fixada para realizar os ensaios de secagens foi 70°C, o que está relacionado com a degradação dos pigmentos devido à alta temperatura. Outro fator que pode estar relacionado é a vazão do ar, pois neste trabalho devido às condições operacionais do equipamento foi necessário trabalhar com uma alta vazão do ar, o que faz com que tenha mais oxigênio dentro do sistema, resultando em uma maior degradação das antocianinas.

Todos os parâmetros de cor avaliados apresentaram diferença significativa entre as amostras (Tabela 14). O parâmetro de luminosidade  $L^*$  é maior para amostra 75M 25C, o que está relacionado com adição do agente carreador maltodextrina que apresenta coloração clara e influencia diretamente no material obtido após o processo de secagem. Quanto menor a concentração deste agente carreador menor o parâmetro  $L^*$ , o que é observado nas amostras 50M 50C e 25M 75C. Além disso, a amostra 75M 25C apresentou menores valores de  $a^*$ , menos vermelha, e menores valores de  $b^*$ , mais azul, quando comparado às outras amostras.

Tabela 14 - Parâmetros colorimétricos dos pós de jambolão com diferentes concentrações dos agentes carreadores, maltodextrina DE10 e clara.

Parâmetros	75M 25C	50M 50C	25M 75C
$L^*$	73,65 ± 0,08 a	70,9 ± 0,1 b	67,51 ± 0,05 c
$a^*$	15,2 ± 0,3 a	17,7 ± 0,1 b	20,53 ± 0,04 c
$b^*$	-11,5 ± 0,2 a	-11,6 ± 0,1 a	-12,2 ± 0,1 b
Croma $C^*$	19,0 ± 0,2 a	21,21 ± 0,03 b	23,87 ± 0,08 c
Ângulo Hue $h^\circ$	323,0 ± 0,5 a	326,7 ± 0,5 b	329,3 ± 0,3 c

Os valores médios seguidos pelas mesmas letras minúsculas na mesma linha não diferem entre si ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Tukey. (75M 25C) 14,75% maltodextrina + 4,75% clara+ 0,5% SiO<sub>2</sub>. (50M 50C) 9,75% maltodextrina + 9,75% clara+ 0,5% SiO<sub>2</sub>. (25M 75C) 4,75% maltodextrina + 14,75% clara+ 0,5% SiO<sub>2</sub>.

O aumento da concentração de clara acidificada nas amostras aumentou o valor do parâmetro croma  $C^*$ , este parâmetro avalia a intensidade e a pureza da cor, ou seja, quanto maior o valor  $C^*$ , maior é a intensidade da cor e mais pura.

Araújo (2014) encontrou em seu pó 16,25, valor inferior ao encontrado neste estudo. Os pós obtidos possuem valores do ângulo Hue de 323 a 329°, valores que representam a coloração avermelhada. As amostras com maior concentração de clara apresentaram maior valor de ângulo Hue, o que indica a maior concentração de antocianinas quando comparada à amostra com maior concentração de maltodextrina. Araújo (2014) encontrou valores superiores avaliando este parâmetro (359,73°).

De acordo com a Figura 10, as amostras produzidas apresentaram coloração roxa, com aparência de um pó solto com textura pegajosa, propriedades que estão relacionadas com as características físicas do material.

