

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA
DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS**

ANA PAULA BURATTO

**MICROENCAPSULAÇÃO DE POLPA DE FEIJOA (*Acca
sellowiana*) PELO PROCESSO DE SECAGEM POR
ATOMIZAÇÃO (*SPRAY DRYING*)**

DISSERTAÇÃO

**PATO BRANCO
2018**

ANA PAULA BURATTO

**MICROENCAPSULAÇÃO DE POLPA DE FEIJOA(*Acca
sellowiana*) PELO PROCESSO DE SECAGEM POR
ATOMIZAÇÃO (*SPRAY DRYING*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de “Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos” – Área do conhecimento: Química de Alimentos.

Orientador: Dr. Edimir Andrade Pereira

Coorientadora: Dra. Solange Teresinha Carpes

PATO BRANCO
2018

B945m Buratto, Ana Paula.
Microencapsulação de polpa de feijoa (*Acca sellowiana*) pelo processo de secagem por atomização (*spray drying*) / Ana Paula Buratto. -- 2018.
133 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Edimir Andrade Pereira
Coorientadora Profa. Dra. Solange Teresinha Carpes
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Pato Branco, PR, 2018.
Bibliografia: f. 113 - 133.

1. Goiabeira-serrana. 2. Microencapsulação. 3. Antioxidantes. 4. Compostos bioativos. I. Pereira, Edimir Andrade, orient. II. Carpes, Solange Teresinha, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. IV. Título.

CDD (22. ed.) 660.281



TERMO DE APROVAÇÃO Nº 71

Título da Dissertação

"Microencapsulação de polpa de feijoa (*Acca sellowiana*) pelo processo de secagem por atomização (Spray drying)."

Autora

Ana Paula Buratto

Esta dissertação foi apresentada às 14h do dia 24 de maio de 2018, como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS – Linha de pesquisa em alimentos – no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. A autora foi arguida pela Banca Examinadora abaixo assinada, a qual, após deliberação, considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Edimir Andrade Pereira

UTFPR/PB
Orientador

Prof. Dr. Edenes Schroll Loss

FADEP/Pato Branco
Examinador

Prof. Dr. Joel Donazzolo

Examinador
UTFPR/DV

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do PPGTP

Visto da Coordenação

Prof. Dra. Marina Leite Mitterer Daltoe
Vice-Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – PPGTP

Dedico este trabalho ao *Arthur Henrique*, amor da minha vida, meu filho, maior presente que Deus poderia ter me dado nesta vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me guiado em mais uma etapa da minha vida e se mostrar sempre presente.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela oportunidade.

Ao professor Dr. Edimir Andrade Pereira, pela orientação, aprendizagem e pelo apoio no decorrer de todo o trabalho, com sua infinita paciência e dedicação, e por ter me proporcionado a oportunidade de realizar e concluir este trabalho.

À professora Dra. Solange Teresinha Carpes, pela coorientação, atenção e dedicação, pois colaborou muito para a realização deste projeto.

Aos professores Idemir Citadin, Joel Donazzolo e Rubens Onofre Nodari, que tão atenciosamente nos auxiliaram para a obtenção da matéria-prima de frutos de feijoa.

À responsável técnica pelos laboratórios de Química da UTFPR/PB Edenes Maria Schroll Loss pelo grande auxílio em todas as vezes que precisei.

À minha amiga e companheira de mestrado Camila Diedrich durante a realização deste trabalho, muito obrigado por todas as dicas e sugestões durante a elaboração do projeto. Certamente sem a sua ajuda eu teria muito mais dificuldades. Pois sempre se prontificou a me ajudar em qualquer coisa que eu precisasse.

À Maria Fernanda Ribas, Mariane Carolina Pesenti e Marcus André Cardoso por terem me auxiliado nos momentos de dúvidas e ausência. Todos eles, cada qual com suas características, foram fundamentais para minha formação.

À Vidiany Queiroz pelo auxílio durante o manuseio do equipamento *spray dryer*.

Ao professor Dr. Mário Cunha por toda disponibilidade e boa vontade em ensinar a utilizar o *spray dryer* e colaboração na pesquisa.

Ao professor Vanderlei Aparecido de Lima pelo todo o seu conhecimento em estatística e toda ajuda e ideias durante o desenvolvimento do trabalho.

À central de análises e toda sua equipe por disponibilizar tempo e espaço para a realização das análises cromatográficas, MEV e análises térmicas. Inclusive à Prof^a. Dr^a. Tatiane Oldoni, pela disponibilidade dos

padrões de compostos fenólicos utilizados na cromatografia líquida de alta eficiência.

Ao Thiago Favero pelo auxílio nos gráficos de análise térmica.

Aos colegas de curso, pela amizade durante todos esses anos de convívio e troca de experiências, pois trilhamos juntos nesta etapa importante de nossas vidas.

Ao Jones Fernando que sempre esteve ao meu lado, apoiando e nunca permitindo que eu desistisse de meus objetivos, e que soube entender os momentos difíceis e ausência nas horas que precisei dedicar-me aos estudos.

Ao meu filho Arthur Henrique que foi um verdadeiro anjo por tão pequenino já saber compreender a minha ausência durante este período.

À minha família pelo apoio, confiança e motivação, principalmente à minha querida avó, pelo seu apoio em mais uma etapa da minha vida, batalhando junto comigo com suas orações, força e convivência.

Enfim, agradeço a todos que me ajudaram de alguma forma a concluí-lo, a aqueles que sempre depositaram a confiança em mim, e que torceram para que meus objetivos sempre fossem alcançados, o meu sincero agradecimento.

“Se compare a uma árvore no outono, que mesmo seca, sem folhas, sem frutos, ela permanece firme com a certeza de que a primavera há de chegar!”

Tierre Lima

RESUMO

BURATTO, Ana Paula. **Microencapsulação de Polpa de Feijoa (*Acca Sellowiana*) pelo Processo de Secagem por Atomização (*spray drying*)** 2018. 135 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2018.

Acca sellowiana, sinônimo *Feijoa sellowiana*, pertence à família Myrtaceae. É nativa do Brasil, mas é amplamente cultivada em países como Colômbia, Estados Unidos e Nova Zelândia, onde tem importância econômica. Seus frutos são aromáticos e ricos em substâncias bioativas que podem contribuir para a dieta da população. No entanto, devido ao rápido amadurecimento e às dificuldades no armazenamento prolongado, a aplicação de tecnologias pós-colheita são empregadas, dentre estas se destaca o uso de *spray drying* como forma alternativa para minimizar a perda por meio da secagem visando preservar a sua qualidade. O objetivo deste trabalho foi microencapsular a polpa de feijoa por *spray drying* e avaliar a influência da temperatura do ar de secagem, concentração e tipo de agente encapsulante sobre as características antioxidantes, físicas, morfológicas e térmicas dos produtos microencapsulados. Os frutos de feijoa foram avaliados quanto aos parâmetros físicos, físico-químicos e antioxidantes. Foi utilizado um experimento fatorial 2³ simples para avaliar as condições de secagem da polpa de feijoa e as variáveis independentes foram temperatura do ar de entrada (90 e 150 °C), concentração (10 e 30%) e tipo de agente encapsulante (goma arábica e maltodextrina). Foram determinados os compostos fenólicos totais, além de identificados e quantificados o perfil dos compostos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) na polpa microencapsulada. A atividade antioxidante realizada por diferentes métodos espectrofotométricos (DPPH, ABTS e FRAP). As microcápsulas foram caracterizadas fisicamente e a cor determinada por meio de análises colorimétricas. As microestruturas formadas foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a degradação térmica por termogravimetria. Os frutos apresentaram rendimento de 53,19% (massa: fruto = 103,6 g; casca = 48,49 g; polpa = 55,10 g) e relação comprimento/diâmetro de 1,525 (comprimento = 7,683 cm; diâmetro = 5,042 cm). A polpa *in natura* apresentou valores de pH, ATT, SS de 3,32, 2,82 g 100 g⁻¹ e 14,50 °Brix, respectivamente. O teor de ácido ascórbico foi de 38,09 g 100 g⁻¹. A casca, de coloração verde ($h^* = 117,33$) apresentou como atributo de textura a força para ruptura da epiderme de 10,64 N. Já a polpa possui coloração creme ($h^* = 90,66$) e textura macia (força para penetração de 0,63 N). Foi sugerida como sendo a condição selecionada no estudo a temperatura de ar de entrada de 150 °C, concentração de agente encapsulante de 10% e maltodextrina, para obtenção de pó rico em compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. A análise cromatográfica revelou a presença de rutina (46,13 e 75,87 µg g⁻¹), catequina (18,59 e 97,07 µg g⁻¹), quercetina (26,09 e 63,42 µg g⁻¹) e ácido trans-cinâmico (32,13 e 40,93 µg g⁻¹). Os valores de umidade, atividade de água, solubilidade, higroscopicidade e dissolubilidade dos pós variaram de 4,61 a 15,40%, 0,143 a 0,443, 91,24 a 99,73%, 13,15 a 24,33% e 140 a 378 s, respectivamente. Assim, a polpa de feijoa em pó obtida

por secagem em *spray dryer* pode ser considerada de qualidade, pois apresentou baixo teor de umidade, atividade de água e higroscopicidade, além de considerada solubilidade e rápido tempo de reidratação. Tais características são comumente descritas como importantes para alimentos em pós. A utilização de maltodextrina e goma arábica como coadjuvantes de secagem promoveram um aumento no teor de sólidos totais e reduz o teor de umidade do material a ser desidratado, facilitando a obtenção de pós com menor teor de umidade. O uso de temperaturas mais altas no processo de secagem promoveu rápida evaporação da água e a película do material desidratado tornou-se seca e rígida, impedindo que as partículas encolham. Em alguns pontos da imagem, foi possível observar a adesão de partículas menores na superfície de partículas maiores, formando aglomerados o que demonstra a ausência de superfícies cristalinas e é característica de produtos amorfos. Houve variação na cor das microcápsulas evidenciada pelo valor h^* de 75,68 a 82,79 indicando tendência na coloração entre o amarelo e o vermelho. As microcápsulas apresentaram formato esférico de diferentes morfologias com superfície lisa à rugosa, e tamanhos variados (1,06 a 23,2 μm) características desejáveis para a estabilidade do material. Foi verificado aumento na estabilidade térmica dos pós em relação à degradação térmica da polpa *in natura*. A tecnologia de secagem por atomização atende a uma questão de armazenamento, bem como, de importância nutricional no que diz respeito a manutenção dos compostos bioativos provenientes dos frutos de feijoa.

Palavras-chave: Goiaba-serrana. Encapsulação. Atividade antioxidante. Microcápsulas.

ABSTRACT

BURATTO, Ana Paula. **Microencapsulation of Feijoa Pulp (*Acca Sellowiana*) by the Atomization Drying Process (Spray Drying)** 2018.135 f. Dissertation (Master in Technology of Chemical and Biochemical Processes) - Federal Technological University of Paraná, Pato Branco, PR, 2018.

Acca sellowiana, synonym *Feijoa sellowiana*, belongs to the *Myrtaceae* family. It is native to Brazil, but is widely cultivated in countries such as Colombia, the United States and New Zealand, where it has economic importance. Its fruits are aromatic and rich in bioactive substances that may contribute to the diet of the population. However, due to the rapid maturation and the difficulties in the prolonged storage, the application of post-harvest technologies is employed, among these the use of spray drying is highlighted as an alternative way to minimize loss through drying in order to preserve its quality. The objective of this work was to microencapsulate the feijoa pulp by spray drying and to evaluate the influence of drying air temperature, encapsulating agent concentration and type of agent (gum Arabic and maltodextrin) on the antioxidant, physical, morphological and thermal characteristics of the products microencapsulated. Feijoa fruits were evaluated for physical, physicochemical and antioxidant parameters. A simple 2^3 factorial experiment was used to evaluate the drying conditions of the feijoa pulp and the independent variables were: inlet air temperature (90 and 150 °C), concentration (10 and 30%) and type of encapsulating agent (gum arabic and maltodextrin). The total phenolic compounds were determined, identified and quantified. The profile of phenolic compounds was investigated by high - performance liquid chromatography (HPLC) microencapsulated pulp. The antioxidant activity was performed by different spectrophotometric methods (DPPH, ABTS and FRAP). The microcapsules were physically characterized and the color was determined by means of colorimetric analyzes. The microstructures formed were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and thermal degradation by thermogravimetry. The fruits presented yield of 53.19% (mass: fruit = 103.6 g, peel = 48.49 g, pulp = 55.10 g) and length / diameter ratio of 1.525 (length = 7.683 cm, diameter = 5.042 cm). The in natura pulp presented values of pH, ATT and SS of 3.32, 2.82 g, 100 g^{-1} and 14.50 °Brix, respectively. The ascorbic acid content was $38.09 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$. The bark, with a green coloration ($h^* = 117.33$) presented a texture strength of 10.64 N for epidermis rupture. The pulp has cream coloration ($h^* = 90.66$) and soft texture (force for penetration of 0.63 N). It was suggested as being the condition selected in the study the inlet air temperature of 150 °C, 10% encapsulating agent concentration and maltodextrin, to obtain powder rich in total phenolic compounds and antioxidant activity. Chromatographic analysis revealed the presence of rutin (46.13 and $75.87 \mu\text{g g}^{-1}$), catechin (18.59 and $97.07 \mu\text{g g}^{-1}$), quercetin (26.09 and $63.42 \mu\text{g g}^{-1}$) and trans-cinnamic acid (32.13 and $40.93 \mu\text{g g}^{-1}$). The humidity water activity, solubility, hygroscopicity and dissolubility values of the powders ranged from 4.61 to 15.40%, 0.143 to 0.443, 91.24 to 99.73%, 13.15 to 24.33%, and 140 to 378 s, respectively. Thus, feijoa pulp powder obtained by spray drying can be considered of quality, since it presented low moisture content, water activity and hygroscopicity, besides being considered solubility and fast

rehydration time. Such characteristics are commonly described as important for powdered foods. The use of maltodextrin and gum Arabic as drying supporting promoted an increase in total solids and reduces the moisture content of the material to be dehydrated, to facilitate obtaining powders with lower moisture content. The use of higher temperatures in the drying process promoted rapid evaporation of the water and the film of the dehydrated material became dry and rigid, preventing the particles from shrinking. At some points in the image, it was possible to observe the adhesion of smaller particles on the surface of larger particles, forming agglomerates which demonstrates the absence of crystalline surfaces and is characteristic of amorphous products. There was variation in the color of the microcapsules evidenced by the value h^* of 75.68 to 82.79 indicating tendency in the coloration between yellow and red. The microcapsules presented spherical shape of different morphologies with smooth to rough surface, and varied sizes (1.06 to 23.2 μm) desirable characteristics for the stability of the material. It was observed increase in thermal stability of the powders relative to the thermal degradation of the pulp in nature. The spray drying technology meets a point of storage, as well as nutritional importance as regards the maintenance of the bioactive compounds from the feijoa fruit.

Key-words: Goiaba-serrana. Encapsulation. Antioxidant activity. Microcapsules.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões de disseminação da feijoa onde é nativa e exótica.	25
Figura 2 - Aspectos botânicos da feijoa (<i>Acca sellowiana</i>): a) planta; b) folha; c) flor e d) fruto.	26
Figura 3 - Corte transversal do fruto de feijoa mostrando a região interna.	27
Figura 4 - Corte transversal de quatro cultivares de feijoa: Alcântara (A), Mattos (B), Helena (C) e Nonante (D).	28
Figura 5 - Esquema do fluxo do ar de secagem no <i>spray dryer</i>	32
Figura 6 - Ilustração esquemática de tipos de micropartículas formadas durante a microencapsulação de compostos.	34
Figura 7 - Morfologias de microcápsulas formadas durante a microencapsulação: (A) Microesfera, (B) Microcápsula simples, (C) Microcápsula simples irregular, (D) Microcápsula de duas paredes, (E) Microcápsula com vários núcleos e (F) Microcápsulas agrupadas.	34
Figura 8 - Regiões de caracterização dos frutos de feijoa.	42
Figura 9 - Formatos de frutos de feijoa segundo descritores para a espécie...	43
Figura 10 - Equipamento mini <i>spray dryer</i> de bancada utilizado nas secagens das amostras de feijoa.	46
Figura 11 – Solução metanólica de polpa de feijoa microencapsulada utilizada nas análises de compostos fenólicos e atividade antioxidante: (A) Antes da ruptura das microcápsulas; (B). Após a ruptura das microcápsulas.	50
Figura 12 - Frutos de feijoa colhidos e utilizados no estudo de secagem por atomização.	58
Figura 13 - Corte transversal mostrando as estruturas internas dos frutos de feijoa utilizados no estudo de secagem por atomização.	59
Figura 14: Gráfico de interações do planejamento fatorial empregado para verificar o efeito das variáveis experimentais independentes sobre os teores de compostos fenólicos totais das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por <i>spray drying</i>	78
Figura 15: Gráfico de interações do planejamento fatorial empregado para verificar o efeito das variáveis experimentais independentes sobre a atividade antioxidante por DPPH das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por <i>spray drying</i>	80

Figura 16: Gráfico de interações do planejamento fatorial empregado para verificar o efeito das variáveis experimentais independentes sobre a atividade antioxidante por ABTS das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por <i>spray drying</i>	81
Figura 17: Gráfico de interações do planejamento fatorial empregado para verificar o efeito das variáveis experimentais independentes sobre a atividade antioxidante por FRAP das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por <i>spray drying</i>	82
Figura 18: Análise de agrupamento Two-Way das respostas compostos fenólicos totais e atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP em função das diferentes condições de secagem da polpa de feijoa por <i>spray drying</i> utilizando o planejamento fatorial 2 ³	83
Figura 19: Matriz de correlação de Sperman para compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH, ABTS e frap) das microcápsulas de polpa de feijoa por <i>spray drying</i>	84
Figura 20 - Gráfico dos componentes principais (PCA-1 e PCA-2) das amostras e da distribuição percentual da atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas em diferentes condições de secagem por <i>spray drying</i>	86
Figura 21 - Gráfico de escores da atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais das amostras dos experimentos de secagem da polpa de feijoa por <i>spray drying</i> . Legenda: G1 (experimento 1), G2 (experimento 2), G3 (experimento 3), G4 (experimento 4), M1 (experimento 5), M2 (experimento 6), M3 (experimento 7), M4 (experimento 8).	87
Figura 22 - Cromatograma dos padrões analíticos de compostos fenólicos utilizados na cromatografia líquida de alta eficiência.	88
Figura 23 - Cromatograma do padrão analítico catequina utilizado na cromatografia líquida de alta eficiência.	89
Figura 24 - Cromatogramas das amostras de polpa de feijoa microencapsulada com goma arábica e seus respectivos compostos identificados: Catequina, Rutina, Quercetina e Trans-cinâmico.	90
Figura 25 - Cromatogramas das amostras de polpa de feijoa microencapsulada com maltodextrina e seus respectivos compostos identificados: Catequina, Rutina, Quercetina e Trans-cinâmico.	90

Figura 26 – Aspecto visual das amostras em pó de polpa de feijoa microencapsulada com goma arábica e maltodextrina por <i>spray drying</i> . Ensaio: a) G1; b) G2; c) G3; d) G4; e) M1; f) M2; g) M3; h) M4.....	105
Figura 27 - Imagens microscópicas obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), com aumento de 4000x, das microcápsulas de polpa de feijoa produzidas com goma arábica e maltodextrina por <i>spray drying</i> . Ensaio: a) G1; b) G2; c) G3; d) G4; e) M1; f) M2; g) M3 e h) M4.	106
Figura 28 - Curvas termogravimétricas das amostras de polpa de feijoa microencapsulada com goma arábica e maltodextrina por <i>spray drying</i> . Ensaio: a) G1; b) G2; c) G3; d) G4; e) M1; f) M2; g) M3; h) M4.....	110
Figura 29 - Curvas termogravimétricas dos agentes encapsulantes empregados na microencapsulação da polpa de feijoa por <i>spray drying</i> . a) Goma Arábica; b) Maltodextrina.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis e níveis aplicados no planejamento fatorial para estudar o efeito das variáveis no estudo da secagem por atomização de polpa de feijoa.....	47
Tabela 2 - Planejamento fatorial utilizado para estudar as condições de interação entre as variáveis experimentais e os níveis aplicados na secagem por atomização de polpa de feijoa.....	47
Tabela 3 - Valores médios, mínimos e máximos e coeficiente de variação de caracteres físicos de frutos de feijoa utilizados no estudo de secagem por atomização.....	59
Tabela 4 - Valores dos parâmetros de cor CieLab e de textura de três regiões dos frutos de feijoa utilizados no estudo de secagem por atomização.....	61
Tabela 5 - Valores das características físico-químicas avaliadas nos frutos de feijoa utilizados no estudo de secagem por atomização.	65
Tabela 6 - Valores de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos frutos de feijoa <i>in natura</i>	67
Tabela 7 - Eficiência de encapsulação de compostos fenólicos totais dos ensaios realizados nas diferentes condições estudadas.....	71
Tabela 8 - Valores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) da polpa de feijoa microencapsulada de acordo com o experimento fatorial 2 ³	75
Tabela 9 - Resultados do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para as respostas de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por <i>spray drying</i>	72
Tabela 10 - Efeitos calculados para o planejamento fatorial 2 ³ , a partir das respostas de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) da polpa de feijoa microencapsulada por <i>spray drying</i>	74
Tabela 11 - Tempos de retenção (T.R.), equação de regressão e coeficientes de determinação (R ²) para cada composto fenólico identificado na polpa de feijoa microencapsulada.....	91

Tabela 12 - Valores quantificados de cada composto fenólico identificado nas microcápsulas de polpa de feijoa obtidas nos ensaios do estudo de secagem por <i>spray drying</i>	91
Tabela 13 - Valores das características físico-químicas da polpa de feijoa microencapsulada de acordo com o experimento fatorial 2 ³	93
Tabela 14 - Efeitos calculados para o planejamento fatorial 2 ³ a partir das respostas de características físico-químicas da polpa de feijoa microencapsulada por <i>spray drying</i>	97
Tabela 15 - Valores dos parâmetros de cor CieLab das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas nos ensaios do estudo de secagem por <i>spray drying</i> e das matérias-primas utilizadas para microencapsular.	100
Tabela 16 - Efeitos calculados para o planejamento fatorial 2 ³ a partir das respostas de análise de cor da polpa de feijoa microencapsulada por <i>spray drying</i>	103
Tabela 17 - Valores do tamanho das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas nos ensaios do estudo de secagem por <i>spray drying</i>	108
Tabela 18 - Valores dos parâmetros termogravimétricos de cada evento térmico das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas nos ensaios do estudo de secagem por <i>spray drying</i>	109
Tabela 19 - Parâmetros termogravimétricos de cada evento térmico dos agentes encapsulantes utilizados na microencapsulação. da polpa de feijoa no estudo de secagem por <i>spray drying</i>	112

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AA	Atividade Antioxidante
ABTS	2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
Aw	Atividade de Água
CFT	Compostos Fenólicos Totais
CLAE	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência
DE	Dextrose Equivalente
DPPH	2,2-difenil-1-picrilidrazil
DTA	Análise Térmica Diferencial
DTG	Termogravimetria Derivada
FRAP	Poder Antioxidante de Redução do Ferro
EAG	Equivalente em Ácido Gálico
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
TEAC	Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox
TROLOX	6- hidroxil-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3 REFERENCIAL TEÓRICO	24
3.1 FEIJOA.....	24
3.1.1 Aspectos Botânicos.....	24
3.1.2 Propriedades Bioativas, Funcionais e Nutricionais.....	28
3.2 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (<i>SPRAY DRYING</i>).....	31
3.3 MICROENCAPSULAÇÃO	33
3.3.1 Agentes Encapsulantes.....	35
3.3.2 Microencapsulação de Sucos e Polpas de Frutas.....	37
3.4 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	38
4 MATERIAL E MÉTODOS	40
4.1 ÁREA DE CULTIVO E COLHEITA.....	40
4.2 MATERIAIS	40
4.3 MÉTODOS	41
4.3.1 Caracterização Física dos Frutos de Feijoa	41
4.3.2 Caracterização Físico-Química dos Frutos de Feijoa.....	44
4.3.3 Despulpamento dos Frutos de Feijoa e Preparo da Amostra para Microencapsulação	45
4.3.5 Compostos Bioativos e Atividade Antioxidante	50
4.3.7 Caracterização Física das Microcápsulas de Polpa de Feijoa	54
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	57
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS FRUTOS DE FEIJOA.....	58
5.1.1 Formato, Massa e Tamanho	58
5.1.2 Cor e Textura	61
5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS FRUTOS DE FEIJOA	64
5.3 COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS FRUTOS DE FEIJOA.....	67
5.4 EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAÇÃO.....	69

5.5 ANÁLISE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS MICROCÁPSULAS DE POLPA DE FEIJOA	72
5.4 PERFIL DOS COMPOSTOS FENÓLICOS ANALISADOS POR CLAE	87
5.7 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MICROCÁPSULAS.....	93
5.8 ANÁLISE DE COR DAS MICROCÁPSULAS DE POLPA DE FEIJOA... Erro!	
Indicador não definido.	
5.5 MORFOLOGIA E TAMANHO DAS MICROCÁPSULAS.....	106
5.5 ANÁLISE TÉRMICA DAS MICROCÁPSULAS.....	108
6 CONCLUSÃO	115
REFERÊNCIAS.....	116

1 INTRODUÇÃO

A feijoa, também conhecida como goiaba-serrana, pertencente à família botânica *Myrtaceae*. É um fruto tipo baga, oval, casca espessa e dura, de coloração verde, que quando maduro visualmente é semelhante a goiaba, porém com sementes não tão duras. É aromático e possui sabor único e agradável, suavemente doce acidificado (AMARANTE; SANTOS, 2011).

Enquanto no Brasil o consumo de feijoa se limita quase que exclusivamente ao fruto *in natura* no *habitat* natural da planta, outros países têm demonstrado interesse pela cultura da feijoa, como por exemplo, a Nova Zelândia. Nesse país, o fruto se tornou tão popular que existem pelo menos 13 produtos derivados a exemplo de doces, sorvetes, espumantes, sucos e molhos (THORP; BIELESKI, 2002), com exportações para a Austrália, Japão, Cingapura, Malásia, Estados Unidos e Oriente Médio. O fruto tornou-se tão importante que há vários grupos de pesquisa que estudam suas propriedades nutritivas.

Até o momento, as pesquisas vêm apontando a feijoa como fruto de qualidade nutricional superior, rico em minerais. Pode ser considerada fonte importante de fibra, proteína e de vitamina C. Possui alta capacidade antioxidante, em especial pela presença de compostos fenólicos, como também, seus extratos apresentam atividade antimicrobiana (SOUZA, 2015).

A conservação pós-colheita dos frutos de feijoa torna-se um dos problemas para disseminação do fruto no mercado, devido ao período curto pós-colheita, limitando o tempo de oferta do fruto fresco ao mercado consumidor (MORETTO, 2014).

O período de armazenamento relativamente curto e mesmo o fruto estando na maioria dos casos com aparência externa apta para o consumo, a polpa já apresenta sinais de escurecimento e alterações no sabor e aroma (KLEIN; THORP, 1987; VELHO et al., 2011).

Tendo em vista que os frutos da feijoa amadurecem rapidamente, fato que dificulta seu armazenamento prolongado pós-colheita, a secagem por atomização torna-se uma alternativa para o aproveitamento da polpa de feijoa. Desta forma, a aplicação dessa tecnologia na conservação da polpa deste fruto é uma proposta que pode agregar sabor, aroma e valor nutricional aos

produtos alimentícios industrializados e ainda representar avanços na obtenção de ingredientes diferenciados, com aplicação em produtos alimentícios.

A desidratação por atomização, além de ser utilizada como método de conservação, objetiva também o refinamento do alimento, tendo-se como resultado a oferta de um novo produto no mercado. Este processo tem-se mostrado eficaz na obtenção de diversos produtos quando aplicado nas condições ideais (ADHIKARI et al., 2004).

2OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Microencapsular a polpa de feijoa por *spray drying* e avaliar as características antioxidantes, físicas, morfológicas e térmicas dos produtos microencapsulados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as características físicas, físico-químicas e antioxidantes dos frutos de feijoa;
- Estudar a influência da temperatura do ar de secagem, concentração e tipo de agente encapsulante sobre as características antioxidantes, físicas, morfológicas e térmicas dos produtos microencapsulados.
- Quantificar o teor dos compostos fenólicos totais e avaliar a eficiência de encapsulação destes compostos sobre a polpa de feijoa microencapsulada;
- Determinar a atividade antioxidante por DPPH, ABTS e FRAP das microcápsulas de polpa de feijoa;
- Caracterizar as microcápsulas quanto aos aspectos físico-químicos de umidade, atividade de água, solubilidade, higroscopicidade, dissolubilidade e cor;
- Avaliar a morfologia das microcápsulas por microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Verificar a degradação térmica da polpa de feijoa desidratada por termogravimetria.
- Verificar a degradação térmica da polpa de feijoa desidratada por termogravimetria.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 FEIJOA

3.1.1 Aspectos Botânicos

Acca sellowiana (O. Berg) Burret., sinônimo *Feijoa sellowiana*, pertence à família *Myrtaceae*, também conhecida popularmente por goiabeira-serrana ou goiabeira-do-mato e internacionalmente como feijoa (FANTINEL, 2014).

A feijoa é uma espécie monotípica nativa amplamente distribuída na parte sul da América do Sul (KELLER e TRESSENS, 2007). No Brasil encontra-se no planalto meridional (norte do estado do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), estendendo-se desde o norte e nordeste do Uruguai ocorrendo ainda na Argentina, porém em menor frequência (CECILIA et al., 2015; SOUZA, 2015).

Existem cerca de 20 variedades de feijoa (WESTON, 2010). Esta espécie mostra-se adaptada a condições de clima frio, como no Sul do Brasil, ocorrendo principalmente em áreas com altitudes superiores a 800 m (AMARANTE; SANTOS, 2011).

Apesar de ser nativa da Região Sul do Brasil, a maior produção está concentrada em outros países, como a Nova Zelândia, a partir de cultivares desenvolvidos com material genético obtido do Uruguai. Atualmente, países como Rússia, Nova Zelândia e Estados Unidos destacam-se na produção do fruto. No Brasil a produção ainda é inexpressiva, apesar de ser seu centro de origem (ORWA et al., 2009; SOUZA, 2015). No mapa (Figura 1) são apresentadas áreas onde o fruto é nativo e exótico.



Figura1–Regiões de disseminação da feijoa onde é nativa e exótica.
Fonte:Orwaet al., 2009.

A feijoa é uma planta de pequeno porte com 2 a 6 metros de altura, apresenta crescimento arbustivo, tronco ramificado e tortuoso (Figura 2a). Possui copa irregular com folhas de formato ovais de coloração verde-luzente na face adaxial e albotomentosas na face abaxial e apresenta folhagem persistente durante todo o ano, desenvolvendo novas folhas em todas as estações, como pode ser observado na Figura 2b (LORENZINI, 2006).

As flores são formadas por quatro pétalas carnosas de cor avermelhadas por dentro e brancas cerosas por fora, apresentando estames de cor escarlate de até 2 cm acima da flor e estigma ligeiramente engrossado (Figura 2c). Suas pétalas são comestíveis devido ao sabor adocicado, as quais podem ser destinadas ao consumo humano como decoração de pratos, saladas e produção de doces. A floração ocorre entre os meses de outubro e janeiro, no Sul do Brasil. A polinização ocorre preferencialmente por pássaros, pois os insetos menores, como as abelhas, são ineficientes devido a grande distância entre o estigma e as anteras (HICKEL; DUCROQUET, 2000).