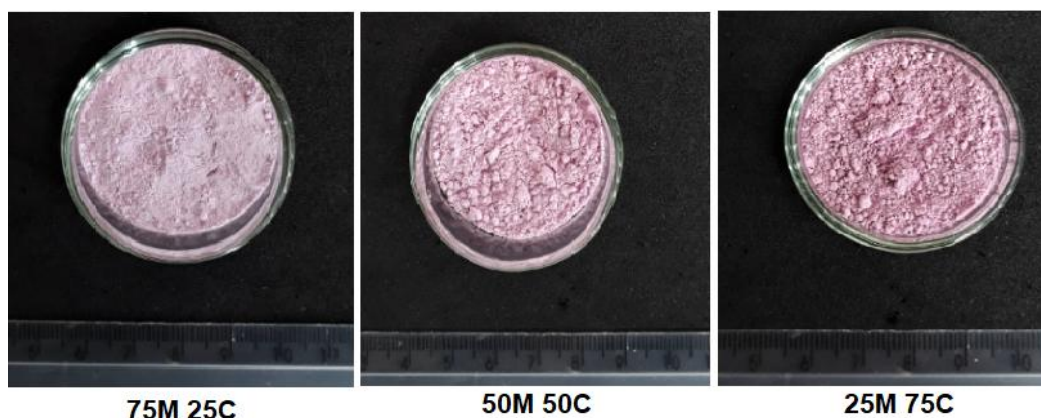


Figura 10. Fotografias do pó obtido no processo de secagem com diferentes concentrações de agente carreador maltodextrina DE10 e clara acidificada. (75M 25C) 14,75% maltodextrina + 4,75% clara+ 0,5% SiO<sub>2</sub>. (50M 50C) 9,75% maltodextrina + 9,75% clara+ 0,5% SiO<sub>2</sub>. (25M 75C) 4,75% maltodextrina + 14,75% clara+ 0,8% SiO<sub>2</sub>.

#### 5.4.1. Estabilidade do produto

O estudo sobre a estabilidade do pó obtido na secagem a 70°C com diferentes concentrações de agente carreador foi analisado durante o

armazenamento à temperatura ambiente após 40 dias em relação a cor, densidade bulk solta ( $\rho_{bs}$ ) e densidade bulk empacotada ( $\rho_{be}$ ).

De acordo com a Figura 11, observa-se que o pó apresentou um aumento do parâmetro  $L^*$  para as amostras 75M 25C e 25M 75C após 40 dias de armazenamento. O que demonstra um aumento da luminosidade, correspondendo a tons mais claros. Fato este que pode estar relacionado com a degradação dos pigmentos do pó com o tempo de armazenamento. Para o parâmetro  $a^*$ , as amostras apresentaram estabilidade, ou seja, as amostras mantiveram a cor vermelha em relação ao tempo e o  $b^*$  demonstrou redução, o que corresponde a uma redução da cor azul com o tempo de armazenamento.

Ao avaliar o croma  $C^*$  (Figura 12) observa-se oscilações entre 18 a 22 e um aumento significativo do ângulo hue para todas as amostras. Barbosa (2010) observou mudanças significativas nos parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$  e  $H^*$  do pó de frutas secas por spray dryer armazenados por 60 dias.



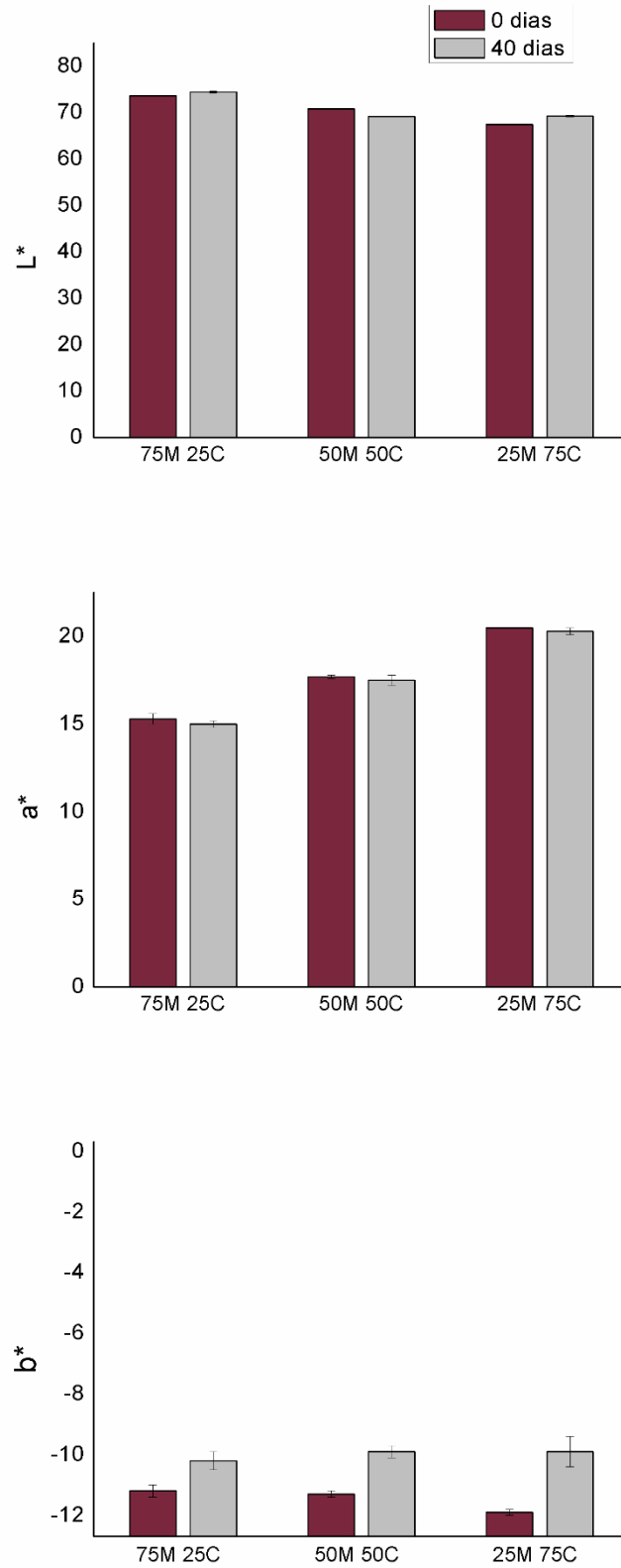


Figura 11. Parâmetros de cor  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  em função do tempo de armazenamento.

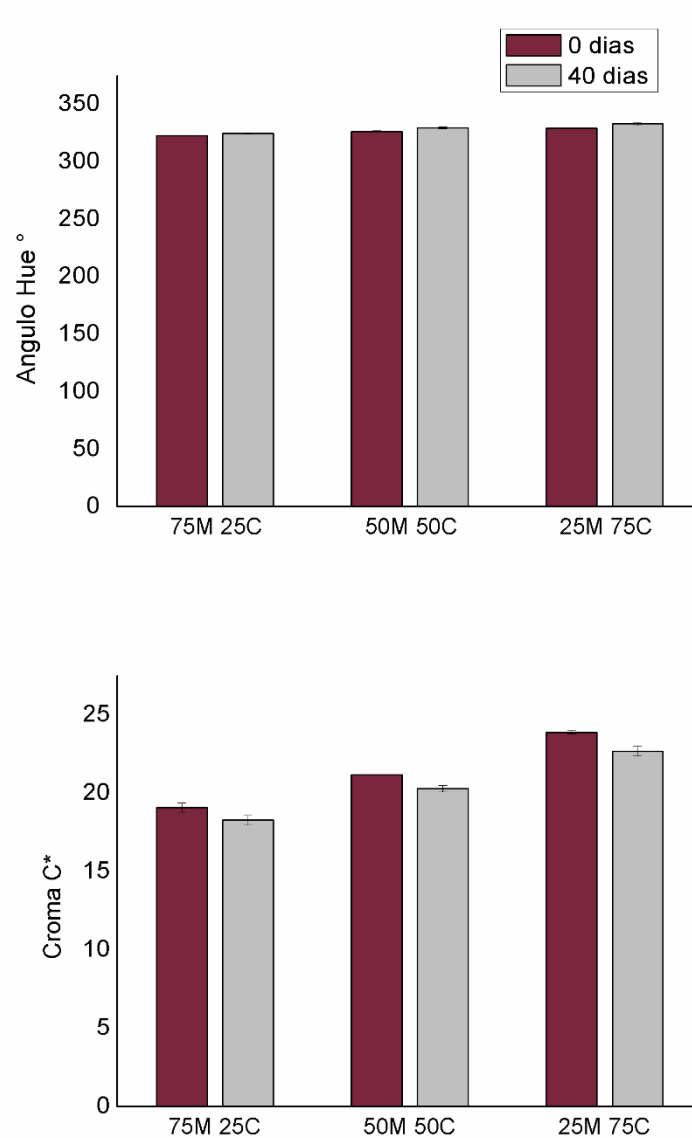


Figura 12. Parâmetros de cor C\* e H° em função do tempo de armazenamento.