Os frutos da feijoa são classificados como pseudofruto do tipo pomo. Possuem formato esférico à ovoide, com casca verde escura mesmo quando maduros, variando o aspecto entre lisa e rugosa (Figura 2d).

O fruto da feijoa é similar ao da goiabeira comum (*Psidium guajava* L.) em dimensões, com diâmetro entre 3 a 5 cm, comprimento de 4 a 10 cm e peso de 20 a 250 g (AMARANTE; SANTOS, 2011). Entretanto, seus frutos vêm

se destacando pelo potencial comercial devido as excelentes qualidades sensoriais que apresenta, ainda que a espécie seja pouco explorada e consumida no Brasil, de onde é nativa (DUCROQUET et al., 2000; SANTOS et al., 2011).

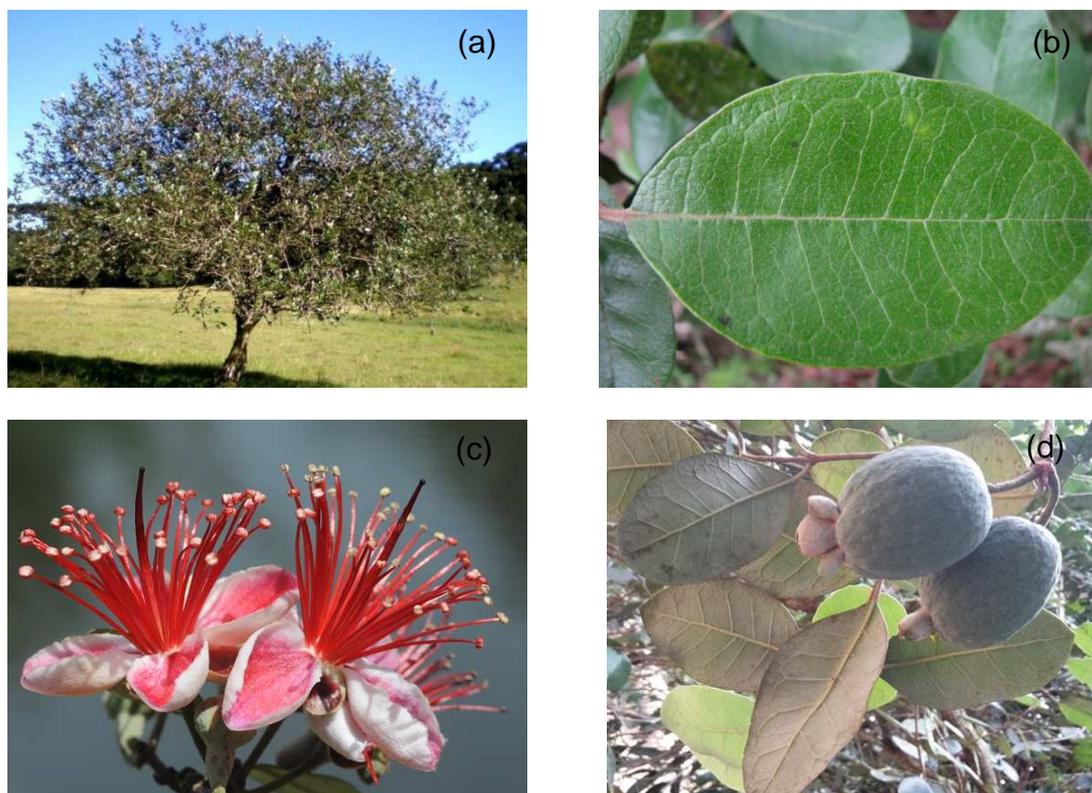


Figura2 - Aspectos botânicos da feijoa (*Acca sellowiana*): a) planta; b) folha; c) flor e d) fruto.

Fonte: Bordignon (2013); Souza (2011); Bagatini (2014) e Nunes (2015).

A polpa apresenta cor clara, macia e sabor singular doce-acidulado, com aroma característico e similar ao o sabor de outras frutas subtropicais. Somente a polpa é consumida *in natura*, uma vez que a casca apresenta sabor adstringente (CECILIA et al., 2015). A polpa em torno das sementes é suculenta e a parte mais próxima da casca é ligeiramente arenosa (Figura 3) (WESTON, 2010).



Figura3 - Corte transversal do fruto de feijoa mostrando a região interna.
Fonte: Weston (2015).

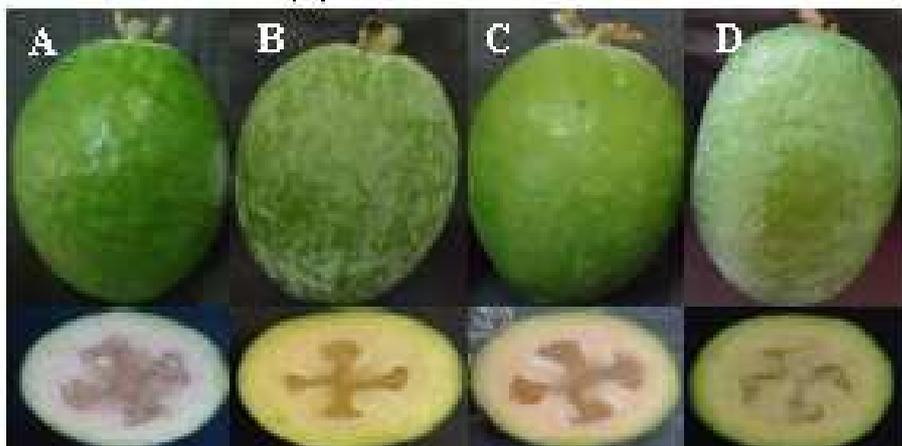
O fruto da feijoa é climatérico, apresentando elevadas taxas respiratórias e de produção de etileno e conseqüentemente rápido amadurecimento, o que dificulta a preservação da qualidade do fruto por longo período pós-colheita. A conservação em câmara fria também é limitada, correspondendo ao tempo de cerca 20 dias a 4°C, seguido de dois dias de vida de prateleira a 20 °C. O armazenamento dos frutos por períodos longos compromete sua qualidade, fazendo com que haja redução no sabor devido a redução da acidez e da concentração de sólidos solúveis, bem como nos teores de vitamina C e conseqüentemente elevada incidência de escurecimento da polpa (AMARANTE et al., 2013).

O ponto de colheita da feijoa ocorre quando o fruto se desprende da planta no período entre os meses de fevereiro e maio na região Sul do Brasil. Após a colheita, o fruto apresenta período de conservação reduzido, sendo que deve ser consumido preferencialmente em até uma semana quando armazenado em condições ambiente, ou de três a quatro semanas quando armazenados sob refrigeração. Após esse período, a perda de sabor e o escurecimento da polpa comprometem a qualidade do fruto (SOUZA, 2015).

No Brasil, as pesquisas sobre a feijoa avançaram em 2007, quando a Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A) lançou quatro cultivares brasileiras que vem pesquisando esta espécie desde 1986, sendo elas Alcântara, Helena, Mattos e Nonante, conforme apresenta a Figura 4. O objetivo foi selecionar genótipos superiores e desenvolver um sistema de produção que permita seu cultivo em escala

comercial. Além do mais, o interesse no estudo desta espécie deve-se principalmente ao potencial sensorial dos frutos (AMARANTE; SANTOS, 2011).

Vários trabalhos apontam que o consumo do fruto e dos produtos produzidos a partir dele, apresentam inúmeros benefícios a saúde humana, em especial pelo elevado valor nutricional e por sua ação antioxidante, atribuída a presença de compostos fenólicos (SOUZA, 2015).



**Figura4 - Corte transversal de quatro cultivares de feijoa: Alcântara (A), Mattos (B), Helena (C) e Nonante (D).
Fonte: Souza (2015).**

3.1.2 Propriedades Bioativas, Funcionais e Nutricionais

Os frutos de feijoa são destinados principalmente ao consumo fresco, sendo apreciados tanto pelo sabor quanto pelo aroma, que são característicos pelos teores e presença de compostos que desempenham diversas atividades biológicas (WESTON, 2010).

A feijoa possui diversas propriedades como atividade antibacteriana, atividade antioxidante, anti-inflamatória, antialérgica e imunológica, em virtude de sua composição química, principalmente devido a presença de flavonoides, que promovem a atividade imune e auxilia no controle de processos inflamatórios (BONTEMPO et al., 2007; ROSSI et al., 2007; WESTON, 2010; KELES et al., 2011).

Acca sellowiana apresenta diversos compostos bioativos e funcionais importantes, como isoflavonas, vitaminas C e E, lipídeos, fibras, minerais (fósforo, magnésio, sódio, cálcio e potássio), porém, ela tem ainda alto teor de iodo e polifenóis (WATERHOUSE et al., 2012; MONFORTE et al., 2013; BENINCÁ, 2014).

Os polifenóis são substâncias naturais encontradas em plantas, tais como flavonoides, taninos, lignanas, derivados do ácido cafeico, dentre outras. Os frutos de *Acca sellowiana* também são ricos em terpenos e saponinas. Muitas destas substâncias são classificadas como antioxidantes naturais e possuem propriedades terapêuticas, estando presentes em alimentos e plantas medicinais (BONETT et al., 2012).

Por outro lado, o valor nutricional é um dos principais fatores que leva ao aumento crescente do consumo de frutas e derivados, como polpas e sucos. Os frutos de feijoa são ricos em carboidratos, fibras, minerais, vitamina C, carotenóides, compostos fenólicos e compostos de enxofre, entre outros, e possuem ação antioxidante comprovada que contribui para manter o equilíbrio entre a produção e a eliminação de espécies reativas de oxigênio e outros compostos, reduzindo as lesões causadas pelos radicais livres nas células (MAIA, 2007).

Segundo Jorge et al. (2000), alguns tipos de metabolitos secundários têm sido isolados em espécies da família *Myrtaceae*, tais como taninos, flavonoides, óleos essenciais, álcoois sesquiterpenóides e ácidos triterpenóides. Esses compostos são muito importantes, pois permitem sua utilização na medicina popular, fabricação de extratos e óleos essenciais.

Os principais ácidos orgânicos presentes na polpa dos frutos de feijoa são ácido cítrico ($9,84\text{g}100\text{mg}^{-1}$) dando sabor ácido e levemente refrescante, ácido málico ($1,72\text{g}100\text{mg}^{-1}$) que oferece gosto azedo e fracamente adstringente e ácido succínico ($0,49\text{g}100\text{mg}^{-1}$), o qual age como aromatizante, conferindo ao fruto aroma único e bastante agradável (PARRA e FISCHER, 2013; BENINCÁ, 2014).

3.1.3 Conservação Pós-Colheita

O período pós-colheita e as condições de armazenamento influenciam na qualidade dos frutos, alterando as propriedades químicas e bioativas e também provocando o escurecimento da polpa, sendo que o aroma e o sabor são os primeiros indicativos da perda da qualidade dos frutos (SOUZA, 2015).

O tempo e as condições de armazenamento interferem no *flavour* (aroma e sabor) do fruto, sendo este o primeiro atributo que reduz. Esta redução está associada ao decréscimo da acidez titulável e dos teores de sólidos solúveis do fruto e ao escurecimento da polpa (THORP; BIELESKI, 2002).

Amarante et al. (2013), o qual avaliaram a qualidade e o potencial de conservação pós-colheita de frutos em cultivares brasileiras de feijoa, verificou que a acidez titulável e o teor de sólidos solúveis reduziram após o armazenamento refrigerado por 21 dias a 4 °C, seguidos de 2 dias a temperatura ambiente (23 °C), em frutos das cultivares brasileiras Mattos, Nonante, Helena e Alcântara.

Essas características de armazenamento se devem ao comportamento climatérico, com picos de produção de etileno e de taxas respiratórias aos 8 e 12 dias de armazenamento a 20 °C (AMARANTE et al., 2008). Outro fator, é que a ocorrência do climatério na respiração coincide com o início eminente da senescência do fruto. Assim, a feijoa deve ser comercializada em até 5 a 7 dias após a colheita em temperatura ambiente (SOUZA, 2015).

O escurecimento da polpa da feijoa é considerado grande desafio no aspecto de conservação pós-colheita e comercialização dos frutos, pois este distúrbio ocorre mesmo em armazenamento refrigerado (FISCHER et al., 2003; AMARANTE et al., 2013; BENINCÁ, 2014).

A temperatura é parâmetro importante que afeta os processos metabólicos e a velocidade de amadurecimento dos frutos de feijoa reduz proporcionalmente com a redução da temperatura (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Segundo Thorp e Bieleski (2002), o escurecimento da polpa, fator indesejável durante o armazenamento, é atribuído a ação da enzima polifenol

oxidase, sendo que a intensidade do dano depende do tempo de exposição a baixas temperaturas e também do material genético. Genótipos de feijoa com baixos níveis de atividade dessa enzima apresentam menor escurecimento interno durante o armazenamento, enquanto que o contrário também é válido.

A colheita antecipada dos frutos poderia permitir maior tempo de armazenamento, porém colher antes da maturidade ideal não permite o desenvolvimento adequado dos atributos de aroma, sabor e textura característicos do fruto, não oferecendo ao consumidor produto de qualidade. A utilização de técnicas que aumentem o tempo pós-colheita do fruto, sem a perda de substâncias e de suas qualidades, tanto químicas quanto físicas, ainda é fator de estudo (SOUZA, 2015).

No entanto, algumas pesquisas vêm sendo realizadas buscando alternativas que possam aumentar o tempo de conservação e manter a qualidade das propriedades dos frutos de feijoa no Brasil. Existem trabalhos demonstrando a existência de relação entre o escurecimento enzimático com a quantidade e qualidade de compostos fenólicos e atividade da enzima polifenol oxidase (FAN et al., 2012; AMARANTE et al., 2013; BENINCÁ et al., 2015).

Outros estudos vêm apontando que o armazenamento refrigerado contribui no potencial de armazenamento da feijoa. Outra questão para o aproveitamento da qualidade do fruto é aplicar outros tipos de técnicas, como a transformação do fruto em subproduto ou produto acabado, ou realizar a desidratação do fruto para aplicá-lo em diversos tipos de alimentos (SOUZA, 2015).

3.2 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (*SPRAY DRYING*)

A secagem por atomização é um processo de transformação de soluções ou suspensões em partículas secas, com características específicas dadas pela formulação, a partir da secagem em ar quente (RÉ, 2006; ALVES, 2014).

Este tipo de secagem geralmente é utilizada na indústria de alimentos para garantir a estabilidade microbiológica dos produtos, evitar o risco de

degradação química e biológica, reduzir os custos de armazenamento e transporte e, finalmente, obter produto com propriedades específicas, como a solubilidade instantânea (GHARSALLAOUI et al., 2007; ALVES, 2014).

A atomização pode ser usada para encapsulação quando o composto bioativo é envolvido por matriz protetora, normalmente polímeros. Inicialmente, as partículas são aspergidas pelo atomizador até a câmara de secagem, no qual entra em contato com o ar de secagem criando névoa. Nesta etapa ocorre a evaporação do solvente instantaneamente, transformando a solução em partículas sólidas que são recolhidas em separador que as mantém em movimentos cíclicos, como o ciclone, separando-as do ar da exaustão (Figura 5) (ALVES, 2014).

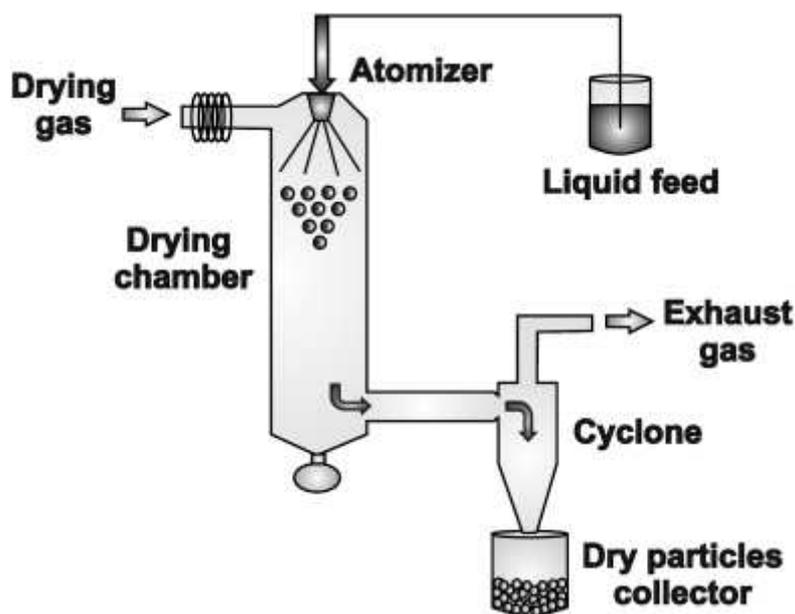


Figura5 - Esquema do fluxo do ar de secagem no *spray dryer*.
Fonte: Sosnik e Seremeta (2015).

De acordo com ALVES (2014), as características finais do produto em pó obtido em processo de secagem por atomização dependem de algumas variáveis de processo, tais como as características do líquido atomizado (teor de sólidos, tamanho das partículas, viscosidade, etc.), tipo e mecanismo de funcionamento do equipamento e as características do ar de secagem. Nesse sentido, as principais variáveis que afetam as características dos produtos obtidos em atomizador, segundo Tonon et al. (2009), são propriedades como concentração, temperatura, vazão mássica e características físico-químicas do

líquido atomizado; propriedades de velocidade, temperatura de entrada e de saída, pressão do ar de secagem; e tipo e mecanismo de funcionamento do atomizador.

3.3 MICROENCAPSULAÇÃO

A microencapsulação é uma técnica que vem sendo estudada desde a década de 30, entretanto, sua aplicação na área de alimentos foi nos anos 60, com a microencapsulação de óleos essenciais. O objetivo foi controlar a liberação do aroma, prevenir a oxidação do óleo e evitar a perda de compostos voláteis (RÉ, 2000).

Durante o seu processo alguns aspectos básicos devem ser considerados no desenvolvimento de sistemas microencapsulados, tais como a natureza e a estabilidade do material a ser encapsulado, as características do polímero encapsulante e o processo de microencapsulação (ALVES, 2014).

A técnica de encapsulação baseia-se na secagem de emulsão entre o composto a ser encapsulado e o agente encapsulante. Como resultado, obtém-se micropartículas compostas por polímero como material de parede e material ativo chamado de núcleo (SANTOS et al., 2005). Dessa forma, ocorre o aprisionamento do material ativo pelo agente encapsulante, permitindo o revestimento e formação de filme protetor (CALEFFI, 2014).

As micropartículas são subdivididas em microesferas e microcápsulas, de acordo com a sua estrutura (Figura 6). Microesferas são as partículas compactas constituídas por rede polimérica na qual a substância ativa se encontra distribuída no seu estado sólido ou molecular. Microcápsulas são as partículas constituídas por núcleo interno contendo o agente ativo recoberto por camada de polímero de espessura variável (BATYCKY et al., 1997; CALEFFI, 2014).

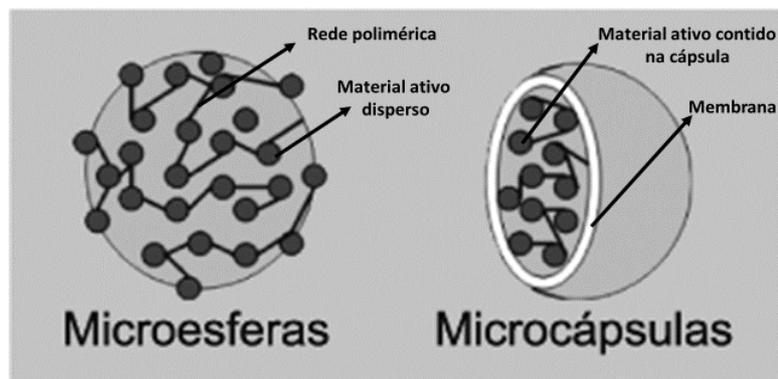


Figura6 - Ilustração esquemática de tipos de micropartículas formadas durante a microencapsulação de compostos.

Fonte: Pimentel (2007).

A definição de microcápsulas depende do tamanho da partícula, assim para serem consideradas microcápsulas, as partículas devem apresentar tamanho entre 0,2 e 500 μm . Abaixo de 0,2 μm as partículas são consideradas nanocápsulas e acima de 500 μm , macrocápsulas (RÉ, 1998; CALEFFI, 2014).

As microcápsulas podem apresentar diversas morfologias (Figura 7), como exemplo, matriz com microesferas, matriz simples, matriz simples irregular, matriz com duas paredes, matriz com vários núcleos, matriz com agrupamentos de microcápsulas, dentre outras (ARSHADY, 1993; GIBBS, 1999).

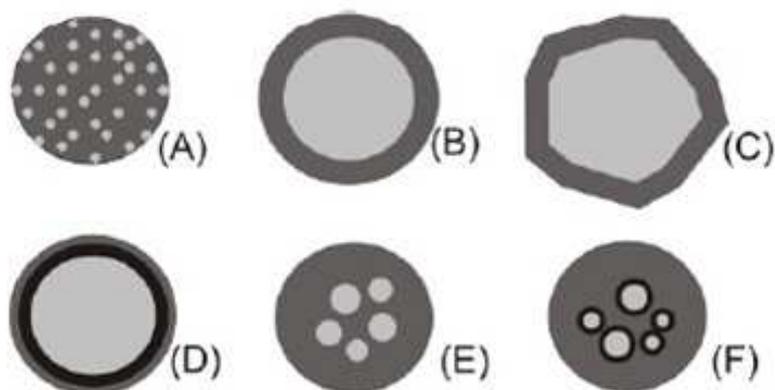


Figura7 - Morfologias de microcápsulas formadas durante a microencapsulação: (A) Microesfera, (B) Microcápsula simples, (C) Microcápsula simples irregular, (D) Microcápsula de duas paredes, (E) Microcápsula com vários núcleos e (F) Microcápsulas agrupadas.

Fonte: Arshady, 1993; Gibbs, 1999 apud Caleffi, 2014.

Os métodos empregados para caracterização morfológica das microcápsulas, assim como para avaliar o processo de microencapsulação, inclui as microscopias ótica e eletrônica de varredura, as quais avaliam as estruturas gerais, tanto externas quanto internas, além de medir a distribuição de tamanho e do material encapsulado. A análise térmica, a cromatografia e os métodos espectroscópicos avaliam a composição da parede e do recheio, o comportamento de liberação pelas mudanças de peso, rendimento e atividade do encapsulado, entre outros (SANTOS; FERREIRA; GROSSO, 2001).

3.3.1 Agentes Encapsulantes

O primeiro passo do processo de microencapsulação é selecionar o agente encapsulante adequado. Um dos principais fatores que influenciam na estabilidade de compostos encapsulados é a natureza do material encapsulante (ALVES, 2014).

Os principais requisitos de uma boa matriz encapsulante são: baixa higroscopicidade para facilitar a manipulação durante o processo e evitar a aglomeração; baixa viscosidade e altas concentrações de sólidos; habilidade para dispersar ou emulsificar e estabilizar o material do núcleo; não reatividade com o núcleo; boas propriedades de formação de filme; liberação completa do solvente ou outros materiais utilizados durante o processo de encapsulação; máxima proteção ao núcleo contra condições adversas como luz, pH e oxigênio; ausência de sabor ou odor desagradável, e ser de baixo custo (MOREIRA, 2007; ALVES, 2014).

O material encapsulante também deve ser resistente o suficiente para manter suas funções de proteção e liberação de substâncias, sem que haja degradação da micropartícula no veículo em que se encontra, permanecendo viável até sua aplicação (ALVES, 2014).

3.3.1.1 Maltodextrinas

As maltodextrinas são polímeros de glicose obtidos a partir da hidrólise parcial do amido, apresentando em sua estrutura unidades de D-glicose unidas a ligações glicosídicas $\alpha(1-4)$, tendo a fórmula geral igual a $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$ (FENNEMA, 2010).

As maltodextrinas são caracterizadas por sua dextrose equivalente (DE). A dextrose equivalente é o número de unidades de α -D-glicose anidro, ligada ao grau de polimerização. Assim, quanto menor a DE, apresenta propriedades de amido, enquanto que, quanto maior a DE, apresenta características de dextrose (TONON, 2009; PAGANI, 2010).

As maltodextrinas comumente utilizadas como agentes para a microencapsulação na indústria de alimentos apresentam DE entre 10 e 20 (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Uma das vantagens da maltodextrina é sua capacidade de microencapsular tanto componentes hidrofílicos como hidrofóbicos (KILMARTIN et al., 2004; ELNAGGAR et al., 2010; SANSONE, 2011; ALVES 2014).

Maltodextrinas possuem propriedades de formação de filme, protegendo o composto ativo e reduzindo a permeabilidade ao oxigênio da matriz da parede. No entanto, a sua baixa temperatura de transição vítrea, a formação de cristais sob o aumento da temperatura pode induzir a ruptura da integridade estrutural da matriz e produzir aglomerados de micropartículas de pó. Como resultado, a liberação de ativos encapsulados e processo de degradação ou oxidação pode ocorrer durante o período de armazenamento (BAE e LEE, 2008; DRUSCH et al., 2006; SANSONE, 2011; ALVES, 2014).

A eficácia de maltodextrinas na técnica de secagem por atomização é devido à propriedade encapsulante e à baixa difusividade de umidade. A utilização deste agente encapsulante pode promover melhor manuseio do produto obtido, conferindo maior proteção contra a adsorção de umidade do ambiente, tornando o produto menos higroscópico (ADHIKARI et al., 2004; BARBOSA, 2010; ALVES, 2014).

3.3.1.2 Goma-Arábica

A goma arábica é um heteropolissacarídeo complexo que apresenta estrutura ramificada com cadeia principal formada por unidades de D-galactopiranosose unidas por ligações β -D-glicose(1-3) (SOUZA et al., 2015).

Apresenta-se como excelente encapsulante devido às suas propriedades de emulsificação, devido as frações de proteínas e lipídios em sua estrutura molecular. Possui também formação de película, baixa viscosidade e alta solubilidade em água. A goma arábica é inodora, incolor, insípida e não afeta o odor, cor e sabor do sistema ao qual é adicionada (YADAV et al., 2007; ALVES, 2014).

A goma arábica é uma goma neutra ou levemente ácida e muito utilizada devido a sua alta solubilidade em água, baixa viscosidade em solução, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e alta estabilidade oxidativa conferida ao núcleo. Pode ser utilizada em solução com a concentração de até 50%, sendo que acima dessa concentração a dispersão apresenta características de gel (CALEFFI, 2014).

3.3.2 Microencapsulação de Sucos e Polpas de Frutas

Yuyama (2016) realizou a microencapsulação da polpa de camu-camu (*Myrciaria dubia*) pelo método de *spray drying*, usando dextrinas como material de parede em três formulações. O microencapsulado com maltodextrina comercial obteve alta taxa de retenção de compostos fenólicos e teor alto de vitamina C. O pó microencapsulado com dextrina málica obteve o menor teor de compostos bioativos. O pó microencapsulado com dextrina lactato obteve os maiores teores de vitamina C e atividade antioxidante.

Oliveira et al., (2013) avaliaram o efeito de diferentes agentes carreadores (Maltodextrina 5 DE, Maltodextrina 10 DE, Goma arábica e Capsul) nas características físico-químicas (umidade, densidade, solubilidade, teor de antocianinas e atividade antioxidante) da polpa de morango desidratada

por atomização. A amostra produzida com goma arábica apresentou maior concentração de antocianinas e, conseqüentemente, maior atividade antioxidante. Os resultados obtidos indicaram que a goma arábica foi o agente carreador mais adequado para a produção de polpa de morango em pó.

Caleffi (2014) microencapsulou polpa de amora-preta (*Rubus* spp.), quantificando antocianinas, compostos fenólicos e caracterizando a cor resultante dos produtos obtidos.

Santos (2015) desidratou polpa de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) e avaliou quanto ao teor de compostos fenólicos totais, flavonoides totais, taninos condensados, potencial antioxidante, vitamina C, β -caroteno, teores de açúcares (frutose, glicose, sacarose), perfil de minerais e compostos voláteis. Os resultados demonstraram influência dos métodos de conservação (congelamento e atomização), considerando o método de secagem por *spray drying* de melhor performance, quando comparado a técnica de congelamento, com maiores teores de compostos fenólicos totais, flavonoides totais e taninos condensados, contribuindo para aumento do potencial antioxidante.

3.4 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

O efeito antioxidante dos compostos fenólicos pelo do consumo de alimentos funcionais se deve à atividade de eliminação direta de radicais livres presentes no organismo, prevenindo o dano oxidativo nos sistemas celulares de acordo com a estrutura química e concentração dos compostos fenólicos nos alimentos (SHAHIDI, 2004; MELO et al., 2008; CECILIA et al., 2015).

Entre os compostos de interesse nutricional, os polifenóis, produtos secundários do metabolismo das plantas, constituem grupo grande e complexo de fitoquímicos com mais de 8.000 estruturas conhecidas (BRAVO, 1998; MARTÍNEZ-VALVERDE et al., 2000). A capacidade antioxidante dos polifenóis deve-se principalmente às suas propriedades redutoras, que por sua vez conferem efeito benéfico na prevenção de doenças cardiovasculares, circulatórias, cancerígenas e neurológicas (RICE-EVANS et al., 1997; ISHIGE et al., 2001; KATSUBE et al., 2003).

Neste sentido, espécies nativas como a feijoa, que apresentam propriedades nutracêuticas e sensoriais como cor, sabor e aroma, constituem recurso genético promissor que pode ser explorado comercialmente (AMARANTE et al., 2008; CECILIA et al., 2015).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE CULTIVO E COLHEITA

Para o estudo foram coletados aproximadamente 250 frutos em abril de 2017, oriundos de 9 matrizes de feijoa (*A. sellowiana*), plantas com código 28.12 do Banco Ativo de Germoplasma da Epagri de São Joaquim. Os frutos foram pré-selecionados pela uniformidade de tamanho, cor e ausência de danos mecânicos ou biológicos aparentes.

Todos os frutos foram colhidos no mesmo dia em pomar experimental particular estabelecido no município de Água Doce, do estado de Santa Catarina, localizado a latitude de 26°52'15.6"S, longitude de 51°32'26.0" W e altitude de 1250 m.

Segundo a classificação climática de Köppen e Geiger, o clima da região é Cfb (clima subtropical húmido com verão temperado), com temperatura média anual de 16,7 °C e 1860 mm de pluviosidade média anual (ALVARES et al., 2013).

O plantio, manutenção e cultivo das plantas de *Acca sellowiana* no pomar teve início em 2005, sendo composto por espécies que foram delineadas em blocos ao acaso com 3 repetições e uma planta por porta-enxerto, as quais eram codificadas em função da distribuição no campo e separadas em blocos.

Para o estudo, foram colhidos frutos de matrizes pertencentes à mesma cultivar, em estágio de maturação adequada, ou seja, se despreendendo da planta com leve toque da mão ou chacoalhando levemente a planta conforme descrito por Santos (2009).

4.2 MATERIAIS

Os frutos de feijoa, depois de colhidos, foram encaminhados ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos da UTFPR – Campus Pato Branco, onde foram selecionados, higienizados, enxaguados e secos com papel toalha. Em seguida, os frutos foram acondicionados em sacos plásticos e mantidos sob refrigeração até a caracterização biométrica e físico-química dos frutos seguido de despulpamento.

Para a microencapsulação da polpa de feijoa foi utilizado maltodextrina (20 DE) da marca Daxia e goma arábica da marca Merk como agentes encapsulantes.