Para as análises de ( $\rho_{bs}$ ) e ( $\rho_{be}$ ) foram observadas variações entre as amostras avaliadas. A ( $\rho_{bs}$ ) das amostras 75M 25C e 25M 75C aumentou durante o armazenamento de 40 dias (Figura 12). Esse aumento pode alterar as propriedades físicas do material, principalmente a molhabilidade e higroscopicidade do pó. Densidade maior tende a deixar os pós mais pesados e aglomerados, comportamento que afeta a qualidade e a vida útil do produto. A

( $\rho_{be}$ ) apresentou estabilidade durante o tempo de armazenamento para todas as amostras.

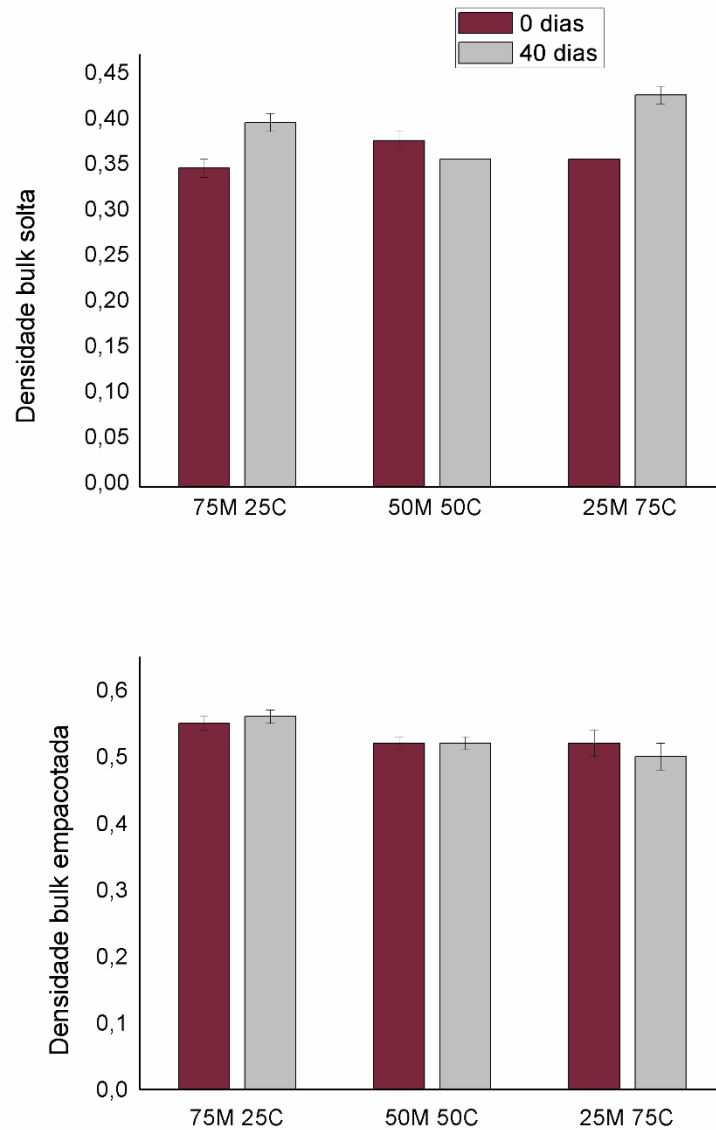


Figura 13. Análise de ( $\rho_{bs}$ ) e ( $\rho_{be}$ ) em função do tempo de armazenamento.

## 6. CONCLUSÃO

É possível concluir que as polpas coletadas em diferentes locais na região de Campos dos Goytacazes/ Rio de Janeiro apresentaram composição semelhante. A polpa filtrada quando comparada à polpa de jambolão *in natura* apresentou diferença significativa nas análises de umidade, sólidos solúveis totais, acidez, proteína e os açúcares sacarose, glicose e frutose. Foi constatado com base nos dados encontrados neste estudo que a polpa de jambolão é uma rica fonte de antocianinas.

A redução do pH da clara resultou em um decréscimo do teor de sólidos solúveis e umidade.