4.3 MÉTODOS

4.3.1 Caracterização Física dos Frutos de Feijoa

Considerou-se, na caracterização externa do fruto, a massa, textura, coloração da casca, tamanho e formato do fruto. Para o estudo das estruturas internas, foram efetuados cortes transversais nos frutos, verificando-se as estruturas da polpa, esta formada pelo parênquima e lóculos (cavidade do fruto que contém as sementes). Na caracterização interna do fruto foi realizado os testes de massa, textura e cor da polpa.

As caracterizações biométricas foram estudadas em três regiões dos frutos conforme descritos na Figura 8, em que a epiderme representa a casca externa do fruto. O parênquima é a porção da casca no interior e a polpa representada pelos lóculos e sementes.

Para os testes de caracterização física foram utilizados 10 frutos coletados aleatoriamente

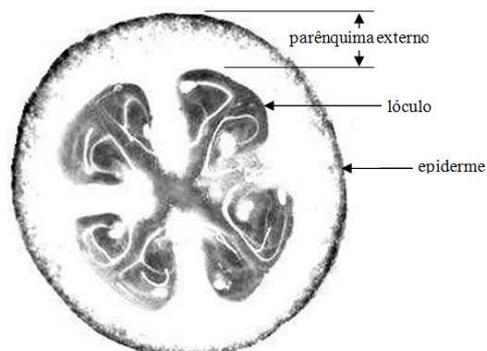


Figura8 - Regiões de caracterização dos frutos de feijoa.
Fonte: Brasil (2008).

4.3.1.1 Massa

Determinada pela pesagem individual de cada fruto, em gramas, em balança analítica com precisão de 0,001 g (AUW320, Shimadzu, Barueri). Foram utilizados 10 frutos (coletados aleatoriamente) e determinada a Massa do fruto (MF) - massa individual do fruto; Massa da casca (MC) - massa individual da casca de cada fruto depois de retirada a polpa; e Massa da polpa (MP) – obtida pela diferença entre a massa total e a massa da casca de cada fruto. Em seguida, obteve-se o rendimento (polpa + semente em relação a massa total do fruto inteiro) pela Equação 1, conforme descrito por Donazzolo (2012).

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{(MF-MC)}{MF} \times 100 \quad (1)$$

4.3.1.2 Tamanho e Formato

Determinado pela da medição dos diâmetros longitudinal e transversal do fruto, medidos com paquímetro. Obteve-se assim, a relação comprimento/diâmetro, ou seja, razão entre o maior comprimento longitudinal e

o comprimento transversal (largura), medidos em centímetros (DANAZZOLO, 2012). O teste foi realizado em triplicata utilizando 10 frutos.

Os frutos também foram analisados de acordo com o seu formato seguindo as classificações conforme consolidados pelo MAPA (BRASIL, 2008) (Figura 9).

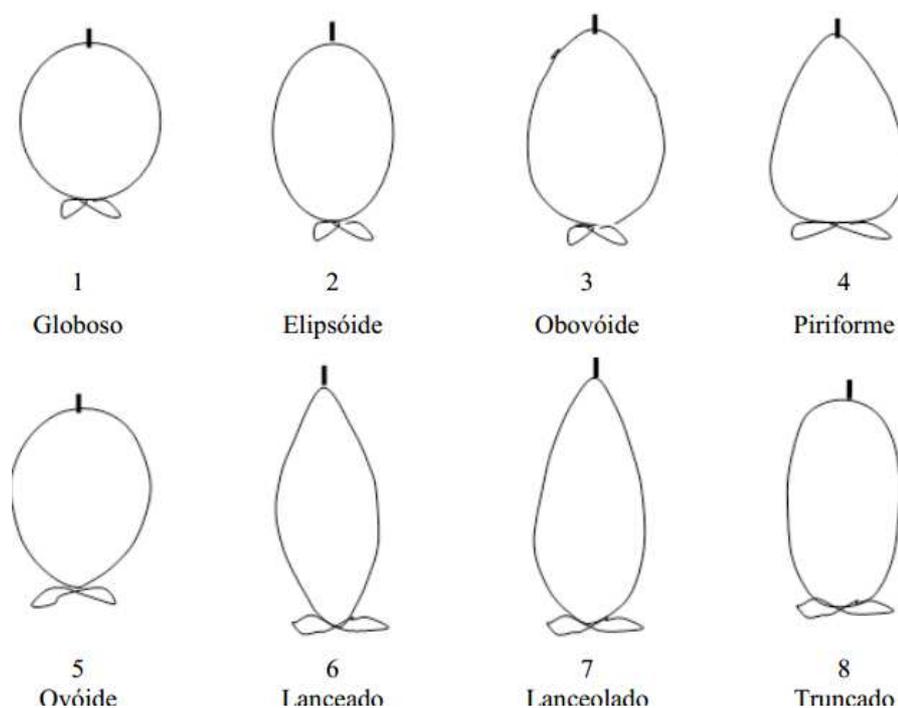


Figura9 - Formatos de frutos de feijoa segundo descritores para a espécie.
Fonte: Brasil, 2008.

4.3.1.3 Atributos de Textura

A textura foi determinada como a força máxima (N) necessária para a sonda penetrar o fruto (CASTELLANOS, POLANÍA e HERRERA; 2016).

Para a quantificação da força para penetração do fruto, foi utilizado um analisador de textura eletrônico (TA-XT, Stable Micro Systems) com sonda de teste de 2 mm de diâmetro. A textura foi medida no fruto com a casca (epiderme), pela força transversal submetida; no parênquima externo, por leve corte longitudinal para retirada da casca; e na polpa do fruto; onde foram cortados ao meio e realizada três medidas na região equatorial de cada fruto. A

ponteira foi introduzida a 10 mm de profundidade, com velocidade pré-teste, teste e pós-teste de 2mms^{-1} . O teste foi realizado em triplicata utilizando 10 frutos selecionados.

4.3.1.4 Colorimetria

A análise da cor foi determinada utilizando colorímetro (CR-400, Konica Minolta). O aparelho foi ajustado para operar com iluminante D_{65} e o ângulo de 10° para o observador, previamente calibrado. A escala de cor CIELab foi usada para medir os parâmetros L^* , a^* e b^* . Na escala CIELab, o parâmetro L^* varia de 0 a 100, indicando variação de cor do preto ao branco. O parâmetro a^* indica a variação do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$), enquanto o b^* pode variar do amarelo ($+b^*$) ao azul ($-b^*$) (CALEFFI, 2014). A partir desses parâmetros, foi calculado o ângulo de tonalidade (h^*) (Equação 2), e o índice de saturação cromática (C^*) calculada mediante a Equação 3.

$$h^* = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (2)$$

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})} \quad (3)$$

4.3.2 Caracterização Físico-Química dos Frutos de Feijoa

As análises para a caracterização físico-química dos frutos de feijoa foram pH, sólidos solúveis totais, acidez total titulável e ácido ascórbico. As análises foram realizadas a partir de metodologias reconhecidas e preconizadas pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

A determinação do pH foi realizada por medição direta em potenciômetro (Tecnal, Tec-5, Piracicaba) calibrado.

Sólidos solúveis totais foram determinados utilizando um refratômetro digital (PAL-1, Atago, Japão), com compensação automática de temperatura, sendo os valores expressos em °Brix.

Os valores de acidez total titulável foram obtidos por titulometria de 10 mL de suco diluídos em 90 mL de água destilada, com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 N, empregando fenolftaleína como indicador, até obtenção de pH 8,1. Os resultados foram expressos em concentração percentual de ácido cítrico.

O conteúdo de vitamina C foi determinado por iodometria em titulação volumétrica de 20 g de polpa diluídos em 100 mL de água destilada, utilizando iodo 1% como indicador. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de fruto.

4.3.3 Despolpamento dos Frutos de Feijoa e Preparo da Amostra para Secagem por Atomização

O processo para extração da polpa de feijoa foi realizado manualmente com secção transversal no fruto e com auxílio de uma colher para a separação da polpa + sementes e da casca. A parte polposa foi acondicionada em sacos de polietileno hermético, em seguida armazenada em ultrafreezer (IULT 2005D, Indrel Scientific) à temperatura de -40 °C, sendo descongelada de acordo com a necessidade para cada ensaio.

Para o preparo da amostra a ser microencapsulada, a polpa de feijoa foi descongelada em geladeira (4-5 °C) por 18 horas, em seguida, triturada em mini processador de alimentos. Posteriormente, a polpa passou por peneira em aço inox para obter a polpa sem sementes e mais refinada. Afim de eliminar os sólidos em suspensão e para uniformizar as partículas, a polpa de feijoa foi filtrada em tecido Morim branco.

A polpa de feijoa utilizada nos experimentos foi preparada a partir da extração da polpa de fruta integral e sem adição de água. O preparo da mistura a ser encapsulada consistiu em diluir o agente encapsulante em água destilada a 80 °C sob contínua agitação. O volume de água utilizada para diluir o agente

foi na proporção de 1:1 (polpa:água+agente) a ser microencapsulada. Após resfriamento, a solução foi adicionada à polpa de feijoa lentamente, permanecendo em constante agitação por 5 min. As concentrações de agentes encapsulantes adicionadas variaram de acordo com a Tabela 2, dependendo da condição estudada. Depois de realizado esse procedimento, as amostras seguiram para a secagem por atomização em *spray dryer*.

4.3.4.2 Secagem por Atomização

Para a secagem e microencapsulação da polpa de feijoa foi utilizado um mini *spray dryer* (B-290, Buchi, Flawil-Suíça), com capacidade evaporativa de 1 Lh^{-1} de água (Figura 10). O processo foi conduzido em fluxo co-corrente, utilizando-se um atomizador duplofluido de 0,7 mm de diâmetro, fluxo de ar máximo de secagem de $35 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ (o que equivale a 100% da capacidade máxima do aspirador), fluxo de ar comprimido de 473 Lh^{-1} e pressão relativa de atomização de 7 bar. A alimentação do secador foi realizada à temperatura ambiente sob agitação constante, por uma bomba peristáltica, utilizando-se 20% da sua velocidade máxima, o que correspondeu a uma vazão volumétrica média de 200 mLh^{-1} .



Figura10 - Equipamento mini *spray dryer* de bancada utilizado nas secagens das amostras de feijoa.

Fonte: Autoria própria.

A dispersão alimentadora do *spray dryer* foi mantida sob agitação constante até o final do processo de secagem em agitador de bancada.

Para avaliar as condições de secagem por atomização foi utilizado um planejamento fatorial 2^3 simples (Tabela 1), totalizando-se 8 ensaios (Tabela 2), para verificar os efeitos das variáveis independentes como temperatura do ar de secagem (90 e 150 °C), concentração de agente encapsulante (10 e 30%) e tipo de agente encapsulante (GA = Goma Arábica e MD = Maltodextrina).

Tabela 1 - Variáveis e níveis aplicados no planejamento fatorial para estudar o efeito das variáveis no estudo da secagem por atomização de polpa de feijoa.

Variáveis		Níveis	
		(-1)	(+1)
X1	Temperatura de secagem (°C)	90	150
X2	Concentração agente encapsulante (%)	10	30
X3	Agente encapsulante	GA	MD

GA: Goma Arábica; MD: Maltodextrina.

Tabela 2 - Planejamento fatorial utilizado para estudar as condições de interação entre as variáveis experimentais e os níveis aplicados na secagem por atomização de polpa de feijoa.

Experimentos	Variáveis Codificadas			Variáveis Reais		
	X ₁	X ₂	X ₃	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Agente Encapsulante
	1	-1	-1	-1	90	10
2	+1	-1	-1	150	10	GA
3	-1	+1	-1	90	30	GA
4	+1	+1	-1	150	30	GA
5	-1	-1	+1	90	10	MD
6	+1	-1	+1	150	10	MD
7	-1	+1	+1	90	30	MD
8	+1	+1	+1	150	30	MD

GA: Goma Arábica; MD: Maltodextrina.

Após a secagem por atomização, as amostras em pó foram armazenadas em potes herméticos revestidos de papel alumínio para não haver degradação de compostos pela luminosidade, até o momento da realização das análises.

No presente trabalho, considerando 120 °C como temperatura média, variou-se a temperatura de secagem para ± 30 °C, tomando como base o trabalho de Santos et al. (2014) que realizaram a microencapsulação por *spray drying* de polpa de goiaba (*Psidium guajava*) utilizando a temperatura do ar de secagem de 120 °C, e por acreditar que ambas as frutas pertencem à mesma família (Myrtaceae) e possuem algumas semelhanças físicas.

No mesmo sentido, foram seguidas as mesmas concentrações de agente encapsulante para o estudo da secagem por atomização da polpa de feijoa com base no trabalho de Tonon et al. (2009) os quais estudaram a influência da temperatura do ar de secagem e da concentração do agente encapsulante (10, 20 e 30%) maltodextrina na secagem do suco de açaí por *spray drying*. Silva (2012) também utilizou as concentrações de 10 a 30% de agente carreador na atomização do extrato aquoso obtido do resíduo do despulpamento da jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*), pertence à mesma família da feijoa.

4.3.4.3 Eficiência da Encapsulação (%)

A eficiência da encapsulação foi considerada a relação existente entre a quantidade de compostos fenólicos que foram microencapsulados (presentes na parte interna das micropartículas) e a quantidade de compostos fenólicos não encapsulados (presentes na superfície das microcápsulas) (CALEFFI, 2014).

O experimento para eficiência da encapsulação foi dividido em duas etapas, sendo a primeira a de extração dos compostos fenólicos que não foram microencapsulados e a segunda etapa a ruptura das micropartículas, para quantificação dos compostos fenólicos que nelas estavam contidos.

A eficiência de encapsulação foi calculada usando a Equação 4, descrita por SELAMAT; MUHAMAD; SARMIDI, 2009:

$$\text{Eficiência de encapsulação (\%)} = \frac{(FT - FS)}{FT} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

FT: é a quantidade de compostos fenólicos encapsulados presentes no núcleo das microcápsulas;

FS: é a quantidade de compostos fenólicos não encapsulados presentes na superfície das microcápsulas.

4.3.4.4 Extração dos compostos fenólicos encapsulados e não encapsulados

Para extrair os compostos fenólicos encapsulados presentes no núcleo das micropartículas foi realizada a metodologia de ruptura das microcápsulas, em que 0,5 g de amostra em pó de cada experimento foi adicionado de 15 mL de metanol 80% (v/v) acidulado (0,1% de HCl concentrado). Em seguida os tubos foram agitados em vórtex (Phoenix, São Paulo, Brasil) por 2 min, sonificados (CUBA2.5-25, Sppencer, São Paulo, Brasil) por 15 min, então a mistura foi centrifugada (Novatecnica NT 825, São Paulo, Brasil) a 6000 rpm durante 5 min (SOUZA, 2013). Imediatamente, foi quantificado o teor de compostos fenólicos em espectrofotômetro UV (item 4.3.5.3). O resultado obtido foi utilizado para cálculos da eficiência da encapsulação pela Equação 4.

Para extrair os compostos fenólicos não encapsulados localizados nas superfícies das microcápsulas foram dissolvidos 0,2 g da polpa de feijoa microencapsulada em 2,0mL de etanol 80%. A mistura foi agitada em vórtex (Phoenix, São Paulo, Brasil) e centrifugada (Novatecnica NT 825, São Paulo, Brasil) a 6000 rpm durante 2 minutos (CALEFFI, 2014; PEREIRA, 2015). Em seguida foi quantificado o teor de compostos fenólicos do sobrenadante em espectrofotômetro UV (item 4.3.5.3). O resultado obtido foi utilizado para cálculos da eficiência da encapsulação pela Equação 4.

4.3.5 Compostos Bioativos e Atividade Antioxidante

4.3.5.1 Preparo dos extratos metanólicos da polpa de feijoa *in natura* e microencapsulada

O extrato da polpa de feijoa *in natura* foi preparado utilizando 3 g dessa polpa liofilizada em 30 mL de metanol 80% (v/v), metodologia adaptada de Murakami et al. (2011) e Nunes (2014). Após 30 minutos a 60 °C em banho – maria, o extrato foi filtrado e utilizado nas análises de compostos fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante.

Para a preparação de polpa de feijoa desidratada por atomização, as microcápsulas passaram por processo de rompimento para a liberação dos compostos bioativos (item 6.3.4.5)(Figura 11). Para este extrato utilizou 0,5 g de microencapsulado adicionado de 15 mL de metanol 80% (v/v)(SOUZA, 2013). Em seguida, os extratos foram utilizados para a determinação dos compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.



Figura11–Solução metanólica depolpa de feijoa microencapsulada utilizada nas análises de compostos fenólicos e atividade antioxidante: (A) Antes da ruptura das microcápsulas; (B). Após a ruptura das microcápsulas.

Fonte: A autoria própria.

4.3.5.2 Teor de Flavonóides

A concentração de flavonoides totais foi determinada pelo método descrito por Park et al. (1998). A solução de polpa de feijoa após o rompimento das microencapsulas foi transferida para tubo de ensaio e adicionados 4,3 mL de etanol a 80%, 0,1 mL de acetato de potássio 1 molL^{-1} e 0,1 mL de nitrato de alumínio. Foi realizada a leitura da absorvância à 415 nm. Tubos em branco foram conduzidos nas mesmas condições, sem adição de nitrato de alumínio. Foi construída uma curva analítica e os resultados foram expressos em mg quercetina g^{-1} de amostra (DOWD, 1959).

4.3.5.3 Teor de Compostos Fenólicos

A determinação de compostos fenólicos foi realizada em triplicata pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocateau, descrito por Singleton et al. (1999), utilizando ácido gálico como padrão. As soluções de polpa de feijoa microencapsuladas foram transferidas para tubos de ensaio e adicionados 2,5 mL do reagente de Folin-Ciocateau (1:10). A reação ficou em repouso por 5 minutos para então ser adicionado 2,0 mL de solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) 4% e deixados em repouso por 2 h ao abrigo da luz à temperatura ambiente. Após 2 horas, foi realizada a leitura da absorvância à 740 nm. Um teste em branco foi conduzido nas mesmas condições. A quantidade total de fenóis de cada solução foi quantificada por uma curva analítica e os resultados foram expressos em mgEAG g^{-1} de feijoa (SINGLETON e ROSSI, 1965).

4.3.5.4 Método de captura do radical DPPH*

A medida da atividade sequestrante do radical DPPH* foi realizada em referência ao Trolox de acordo com a metodologia descrita por Brand-Williams;

Cuvelier; Berset (1995). Para avaliação da atividade antioxidante alíquotas de 500 μL das diluições das soluções de polpa de feijoa microencapsulada foram adicionadas a 3 mL de etanol P.A e à 300 μL da solução de DPPH (0,5mM). Na forma de radical, o DPPH^{*} possui absorção característica a 517 nm em 30 min de reação. Os tubos foram mantidos na ausência de luz. O branco específico da amostra foi determinado usando etanol absoluto e a amostra. O controle negativo foi conduzido nas mesmas condições, porém sem adição do DPPH e com volume de 3,3 mL de etanol P.A. Foi construída uma curva analítica padrão de Trolox, composto sintético hidrossolúvel estruturalmente similar à Vitamina E, que é lipossolúvel. Os resultados referentes às amostras foram expressos em μmol de TEAC g^{-1} de amostra.

4.3.5.5 Método de inibição do radical ABTS^{•+}

A determinação da capacidade de sequestrar o radical ABTS^{•+} foi determinada seguindo o método descrito por Re et al. (1999). A geração do radical ABTS^{•+} ocorre a partir da reação da solução aquosa de ABTS (7 μmol) com persulfato de potássio 140 mM. Esta solução foi mantida ao abrigo da luz, em temperatura ambiente por 16 h e em seguida, diluída em etanol até obter, em comprimento de onda de 734 nm, uma medida de absorbância. As soluções metanólicas de polpa de feijoa microencapsulada foram adicionados a solução do ABTS e a absorbância registrada, em comprimento de onda de 734nm, após 6 minutos de repouso. A capacidade antioxidante das amostras foi calculada em relação à atividade do antioxidante sintético Trolox, nas mesmas condições, e os resultados expressos em μmol TEAC g^{-1} .

4.3.5.6 Método de redução do íon férrico (FRAP)

A determinação da atividade antioxidante pelo método de redução do ferro (FRAP) foi realizada pela metodologia descrita por Kukic et al.

(2008) modificada. O reagente FRAP foi preparado no momento da análise, pela mistura de 25 mL de tampão acetato (300 mM, pH 3,6), 2,5 mL de solução TPTZ (10 mM TPTZ em 40 mM HCl) e 2,5 mL de FeCl_3 (20mM) em solução aquosa. As soluções de polpa de feijoa microencapsulada foram adicionados a 3 mL do reagente FRAP e incubadas a 37 °C em banho-maria por 30 minutos. As absorbâncias foram medidas após esse tempo e o espectrofotômetro zerado com a solução FRAP. Foi construída uma curva de calibração com sulfato ferroso (200-2000 μM) e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol Fe}^{2+} \text{mg}^{-1}$.

4.3.6 Análise de compostos fenólicos por CLAE

As análises de caracterização cromatográfica foram realizadas em cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) Varian 820LC com detector de arranjo de fotodiodos (PDA), composto por bombas quaternárias, um sistema de autoinjeção. Para tanto, se utilizou as soluções de polpa de feijoa microencapsulada após o rompimento.

Foram utilizados nove padrões analíticos (ácido gálico, ácido cafeico, ácido siríngico, ácido trans-cinâmico, ácido cumárico, catequina, epicatequina, rutina e quercetina) para identificação e quantificação de ácidos fenólicos e flavonoides nas amostras.

A fase móvel foi constituída de uma mistura de solução de ácido acético 95% (eluente A) e acetonitrila 5% (eluente B) em modo isocrático. O programa Galaxie foi utilizado para o controle da autoinjeção (volume injeção de 10 μL com fluxo de 1 mLmin^{-1} e tempo de corrida de 47 minutos), para os arranjos de diodo e obtenção dos dados. A coluna utilizada foi C18 fase reversa (Varian 4,6 x 250 mm), mantida a temperatura de 31°C.

4.3.7 Caracterização Físico-Químicas das Microcápsulas de Polpa de Feijoa

4.3.7.1 Umidade

O teor de umidade foi verificado gravimetricamente utilizando metodologia oficial de análise AOAC (1984), a qual se baseia na determinação do peso seco obtido pela secagem em estufa a 105 °C por 24 horas.

4.3.7.2 Atividade de Água

A atividade de água das microcápsulas foi medida utilizando um Analisador de Atividade Água (LabMaster, Novasima), após prévia estabilização das amostras a 25 °C durante 15 minutos.

4.3.7.3 Solubilidade

A solubilidade foi determinada segundo o método descrito por Eastman e Moore (1984) e modificado por Cano-Chauca et al. (2005), onde 1 g do pó da polpa de feijoa microencapsulada foi adicionada em 100 mL de água destilada, em béquer, em agitador magnético por 5 min. A solução foi transferida para tubo Falcon e centrifugada a 2600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri previamente pesada e submetida a secagem em estufa por 5 h a 105°C. O percentual de solubilidade foi calculado de acordo com a Equação 5.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{MS}{MT} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

MS = Massa de pó no sobrenadante após a secagem;

MT= Massa de pó total.

4.3.7.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada conforme a metodologia descrita por Cai e Corke (2000) e Fritzen-Freire et al. (2012). Aproximadamente 1 g de amostra foi colocada em placa previamente pesada em dessecador, contendo solução saturada de NaCl (cloreto de sódio) com umidade relativa de 75,3%. O peso da placa foi determinado após 7 dias e a higroscopicidade foi expressa como a massa de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra durante este tempo (Equação 6).

$$\text{Higroscopicidade (\%)} = [(MF - MI) - MP] \times 100 \quad (6)$$

Onde:

MF= massa final da placa após 7 dias;

MI = massa inicial da placa com a amostra em pó;

MP = massa da placa.

4.3.7.5 Dissolubilidade

O teste de dissolução foi realizado com a adição de 1 g de amostra em 25 mL de água destilada (EL-TINAY; ISMAIL, 1985). As amostras foram agitadas em agitador magnético com barra magnética e o tempo determinado pela completa dissolução das microcápsulas (NUNES, 2014). O tempo foi expresso em segundos.

4.3.8 Colorimetria das Microcápsulas

A determinação da cor das microcápsulas foi realizada em triplicada conforme o item 4.3.1.4.

4.3.9 Morfologia e Tamanho das Microcápsulas

A morfologia e o tamanho das microcápsulas foram observados em microscópio eletrônico de varredura (MEV) (TM3000, HITACHI). A preparação das amostras consistiu em fixar diretamente as partículas dos pós em fita metálica adesiva de dupla face que, em seguida, foram colocadas no MEV. As diferentes microcápsulas produzidas também foram avaliadas com relação ao seu tamanho de partícula, onde foi determinado o diâmetro das microcápsulas para calcular seu tamanho (KRASAEKOOPT; BHANDARI; DEETH, 2004; NUNES, 2014).

4.3.10 Análise Térmogravimétrica

As curvas termogravimétricas foram obtidas em Analisador Termogravimétrico (SDT Q600, Waters). As amostras foram pesadas (7 mg) em balança analítica e acondicionadas em micro-cadinhos de alumínio pré-tarados na termobalança. A análise foi realizada sob atmosfera de nitrogênio (100 mL min^{-1}) e as amostras foram aquecidas entre 30 e 600 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C min^{-1} (MULLER, 2011; NUNES, 2014).

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as determinações foram realizadas em triplicata e os dados avaliados estatisticamente considerando o nível de significância de 95% ($p < 0,05$), utilizando os programas STATISTICA versão 12.0 (StatSoft, USA), ASSISTAT versão 7.6 e SPSS Statistics versão (64 Bit) 20.

Foi utilizado um arranjo experimental para estudar o processo de encapsulação da polpa de feijoa aplicando o planejamento fatorial 2^3 representado por três fatores com dois níveis em cada um: X1 – temperatura (90 e 150 °C), X2 – concentrações do agente (10 e 30 %) e X3 - tipo de agente encapsulante (goma arábica e maltodextrina).

Todos os tratamentos foram submetidos avaliação dos dados quanto ao ajuste à distribuição da normalidade. Foi aplicado o teste Shapiro-Wilk devido ao tamanho amostral (entre 4 e 30 casos).

O teste de Bonferroni de comparação múltipla por pares foi aplicado para comparar o nível de significância.

O efeito dos modelos foi verificado através do modelo linear generalizado com distribuição de probabilidade tipo gama e função de link Log.

Para verificar a intensidade da relação existente entre as variáveis respostas a medida não paramétrica de correlação de Spearman foi aplicada nos resultados de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.

O método de agrupamento *Two-way joining*, representado por um gráfico de escala de cores, foi aplicado para expressar o agrupamento das condições experimentais (linha vertical) e as variáveis respostas de compostos fenólicos totais e atividades antioxidante (linha horizontal) simultaneamente por meio de suas similaridades.

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi usada para explorar os dados compilados para os compostos fenólicos totais e as três atividades antioxidantes. Esta análise estatística teve como objetivo comparar qualitativamente as variáveis que proporcionou microcápsulas com maiores teores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. Os dados brutos foram médios centrados e escalados para a variância unitária.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS FRUTOS DE FEIJOA

5.1.1 Formato, Massa e Tamanho

Os frutos maduros de feijoa cultivar 28.12 apresentaram formatos ovais (Figura 12) classificados como “lanceolados” conforme descritores para proteção de cultivares de goiabeira serrana (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) divulgados pelo MAPA (BRASIL, 2008) (Figura 9).



**Figura12 - Frutos de feijoa colhidos e utilizados no estudo de secagem por atomização.
Fonte: Autoria própria.**

Observa-se na Figura 12, que os frutos possuem aspecto mais alongado do que largo, apresentando base levemente arredondada, que se torna estreita em direção ao ápice.

De acordo com Esemann-Quadros et al.(2008), os frutos de feijoa (*Acca sellowiana*) são do tipo baga, com casca de coloração verde, mesmo quando maduros, envolvendo a polpa de cor gelo. Geralmente apresentam formatos ovais e sementes presentes nos lóculos dos frutos, conforme os caracterizados no presente trabalho (Figura 13).

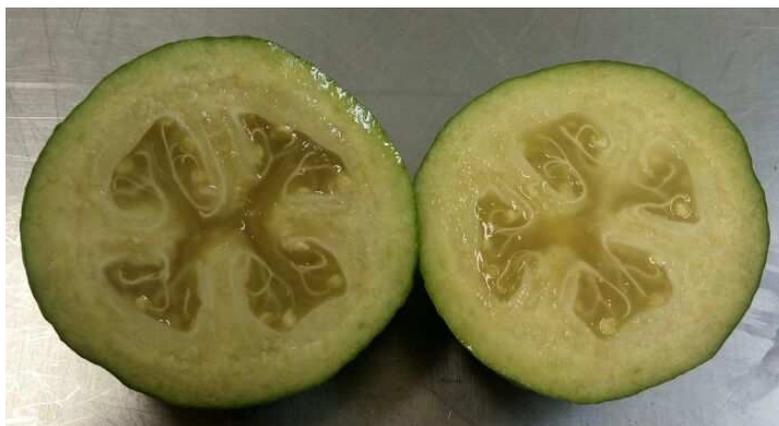


Figura13 - Corte transversal mostrando as estruturas internas dos frutos de feijoa utilizados no estudo de secagem por atomização.
Fonte: Aatoria própria.

Os valores médios de cada variável física dos frutos de feijoa estão apresentados na Tabela 3. O formato dos frutos conferido pela razão entre o comprimento e o diâmetro de 1,52 (>1), sendo o comprimento maior que o diâmetro, justificando o formato oval (Figura 12 e Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios, mínimos e máximos e coeficiente de variação de caracteres físicos de frutos de feijoa utilizados no estudo de secagem por atomização.

Parâmetro	Frutos	Média± DP	Mínimo	Máximo	C.V. (%)
Comprimento (cm)	10	7,68 ± 0,51	7,07	8,47	6,58
Diâmetro (cm)	10	5,04 ± 0,16	4,85	5,37	3,22
Comprimento/Diâmetro	10	1,52 ± 0,01	1,36	1,71	0,65
Espessura da casca (cm)	10	0,64 ± 0,05	0,57	0,73	7,99
Massa Fruto (g)	10	103,59 ± 9,61	90,97	119,99	9,28
Massa Casca (g)	10	48,49 ± 5,96	40,47	58,67	12,28
Massa Polpa (g)	10	55,10 ± 4,59	48,05	62,35	8,32
Rendimento (%)	10	53,19 ± 2,35	50,19	56,87	4,42

DP: Desvio Padrão. CV: Coeficiente de Variação.

A casca correspondeu a 46,81% do peso total do fruto. A porção comestível, constituída pela polpa e sementes do fruto, apresentou peso médio de 55,10 g, totalizando rendimento de 53,19% (Tabela 3).

De acordo com Degenhardt et al. (2007), a feijoa pode apresentar rendimento de polpa de 15 a 50%. O rendimento é fator-chave a ser considerado para a escolha da matéria-prima ideal pela indústria de

alimentos. Além disso, o elevado teor de polpa é uma das características mais desejáveis na comercialização de frutas *in natura* (MORZELLE, 2015).

Os frutos de feijoa apresentaram massa média total de 103,59 g (Tabela 3), valor este entre aos encontrados por Souza (2015), o qual obteve massa fresca média dos frutos na colheita que variaram de 94,6 g (Nonante) a 120,5 g (Mattos). Porém, Degenhardt et al. (2007) avaliaram a variabilidade existente dentro de variedades de feijoas, com base em características do fruto, e encontrou frutos com peso médio de 80 g. Ieler et al. (2016) também encontraram frutos com pesos de 80,5 g, e frutos com peso de casca de 21,8 a 65,1 g.