O pó com maltodextrina e 0,5% de SiO<sub>2</sub> apresentou boa influência no rendimento do processo e características de média fluidez, boa solubilidade, boa capacidade de dispersão em água e valores de densidade próximos ao esperado para produtos em pó. Nos parâmetros de cor, apresentou maior luminosidade L\* e ângulo Hue e menor parâmetro a\* e b\*, o que indica coloração avermelhada, em relação à adição de maiores concentrações de SiO<sub>2</sub> ou somente maltodextrina.

Com relação ao uso da combinação de SiO<sub>2</sub>, maltodextrina e clara, foi observado que maiores quantidades de clara na mistura resultaram em menor rendimento de processo e pó com menor diâmetro médio das partículas, maior higroscopicidade e menor tempo de molhamento quando comparado às demais amostras. No entanto, o pó apresentou maior teor de proteínas, antocianinas totais e maior poder de retenção das antocianinas após o processo de secagem.

Avaliando a estabilidade da cor nos tempos 0 e 40 dias de armazenamento foi observado variações no parâmetro de luminosidade  $L^*$  e  $b^*$  e estabilidade no parâmetro  $a^*$  para a maioria das amostras. Os pós apresentaram redução do parâmetro  $b^*$ , o que corresponde à redução da cor azul, com o tempo de armazenamento. Ao avaliar ( $\rho_{bs}$ ) das amostras 75M 25C e 25M 75C percebeu-se um aumento durante o armazenamento de 40 dias, fato este que pode estar relacionado com alterações nas propriedades físicas do material, principalmente a molhabilidade e higroscopicidade do pó.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeodato, M. G. (2003) *Análise da fluidodinâmica de leite de jorro durante o recobrimento de partículas*. Tese (Mestrado em Engenharia Química) – Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 179p.
- Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., Langrish, T. A. G. (2009) Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. *Journal of Food Engineering*, 94(2): 144-153.
- Adhikari, B., Howes, T., Shrestha, A., Bhandari, B. R. (2007) Effect of surface tension and viscosity on the surface stickiness of carbohydrate and protein solutions. *Journal of Food Engineering*, 79(4):1136-1143.
- AOAC- Official Methods of Analysis (1998) Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- Araújo, A. (2014) *Polpa de jambolão (Syzygium cumini) desidratada por liofilização e secagem em leite de jorro: caracterização físico-química funcional e impacto da secagem*. Tese (Mestrado em Engenharia Química) - Natal-RN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 92p.
- Banerjee, A., Dasgupta, N., De, Bratati. (2005) In vitro study of antioxidant activity of Syzygium cumini fruit. *Food chemistry*, 90(4):727-733.
- Barbosa, S. J. (2010) *Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por spray drying* (Doctoral dissertation, Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Montes Claros – MG, Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, 107p.

- Barcia, M. T (2009) *Composição centesimal e de fitoquímicos em jambolão (Syzygium cumini)*. Tese (Mestrado em Agronomia) – Pelotas – RS, Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, 65p.
- Bazaria, B., Kumar, P. (2016) Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. *Food Bioscience*, 14: 21-27.
- Bezerra, M. D. F. (2015) *Polpa de jambolão (Eugenia jambolana Lam.) fresca e desidratada: características físico-químicas, bioativas e funcionais, efeitos biológicos em Caenorhabditis elegans e uso para produção de frozen yogurt caprino probiótico*. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Natal – RN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 195p.
- Borges, K. (2011) *Estudo das características físico-químicas e funcionalidade de bagaços de frutas tropicais desidratados em leite de jorro*. Tese (Mestrado em Engenharia Química) – Natal - RN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, 138p.
- Braga, M. B. (2014) *Obtenção de mistura leite-amora preta em pó por secagem em leite de jorro*. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 171p.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C. L. W. T. (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1):25-30.
- Brito, E. S., De Araujo, M. C. P., Alves, R. E., Carkeet, C., Clevidence, B. A., Novotny, J. A. (2007) Anthocyanins present in selected tropical fruits: acerola, jambolão, jussara, and guajiru. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(23):9389-9394.
- Cai, Y. Z., Corke, H. (2000) Production and properties of spray-dried amaranthus betacyanin pigments. *Journal of Food Science*, 65(7):1248-1252.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., Cal-Vidal, J. (2005) Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4): 420-428.
- Celestino, S. M. C. (2010) *Princípios de secagem de alimentos*. planaltina (DF): Embrapa Cerrados