Segundo Amarante e Santos (2011), os frutos de feijoa (*Acca sellowiana*) podem apresentar peso de 20 a 250 g. Esta variação é comum, uma vez que são espécies ainda não domesticadas no Brasil.

Em relação ao tamanho, os frutos de feijoa apresentaram, em média, 7,68 cm de comprimento e 5,04 cm de diâmetro (Tabela 3) corroborando os resultados obtidos por Esemann-Quadros et al. (2008), que avaliaram o desenvolvimento, morfologia e anatomia dos frutos de *Acca sellowiana* colhidos em São Joaquim – SC e obtiveram médias de 7,0 cm de comprimento e 4,0 cm de diâmetro, com frutos de formatos ovais. Donazzolo e Nodari (2010) estudaram o efeito do ensacamento de frutos de feijoa colhidos em Ipê-RS sobre o controle de pragas e manutenção da qualidade. Como resultado, encontraram valores de comprimento de 6,4 cm a 7,1 cm, e diâmetro de 3,8 cm a 4,1 cm. Santos et al. (2013), determinaram o tamanho adequado para ensacamento de frutos de feijoa como método de exclusão da mosca-das-frutas. Para a ocasião de coleta 5, encontrou comprimento de 5,22 cm e diâmetro de 4,35 cm.

Os frutos apresentaram casca com espessura média de 0,64 cm (Tabela 3) e aspecto lisa à pouca rugosa. Donazzolo et al. (2017), encontraram frutos com espessuras de casca de 0,5 cm em seu estudo com frutos de goiabeira-serrana (*A. sellowiana*).

Em um trabalho realizado por Cecilia et al. (2015) onde analisaram espessura da casca de frutos de feijoa em diferentes estádios de maturação, encontraram valores de 0,24 a 0,82 cm. De acordo com Amarante et al. (2008), em relação a este parâmetro, os frutos que possuem cascas com menores

espessuras podem ser de maior interesse, pois possuem maior proporção comestível. Por outro lado, esta característica poderia significar menor resistência dos frutos à manipulação e ao transporte durante o período pós-colheita.

5.1.2 Cor e Textura

Os resultados dos valores de cor e textura dos frutos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores dos parâmetros de cor CieLab e de textura de três regiões dos frutos de feijoa utilizados no estudo de secagem por atomização.

Parâmetro	Epiderme			
	Média ± DP	Mínimo	Máximo	C. V. (%)
L*	46,01 ± 2,57	40,94	52,46	5,59
a*	-15,97 ± 1,55	-18,07	-12,15	9,73
b*	31,12 ± 3,41	24,28	38,71	10,96
C*	35,03 ± 3,25	28,45	41,96	9,27
h*	117,33 ± 3,06	108,49	123,42	2,61
Textura (N)	10,64 ± 2,32	7,32	16,29	21,78
Parâmetro	Parênquima			
	Média ± DP	Mínimo	Máximo	C. V. (%)
L*	74,18 ± 2,36	68,49	78,07	3,18
a*	-0,06 ± 0,04	-3,37	3,49	66,67
b*	26,84 ± 2,15	22,06	30,30	8,02
C*	26,91 ± 2,14	22,21	30,41	7,97
h*	89,97 ± 4,12	82,21	96,81	4,58
Textura (N)	2,44 ± 1,62	0,71	7,98	66,55
Parâmetro	Polpa			
	Média ± DP	Mínimo	Máximo	C. V. (%)
L*	55,45 ± 7,09	41,95	66,56	12,79
a*	-0,16 ± 0,09	-1,38	1,11	56,25
b*	14,12 ± 1,89	10,99	19,69	13,40
C*	14,14 ± 1,89	10,99	19,70	13,38
h*	90,66 ± 2,77	85,24	96,09	3,05
Textura (N)	0,63 ± 0,19	0,33	1,21	30,68

DP: Desvio Padrão. L* = Luminosidade; a* = coordenada vermelho/verde; b* = coordenada amarelo/azul; C* = Cromaticidade; h* = ângulo 'hue'.

Em relação à luminosidade L^* , o parênquima obteve resultado L^* mais próximo de 100, o que equivale a cor mais clara em relação às outras partes do fruto. Isso pode ser devido à composição deste tecido que forma um contínuo por todo o corpo vegetal, ausente de estruturas e substâncias que possam influenciar na luminosidade. Já a polpa, apresentou valor de luminosidade menor (mais escuro) em relação ao parênquima, fator que pode ser atribuído à composição dos lóculos (Figura 13).

Essa luminosidade maior para o parênquima é desejada, pois o escurecimento interno, em especial na polpa, pode comprometer a qualidade do fruto para o consumo (SOUZA, 2015). As enzimas polifenoloxidase (PPO) são responsáveis pelo escurecimento enzimático nos tecidos vegetais dos frutos quando lesionados ou danificados e expostos a presença de oxigênio molecular (PARKIN, 2010).

A epiderme (casca) apresentou luminosidade de 46,01 (Tabela 4), valor este próximo ao encontrado por Duong e Balaban (2014) que obtiveram valores de luminosidade de 43,0 para casca de frutos de feijoa. Amarante et al. (2013) encontraram valores médios de luminosidade de 43,6 para casca de frutos de feijoa na colheita, 45,3 para casca de frutos após 8 h de armazenamento e 46,3 para casca de frutos após 48 h de armazenamento. Em relação a luminosidade da polpa, este autor encontrou valores médios de 63,0 para frutos na colheita, 52,3 para polpa de frutos após 8 h de armazenamento e 51,0 para polpa de frutos após 48 h de armazenamento. Estes valores concordam com o encontrado no presente trabalho o qual foi obtido valor de 55,45 de luminosidade (Tabela 4) para a polpa dos frutos de feijoa.

Os valores obtidos para a^* , componente de cor que varia de verde (negativo) a vermelho (positivo), demonstrou que a epiderme apresentou valor de -15,97 (Tabela 4), que pode ser atribuído ao aumento de clorofilas nesta parte do fruto. Além da casca, as outras duas partes estudadas nos frutos apresentaram leve tendência a cor verde, sendo menos expressivo no parênquima do que na polpa. Duong e Balaban (2014) encontraram valor da coordenada a^* de -15,85 para casca de frutos de feijoa.

Os valores obtidos para b^* , que está relacionado à variação do amarelo (positivo) ao azul (negativo), demonstrou que as três partes do fruto

apresentaram tendência a cor amarelo, sendo mais expressivo na epiderme, segundo o parênquima e sendo o menor valor para a polpa.

A cor na casca dos frutos de feijoa é consequência da concentração e distribuição de pigmentos presentes nos tecidos. O pigmento clorofila a é responsável pela coloração azul-verde, enquanto que a clorofila b é atribuída a coloração o amarelo-verde (ZACCARI et al., 2017).

Com relação ao ângulo *hue*, os frutos apresentaram cor de polpa e parênquima próximos ao amarelo esverdeado (89,97 e 90,66, respectivamente) (Tabela 4). Rupavatharam et al. (2015) encontraram valores de cor da polpa de feijoa entre 89,6 a 92,2 °*hue* quando investigaram o tempo de colheita de frutos de feijoa usando 1-MCP e etileno exógeno como tratamento. Amarante et al. (2013) encontraram valores entre 92,1 a 97,1. do ângulo *hue* para a polpa de feijoa.

A epiderme apresentou valor *hue* de 117,33 (Tabela 4) caracterizando os frutos de casca externa de coloração verde. É importante ressaltar que as alterações na coloração da epiderme dos frutos de feijoa são praticamente imperceptíveis aos olhos (SOUZA, 2015).

Velho et. al. (2011) avaliaram o potencial de armazenagem de feijoas em temperaturas de 23 e 4 °C. Nos frutos armazenados a 23 °C, os valores de *h**, aos 15 dias, foram próximos a 110, sendo que, em frutos armazenados a 4°C, ao final de quatro semanas, foram próximos a 115, ambos valores referentes a casca externa dos frutos.

Amarante et al. (2008) quando analisaram os efeitos da temperatura de armazenamento e do tratamento com 1-metilciclopropeno, na preservação da qualidade pós-colheita de frutos de dois genótipos de feijoa, encontraram valores de cor da epiderme (casca externa) de 118,75 a 121,05 em ângulo *hue*.

Todavia, em algumas cultivares de feijoa não é possível observar variações expressivas na cor da epiderme (casca externa) durante o amadurecimento dos frutos (EAST et al., 2009).

Quanto à quantificação da textura (força necessária para o rompimento), a epiderme apresentou-se mais resistente quando comparada as outras partes do fruto. A polpa, devido a sua composição, foi a mais sensível frente a essa força. O resultado de textura da epiderme do presente trabalho está de acordo com os realizados por Amarante et al. (2008) que obtiveram força para ruptura

da epiderme de 10,15 N e 9,18 N para frutos sem tratamento armazenados sob refrigeração por 15 e 30 dias, respectivamente, com ponteira de 2 mm.

East et al. (2009) avaliaram o efeito de atmosferas controladas sobre a respiração e a taxa de mudança de qualidade na fruta de feijoa "Unique", e encontraram valores médios de textura de 14 N para frutas embaladas em bandejas de papelão suavizadas sobre os 56 dias de armazenamento a 5 °C.

O valor de textura tanto do parênquima (2,44 N) quanto da polpa (0,63 N) (Tabela 4) encontram-se abaixo do encontrado por Amarante et al. (2008), que obtiveram valor para força de penetração na polpa de 3,32 e 3,36 N para frutos sem tratamento armazenados sob refrigeração por 15 e 30 dias, respectivamente.

Porém, em estudo realizado por Amarante et al. (2013), encontraram valores de força necessária para o rompimento da epiderme externa (casca) de 9,2 N para frutos na colheita, 8,1 e 6,9 N para frutos após armazenamento refrigerado (21 dias) seguido de 8 h e 48 h, respectivamente. Já para o parênquima externo, estes autores encontraram valores de 4,3 N para frutos na colheita, 3,2 e 2,2 N para frutos após armazenamento seguido de 8 e 48 h, respectivamente, ambos com ponteira de 2 mm de diâmetro e utilizando quatro cultivares diferentes.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS FRUTOS DE FEIJOA

Os dados da composição físico-química da polpa dos frutos de feijoa são apresentados na Tabela 5. A feijoa é pouco explorada comercialmente e, por essa razão, não há padrões definidos de qualidade dos frutos para a comercialização (HOFFMANN et al., 1994).

Tabela 5 - Valores das características físico-químicas avaliadas nos frutos de feijoa utilizados no estudo de secagem por atomização.

Parâmetro	Média ± DP	Mínimo	Máximo	C. V. (%)
pH	3,32 ± 0,01	3,31	3,33	0,30
Acidez total titulável (g ácido cítrico/100g ⁻¹)	2,82 ± 0,08	2,73	2,87	2,67
Sólidos solúveis (°Brix)	14,50 ± 0,17	14,40	14,70	1,19
SS/ATT	5,15 ± 0,20	5,02	5,38	3,91
Umidade (%)	86,21 ± 0,09	86,12	86,29	0,10
Atividade de água	0,964 ± 0,01	0,963	0,965	0,10
Ácido ascórbico (mg 100 g ⁻¹)	38,09 ± 3,46	34,63	41,55	9,09

DP: Desvio Padrão. SS = Sólidos solúveis totais; ATT = Acidez total titulável.

Os frutos de feijoa apresentaram pH médio de 3,32 (Tabela 5) e estão de acordo com os valores encontrados por Amarante et al. (2013), cujas variações de pH foram de 2,0 a 3,7 em diferentes cultivares de goiaba-serrana. Santos (2014) encontrou pH de 3,11 em frutos de feijoa em diferentes estádios de desenvolvimento e maturação.

Os principais ácidos orgânicos presentes na polpa dos frutos de feijoa são ácido cítrico, ácido málico, e ácido succínico (PARRA; FISCHER, 2013; BENINCÁ, 2014). Com relação à acidez total titulável, a média foi de 2,82% em ácido cítrico (Tabela 5). Benincá et al. (2015), obtiveram valores de acidez total titulável de 1,45% em ácido em frutos de goiabeira serrana (*Acca sellowiana*). Amarante et al. (2017) encontraram valores de 0,49 a 1,47% em ácido cítrico em diferentes genótipos de feijoa.

De acordo com Pinto et al. (2003), frutos com acidez total titulável acima de 1,00% em ácido cítrico, e consequentemente baixo pH são de maior interesse para a agroindústria, tendo em vista não haver necessidade da adição de ácido cítrico para conservação da polpa, artifício utilizado para tornar o meio impróprio ao desenvolvimento de microrganismos.

Para sólidos solúveis, os frutos apresentaram média de 14,50 °Brix (Tabela 5). O resultado encontrado foi superior aos reportados por Pasquariello et al. (2015), que relataram variação entre 10,08 a 12,89 °Brix quando avaliaram 12 cultivares de feijoa. Amarante et al. (2013) também encontrou valores inferiores de sólidos solúveis totais de 8,6 a 12,1 °Brix em diferentes cultivares de goiaba-serrana.

Valores expressivos de sólidos solúveis são valorizados pela indústria de alimentos e também para o consumo *in natura*, uma vez que estão intimamente relacionados ao maior rendimento durante o processamento (SANTOS et al., 2010). O teor de açúcares normalmente constitui cerca de 85% do teor de sólidos solúveis, assim, os frutos com teores de sólidos solúveis mais elevados podem acarretar em maior grau de doçura (PEREIRA et al., 2000).

A relação SS/ATT relaciona a qualidade do fruto em termos de maturidade e sabor (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Os frutos de feijoa apresentaram relação média de SS/ATT de 5,15 (Tabela 5), indicando que os frutos evidenciam a predominância do sabor doce em relação ao ácido. Além do mais, os elevados teores de sólidos solúveis totais e acidez total titulável justificam o sabor característico doce acidulado da feijoa.

No entanto, o valor encontrado no presente estudo é superior aos relatados por Pasquariello et al. (2015) de 1,90 a 3,35 para diversas cultivares de feijoa. Já no estudo realizado por Amarante et al. (2017), a relação SS/ATT foi de 7,64 a 19,71 para frutos de diferentes genótipos de feijoa. Essas variações de valores podem ocorrer porque os frutos de feijoa são espécies não domesticadas, o que pode trazer variações de seu conteúdo químico e nutricional.

Os frutos de feijoa apresentaram 86,21% de umidade. Este valor encontra-se próximo dos resultados obtidos por Duong e Balaban (2014) e Ortuno et al. (2013), o qual foram de 85,39 e 83,33 %, respectivamente.

A atividade de água média foi de 0,964, valor este abaixo do encontrado por Duong e Balaban (2014) o qual foi de 0,995.

Através dos estudos em outras literaturas, há diferentes valores de umidade e atividade de água de acordo com a maturação em que a fruta se encontra como, também, o clima no qual ela é produzida pode influenciar (AZEVEDO, 2003).

O teor de água é de grande importância na produção de alimentos, pois têm influência direta no controle da taxa de deterioração por microrganismos e reações enzimáticas e químicas que ocorrem durante a armazenagem (FELLOWS, 2006).

Para o parâmetro vitamina C foi obtido valor médio de 38,9% em ácido ascórbico (Tabela 5). Este resultado encontra-se entre os determinados por Pasquariello et al. (2015), o qual encontraram valores de ácido ascórbico de 25,43 a 39,87 (mg100g⁻¹) das 12 cultivares de feijoa analisadas na colheita.

O conteúdo de vitamina C no presente estudo foi maior que os relatados por outros autores como Belous et al. (2014), que encontraram valores de 37,1 mg 100 g⁻¹ do frutos. Romero-Rodriguez et al. (1994) obtiveram valores de 26,9 mg 100 g⁻¹ e Valente et al. (2011) valores de 26,4 mg 100 g⁻¹ de fruto fresco.

A vitamina C, também conhecida como ácido ascórbico, contribui com a redução do pH e aumento da acidez do fruto. Além disso, é uma vitamina que possui capacidade antioxidante tanto na proteção da fruta contra reações oxidativas, quanto no organismo contra espécies reativas de oxigênio atuando juntamente no sistema imune (BVENURA;SIVAKUMAR, 2017).