- Christ, D. (2006) Secagem de clara de ovo em leito de jorro fluidizado bidimensional. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 186p.
- Chung, M. M. S. (2016) *Polpa de guavira (Campomanesia cambessedean Berg) desidratada em spray dryer: efeitos das condições de processo e composição da alimentação nas propriedades físico químicas e atividade antioxidante* Tese (Mestrado em Ciência dos Materiais) – São Paulo – SP, Universidade de São Paulo – USP, 94p.
- Clerici, M. T. P. S., Carvalho-Silva, L. B. (2011) Nutritional bioactive compounds and technological aspects of minor fruits grown in Brazil. *Food Research International*, 44(7): 1658-1670.
- Coutinho, A. (2007) *Produção e caracterização de maltodextrinas a partir de amidos de mandioca e batata-doce*. Tese (Doutorado em Agronomia) - Botucatu-SP, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho-UNESP, 137p.
- Cordeiro, D. S., & Oliveira, W. P. (2005) Technical aspects of the production of dried extract of *Maytenus ilicifolia* leaves by jet spouted bed drying. *International journal of pharmaceutics*, 299:115-126.
- Dacanal, G.C. (2009) *Aglomerção de polpa de acerola e proteína isolada de soja em pó em leito fluidizado cônico e pulsado*. Tese (Doutorado em engenharia de Alimentos) – Campinas –SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 174p.
- Damodaran, S.; Parkin, K.L., Fennema, O.R. (2010) *Química de alimentos de Fennema*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 900p.
- Dantas, T., Souza, J., Júnior, F., Medeiros, M. (2009) Propriedades físicas e físico-químicas de pós de misturas de polpas de frutas com diferentes fontes lipídicas. *Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica*, Uberlândia- MG.
- Dokic, L., Jakovljevic, J., Dokic, P. (2004) Relation between viscous characteristics and dextrose equivalent of maltodextrins. *Starch-Stärke*, 56(11): 520-525.
- Donida, M. W. (2004) *Análise das Influências das Características do Sólido e da Suspensão no Processo de Recobrimento em Leito de Jorro*. (Tese



- (Doutorado em Engenharia Química) - Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 156p.
- Dotto, G. L., Souza, V. C., Pinto, L. A. A. (2011) Drying of chitosan in a spouted bed: The influences of temperature and equipment geometry in powder quality. *LWT-Food Science and Technology*, 44(8): 1786-1792.
- Eastman, J.E., Moore, C.O. (1984) Cold Water Soluble Granular Starch for Washington: Gelled Food Composition. Patent and Trademark Office Patent 4465702
- Fang, Z., Bhandari, B. (2012) Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48(2):478-483.
- Faria, A. F., Marques, M. C., Mercadante, A. Z. (2011) Identification of bioactive compounds from jambolão (*Syzygium cumini*) and antioxidant capacity evaluation in different pH conditions. *Food chemistry*, 126(4):1571-1578.
- Fellows, P.J. (2006) *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 602p.
- Fracassetti, D., Costa, C., Moulay, L., Tomás-Barberán, F. A. (2013) Ellagic acid derivatives, ellagitannins, proanthocyanidins and other phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of two powder products from camu-camu fruit (*Myrciaria dubia*). *Food Chemistry*, 139: 578-588.
- Freire, J. T., Silveira, A. M. *Fenômenos de Transporte em Sistemas Particulados: Fundamentos e aplicações*. 1. ed. São Carlos: Suprema, 424p.
- Freitas, T. M., Pereira, P. G., Bacelos, M. S. (2015) Fluidodinâmica de partículas de pebd/al e areia em leito fluidizado. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, 2(1), 357-366.
- Gabas, A. L. (1998) *Secagem de uva Itália em leito fixo*. Tese (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Campinas-SP, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, 137p.
- Gabas, A. L., Telis, V. R. N., Sobral, P. J. A., Telis-Romero, J. (2007) Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82(2): 246-252.

- Godoi, F. C. (2009) Fluidodinâmica e secagem do polihidroxibutirato (PHB) em leite fluidizado pulsado rotativo. Tese (Mestrado em Engenharia Química) – Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, 148p.
- Haugaard, I. S., Krag, J., Pisecky, J., Westergaard, V. (1978) *Analytical methods for dry milk powders*. Denmark: Niro Atomizer.
- Hogekamp, S., Schubert, H. (2003) Rehydration of food powders. *Food Science and Technology International*, 9(3):223-235.
- Honorato, G. C. (2006) Concepção de um secador rotatório para secagem do cefalotórax do camarão. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Natal-RN, Universidade Federal do Rio Grande do Norte-UFRGN, 185p.
- Hufenussler, M., Kachan, G.C. (1985) Secagem de purê de banana em um secador de leite de jorro. *Anais do Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos*, 12, São Paulo: Universidade de São Paulo-USP, v.2, p.340-354.
- Jaya, S., Das, H. (2004) Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. *Journal of Food Engineering*, 63(2):125-134.
- Juarez-Enriquez, E., Olivas, G. I., Zamudio-Flores, P. B., Ortega-Rivas, E., Perez-Vega, S., Sepulveda, D. R. (2017) Effect of water content on the flowability of hygroscopic powders. *Journal of Food Engineering*, 205:2-17.
- Lago, E. S., Gomes, E., Silva, R. D. (2006) Produção de geléia de jambolão (*Syzygium cumini* Lamarck): processamento, parâmetros físico-químicos e avaliação sensorial. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26(4): 847-852.
- Lee, J., Durst, R. W., Wrolstad, R. E. (2005) Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *Journal of AOAC international*, 88(5):1269-1278.
- Lescano, C. A. A. (2009) *Análise da secagem de resíduo de leite de soja "Okara" em secadores de leite de jorro e de cilindro rotativo assistido a microondas*. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 138p.
- Mathur, K. B., Epstein, N. (1974) *Dynamics of Spouted Beds*. New York: Academic Press, 304p.
- Mathur, K. B., Gishler, P. E. (1955) A technique for contacting gases with coarse solid particles. *AIChE Journal*, 1(2):157-171.

- Medeiros, M. F. D., Alsina, O. L. S., Rocha, S. C., Jerônimo, C. E. D., Mata, A. L. D. M. L., Medeiros, U. K. L., Furtunato, A. A. (2001) Escoabilidade de leitos de partículas inertes com polpa de frutas tropicais. Efeitos na secagem em leite de jorro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 5(3): 475-480.
- Medeiros, M.F.D. (2001) *Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leite de jorro*. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Campinas-SP, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 233p.
- Mine, Y. (1995) Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 6(7):225-232.
- Minolta, K. (1998) Comunicação precisa da cor: controle de qualidade da percepção à instrumentação. *Seoul: Konica Minolta*. 53p.
- Mussi, L. P. *Secagem do resíduo de jambolão em leite de jorro*. (2014) Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro –UENF, 66p.
- O'Hagan, P., Hasapidis, K., Coder, A., Helsing, H. Pokraja, G. (2005) Particle size analysis of food powders. In: Onwulata .C *Encapsulated and Powdered Foods*. Boca Raton: Taylor & Francis, p. 215–245.
- Park, K. J., Antônio, G. C., Oliveira, R. A., Park, K. J. B. (2007) *Conceitos de processo e equipamentos de secagem*. Campinas: Unicamp, 121p.
- Pycia, K., Juszczak, L., Gałkowska, D., Witczak, M., Jaworska, G. (2016) Maltodextrins from chemically modified starches. Selected physicochemical properties. *Carbohydrate polymers*, 146:301-309.
- Reineccius, G.A., Ward, F.M., Whorton, C., Andon, S. A. (1995) Developments in gum acacias for the encapsulation of flavors. In *Encapsulation and Controlled Release of Food Ingredients*. Washington: American Chemical Society, p. 161-168.
- Righetto A. M. (2003) *Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização*. Tese (Doutorado em engenharia de alimentos) – Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 165p.

- Rocha, S. C. S., Donida, M. W., Marques, A. M. M. (2009) Liquid-particle surface properties on spouted bed coating and drying performance. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 87(5):695-703.
- Sadeghi, A., Shahidi, F., Mortazavi, S. A., Mahalati, M. N. (2008) Evaluation of different parameters effect on maltodextrin production by- $\alpha$ -amylase Termamyl 2-x. *World Applied Sciences Journal*, 3(1):34-39.
- Severo, J., Santos, R. S. D., Casaril, J., Tiecher, A., Silva, J. A., Rombaldi, C. V. (2010) Destanização e conservação de frutos de jabolão. *Ciência Rural*, 40(4): 976-982.
- Shrestha, A. K., Howes, T., Adhikari, B. P., Wood, B. J., Bhandari, B. R. (2007) Effect of protein concentration on the surface composition, water sorption and glass transition temperature of spray-dried skim milk powders. *Food Chemistry*, 104(4):1436-1444.
- Soares, E.C., Oliveira, G. S. F., Maia, G. A., Monteiro, J. C. S., Silva, J. A., FILHO, M. S. D (2001) Desidratação da polpa de acerola (Malpighia emarginata DC) Pelo Processo "Foam-Mat". *Ciência e Tecnologia de alimentos*, 21(2): 164-170.
- Stadelman, W. J. e Coterill, O. J. *Egg Science and Technology* (1986) 3.ed. Westport: AVI Publishers Company,. 449p.
- Strumillo, C., Kudra, T. (1986) *Topics in Chemical Engineering; Drying: principles, applications and desing*. 3.ed. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 97p.
- Sturm, K., Koron, D., Stampar, F. (2003) The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry*, 83(3):417-422.
- Tonon, R. V., Brabrabet, C., Hubinger, M. D. (2009) Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(2):444-450.
- Tonon, R. V. (2009) *Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto*. 2009. (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Engenharia de alimentos) - Campinas-SP, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 212p.

- Truong, V., Bhandari, B. R., Howes, T. (2005) Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I—Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71(1):55-65.
- Valenzuela, C., Aguilera, J. M. (2015) Effects of maltodextrin on hygroscopicity and crispness of apple leathers. *Journal of Food Engineering*, 144:1-9.
- Vasconcelos, E. A. F., Medeiros, M. G. F., Raffin, F. N., Moura, T. F. A. L. (2005) Influência da temperatura de secagem e da concentração de Aerosil® 200 nas características dos extratos secos por aspersão da *Schinus terbinthifolius* Raddi (Anacardiaceae). *Revista Brasileira de Farmacognosy*, 15(3): 243-249.
- Vega, C., Goff, H. D., Roos, Y. H. (2005) Spray drying of high-sucrose dairy emulsions: Feasibility and physicochemical properties. *Journal of Food Science*, 70(3).
- Veigas, J. M., Narayan, M. S., Laxman, P. M., Neelwarne, B. (2007) Chemical nature, stability and bioefficacies of anthocyanins from fruit peel of *Syzygium cumini* Skeels. *Food Chemistry*, 105(2):619-627.
- Vieira, M. G. A., Donida, M. W., Rocha, S. C. S. (2004) Adhesion of an aqueous polymeric suspension to inert particles in a spouted bed. *Drying Technology*, 22(5):1069-1085.
- Vizzoto, M., Fetter, M.R. (2009) Jambolão: o poderoso antioxidante: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPACT-2010/12299/1/jambolao-Marcia.pdf> em 29/01/2018 página mantida pela Embrapa.
- Wang, W., Jiang, Y., Zhou, W. (2013) Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. *Journal of Food Engineering*, 119(4):724-730.
- Wang, Y. J., Wang, L. (2000) Structures and properties of commercial maltodextrins from corn, potato, and rice starches. *Starch-Stärke*, 52: 296-304.
- Yusraini, E., Hariyadi, P., Kusnandar, F. (2013) Preparation and partial characterization of low dextrose equivalent (DE) maltodextrin from banana starch produced by enzymatic hydrolysis. *Starch-Stärke*, 65:312-321.