5.3 COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS FRUTOS DE FEIJOA

O resultado obtido para os teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos frutos de feijoa estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de compostos fenólicos e atividade antioxidante dos frutos de feijoa *in natura*.

Parâmetro	Média* ± SD	Mínimo	Máximo	C. V. (%)
CFT (mg EAG g ⁻¹)	49,45 ± 0,01	49,43	49,46	0,03
Flavonóides (mg Quercetina g ⁻¹)	7,80 ± 0,82	7,04	8,67	10,47
DPPH (µmol de TEAC g ⁻¹)	77,44 ± 0,22	77,19	77,57	0,28
ABTS (µmol de TEAC g ⁻¹)	17,49 ± 0,02	17,48	17,51	0,10
FRAP (µmol Fe 2 ⁺ g ⁻¹)	563,84 ± 33,36	525,32	583,10	5,92

Médias obtidas em base seca (liofilizada).SD: Desvio Padrão.CFT: Compostos Fenólicos Totais; DPPH:Capacidade antioxidante via atividade sequestradora do radical livre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH); ABTS: Capacidade antioxidante via atividade de remoção de radical orgânico 2,20-azino-bis (ácido 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfônico); FRAP: Capacidade antioxidante via atividade de redução de metal ferro (Fe⁺³).

Os frutos apresentaram teores de CFT superiores aos relatados por Pasquariello et al. (2015), que encontraram valores entre 0,93 e 2,51 mg EAG g⁻¹ de massa fresca entre diferentes cultivares.

Benincá (2014), que quantificou compostos fenólicos totais na matéria seca de frutos inteiros (casca e polpa) dos mesmos genótipos de feijoa, evidenciou que as cultivares Nonante e Mattos (9,01 e 8,94 mg EAG g⁻¹, respectivamente) apresentaram maior concentração de compostos fenólicos quando comparado às cultivares Alcântara e Helena (8,04 e 6,99 mg EAG g⁻¹, respectivamente). Porém, este mesmo autor encontrou valor de CFT menor para o acesso B23.16 (7,25 mg EAG g⁻¹) quando comparado às cultivares analisadas por Mattos.

Cecilia et al. (2015) mencionaram que os frutos de feijoa apresentaram teores de compostos fenólicos entre 2,86 e 4,76 mg EAGg⁻¹, utilizando extratos metanólicos de frutas em diferentes estágios de maturação. De acordo com estes autores, quanto maior o estágio de desenvolvimento dos frutos de feijoa, menores são os níveis de compostos fenólicos na fruta.

Pasquariello et al. (2015) encontraram valores de flavonoides entre 0,14 e 0,33 mg de Quercetina g⁻¹ para 12 cultivares de feijoa fresca de diferentes países. Valores estes abaixo do encontrado no presente trabalho.

Cecilia et al. (2015) determinou a atividade antioxidante por DPPH de frutos de feijoa em diferentes estágios de maturação e encontrou valores de 215,00 a 555,74 mg equivalentes de ácido ascórbico em 100 g de peso fresco. Souza e Nunes (2014) encontraram valores de DPPH de 14,60 µg TEAC mL⁻¹ para o extrato aquoso de folhas de feijoa.

Tuncel e Yulmaz (2015) obtiveram valores entre 63,40 e 125,50 mM TEAC g⁻¹ para atividade antioxidante por ABTS no estudo de otimização de extração de compostos fenólicos e antioxidantes em frutos de feijoa.

Silva (2017) avaliou o potencial antioxidante dos extratos da folha da goiaba-serrana (*A. sellowiana*) pelo método ABTS⁺• e FRAP e encontrou valores de 716 a 1704 µM TEAC g⁻¹ e 264 a 285 µM TEAC g⁻¹, respectivamente, utilizando diferentes métodos de extração.

Isobe et al. (2003) estudou a atividade antioxidante de extratos etanólicos de feijoa, kiwano, mamão e manga, e obteve maiores valores com o uso de feijoa quando comparado aos demais.

Silva (2011), trabalhando com polpas de guabiroba, obteve valores de $109,9 \mu\text{M TEAC g}^{-1}$ para extrato hidroalcoólico armazenado por 30 dias. A folha da pitanga, planta também pertencente à família das Myrtaceae, foi estudada por Schumacher et al. (2015), que avaliaram a atividade antioxidante pelo método FRAP a partir dos extratos aquoso e etanólico, obtendo resultados de $95,0 \mu\text{M}$ e $64,2 \mu\text{M FeSO}_3 \text{ g}^{-1}$, respectivamente.

O presente trabalho, juntamente dos estudos avaliados comprovam que a feijoa possui expressiva quantidade de compostos fenólicos, apresentando boa atividade antioxidante perante os métodos avaliados. Isobe et al. (2003) atribui a atividade antioxidante da feijoa à presença de polifenóis.

5.4 EFICIÊNCIA DE ENCAPSULAÇÃO

A eficiência de encapsulação foi realizada considerando a capacidade de retenção dos compostos fenólicos totais da polpa de feijoa nas microcápsulas. Essa eficiência foi determinada através da relação entre a quantidade de compostos fenólicos totais presentes na superfície das micropartículas (não encapsulados) e o total de compostos fenólicos totais presentes no núcleo das partículas (microencapsulados).

O teste de normalidade Shapiro-Wilk foi aplicado e verificou que os valores obtidos da eficiência de encapsulação dos compostos fenólicos totais demonstraram tendência para distribuição não normal ($p < 0,05$). Assim, o teste de Bonferroni de comparação por par foi aplicado para comparar o nível de significância, visto que os resultados se aproximam de uma distribuição de dados tipo gama (modelo linear generalizado).

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados dos efeitos principais e das interações entre as variáveis independentes para a eficiência de encapsulação dos compostos fenólicos totais no processo de microencapsulação da polpa de feijoa.

Tabela 7 - Efeitos calculados para o planejamento fatorial 2³, a partir da eficiência de encapsulação de compostos fenólicos totais durante o processo de microencapsulação da polpa de feijoa por *spray drying*.

Fatores	Eficiência de encapsulação	
	Qui-Quadrado de Wald	p-valor
Efeitos principais:		
X1 (Temperatura °C)	637,727	< 0,05
X2 (Concentração %)	481,475	< 0,05
X3 (Agente encapsulante)	358,438	< 0,05
Efeitos secundários de interação:		
X1; X2	341,240	< 0,05
X1; X3	17,994	< 0,05
X2; X3	35,466	< 0,05
Efeito trifatorial:		
X1; X2; X3	38,536	< 0,05

As variáveis independentes (temperatura do ar de secagem, concentração e tipo de agente encapsulante) influenciaram significativamente sobre a eficiência de encapsulação, sendo com todos os fatores de primeira, segunda e terceira ordem significativos nesse processo e nas condições de estudo do presente trabalho.

Os resultados da eficiência de encapsulação dos compostos fenólicos totais obtidos de acordo com o planejamento fatorial de experimentos estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores de eficiência de encapsulação de compostos fenólicos totais do processo de microencapsulação da polpa de feijoa de acordo com o experimento fatorial 2³.

Experimentos	Variáveis Codificadas			Temperatura	Concentração	Tipo Agente Encapsulante	Variável Resposta
	X ₁	X ₂	X ₃	(°C)	(%)		Eficiência (%)
1	-1	-1	-1	90	10	GA	96,20
2	+1	-1	-1	150	10	GA	96,81
3	-1	+1	-1	90	30	GA	96,47
4	+1	+1	-1	150	30	GA	97,30
5	-1	-1	+1	90	10	MD	93,34
6	+1	-1	+1	150	10	MD	95,26
7	-1	+1	+1	90	30	MD	96,29
8	+1	+1	+1	150	30	MD	97,09
Média							96,10
C. V. %							1,28

X1 – Temperatura do ar de secagem (°C); X2 – Concentração de agente encapsulante (%); X3 – Tipo de agente encapsulante. GA: Goma Arábica; MD: Maltodextrina.

Todos os ensaios realizados mostraram boa retenção de compostos fenólicos totais eficiência de encapsulação variando de 93,34 a 97,30%. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Souza et al. (2015), que alcançaram eficiência de encapsulação de 95,40 a 97,92% de ácido ascórbico pelo método de *spray drying*. Ferracini (2015), encontrou maior eficiência de encapsulação com o uso de goma arábica (62,02%) em relação a maltodextrina (59,64%) na microencapsulação de antocianinas, uma subclasse dos compostos fenólicos, extraída da casca da jabuticada (*Myrciariaspp.*) por *spray drying*. Nunes (2014), microencapsulou extrato aquoso das folhas de erva mate com maltodextrina por *spray drying* e encontrou retenções dos compostos fenólicos que variaram de 43,14 a 87,53%.

Os compostos fenólicos são suscetíveis a degradação térmica. Dessa forma, os resultados sugerem que o uso de agentes encapsulantes conferem efeito protetor sobre estes compostos durante o processo de microencapsulação (NUNES, 2014).

5.5 ANÁLISE DOS COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS MICROCÁPSULAS DE POLPA DE FEIJOA

A avaliação da influência dos fatores temperatura do ar de secagem, concentração de agente encapsulante e tipo de agente encapsulante no processo de secagem por atomização da polpa de feijoa foram realizados de acordo com experimento fatorial 2^3 simples.

Em todos os dados, o teste de normalidade Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar se a distribuição de probabilidade associada ao conjunto de dados poderia ser aproximada pela distribuição normal. Na Tabela 9 são apresentados os valores demonstrando tendência para distribuição não normal.

Tabela 9 - Resultados do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para as respostas de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por *spray drying*.

Fatores	Estatística: Shapiro-Wilk	G. L.	p-valor
CFT	0,917	24	0,049
DPPH	0,866	24	0,004
ABTS	0,862	24	0,004
FRAP	0,721	24	0,000

G.L.:Graus de liberdade. CFT: Compostos Fenólicos Totais; DPPH:Capacidade antioxidante via atividade sequestradora do radical livre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH[•]); ABTS: Capacidade antioxidante via atividade de remoção de radical orgânico 2,20-azino-bis (ácido 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfônico); FRAP: Capacidade antioxidante via atividade de redução de metal ferro (Fe⁺³). Resultados com p-valor $\leq 0,05$ possuem distribuição não normal.

Observa-se que os resultados se aproximam de uma distribuição de dados tipo gama (modelo linear generalizado). Esta estratégia de análise tem a vantagem de trabalhar com os valores na escala original. O teste de Bonferroni de comparação por pares foi aplicado para comparar o nível de significância como apresentado na Tabela 10.

Para a análise dos resultados dos efeitos principais e das interações entre as variáveis independentes, foram consideradas as melhores condições

de retenção de CFT e maior atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP (variáveis respostas).

Tabela 10 - Efeitos calculados para o planejamento fatorial 2³, a partir das respostas de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) da polpa de feijoa microencapsulada por *spray drying*.

Fatores	Compostos Fenólicos Totais		Atividade Antioxidante					
			DPPH		ABTS		FRAP	
	Qui-Quadrado de Wald	p-valor	Qui-Quadrado de Wald	p-valor	Qui-Quadrado de Wald	p-valor	Qui-Quadrado de Wald	p-valor
Efeitos principais:								
X1 (Temperatura °C)	988,729	< 0,05	76,516	< 0,05	10916,896	< 0,05	37947,140	< 0,05
X2 (Concentração %)	6480,038	< 0,05	6720,041	< 0,05	197,905	< 0,05	14,546	< 0,05
X3 (Agente encapsulante)	151,787	< 0,05	117,102	< 0,05	2181,033	< 0,05	1038,406	< 0,05
Efeitos secundários de interação:								
X1; X2	53,638	< 0,05	403,808	< 0,05	11280,471	< 0,05	40193,925	< 0,05
X1; X3	755,163	< 0,05	1793,686	< 0,05	2295,117	< 0,05	10799,623	< 0,05
X2; X3	30,526	< 0,05	832,365	< 0,05	0,277	0,60	736,051	< 0,05
Efeito trifatorial:								
X1; X2; X3	256,388	< 0,05	173,818	< 0,05	1038,274	< 0,05	24735,588	< 0,05

Resultados com p-valor $\leq 0,05$ são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 5%.

Os resultados do planejamento fatorial de experimentos, considerando como respostas os teores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) da polpa de feijoa microencapsulada de acordo com o experimento fatorial 2³.

Experimentos	Variáveis Codificadas			Variáveis Reais			Variáveis Respostas			
	X ₁	X ₂	X ₃	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Agente Encapsulante	CFT (mg EAG g ⁻¹)	DPPH (µmol de TEAC g ⁻¹)	ABTS (µmol de TEAC g ⁻¹)	FRAP (µmol Fe 2 ⁺ g ⁻¹)
1	-1	-1	-1	90	10	GA	56,64	90,85	40,33	198,78
2	+1	-1	-1	150	10	GA	89,76	115,57	243,52	310,20
3	-1	+1	-1	90	30	GA	33,45	65,52	65,18	212,34
4	+1	+1	-1	150	30	GA	47,10	89,86	121,50	248,74
5	-1	-1	+1	90	10	MD	79,77	152,57	66,47	84,96
6	+1	-1	+1	150	10	MD	69,91	106,00	312,86	750,72
7	-1	+1	+1	90	30	MD	40,85	69,62	177,76	308,67
8	+1	+1	+1	150	30	MD	49,19	69,49	92,78	253,75
Média							58,33	94,94	140,05	296,02
C.V.%							32,32	29,65	66,02	63,65

X₁ – Temperatura do ar de secagem (°C); X₂ – Concentração de agente encapsulante (%); X₃ – Tipo de agente encapsulante. GA: Goma Arábica; MD: Maltodextrina. CFT: Compostos Fenólicos Totais; DPPH: Capacidade antioxidante via atividade sequestradora do radical livre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH[•]); ABTS: Capacidade antioxidante via atividade de remoção de radical orgânico 2,20-azino-bis (ácido 3-ethylbenzthiazoline-6-sulfônico); FRAP: Capacidade antioxidante via atividade de redução de metal ferro (Fe⁺³). CV: Coeficiente de Variação.

As variáveis independentes (temperatura do ar de secagem, concentração e tipo de agente encapsulante) influenciaram significativamente sobre as respostas com todos os fatores de primeira, segunda e terceira ordem sendo significativos, exceto a interação secundária entre a concentração e tipo de agente encapsulante para a atividade antioxidante pela metodologia ABTS.

A temperatura foi um fator importante no processo de secagem para manter quantidades de compostos bioativos e conseqüentemente obter produto desidratado com potencial antioxidante.

A menor temperatura de secagem (90 °C) possibilitou obter produto desidratado, além de não oferecer risco de degradação térmica no encapsulamento dos compostos presentes na polpa de feijoa. No entanto, os polifenóis são geralmente considerados termoestáveis. Assim, na secagem por atomização, o aquecimento da temperatura do ar não deve causar uma diminuição acentuada do teor de polifenol dos encapsulados (IAM et al., 2011; LACERDA et al., 2016).

O possível aumento dos teores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante com o aumento da temperatura pode estar relacionado com a inativação das enzimas polifenóis presentes na polpa devido ao calor durante a secagem, o que aumenta o teor de fenólicos totais (HORUZ; ALTAN; MASKAN, 2012). Além disso, no método de secagem por atomização, mesmo quando utiliza temperaturas de entrada altas, o tempo de contato entre a amostra e o ar de secagem é muito curto, quase instantaneamente e, portanto, as perdas de compostos bioativos que promovem a atividade antioxidante durante a secagem estão associadas à temperatura de saída (inferiores a 90 °C), que é consideravelmente menor e não influencia na degradação de compostos fenólicos (CORTÊS-ROJAS; SOUZA; OLIVEIRA, 2015).

A utilização de tais agentes encapsulantes é geralmente limitada pela concentração de sólidos no alimento (REINECCIUS, 1991). A utilização de baixa concentração dos agentes goma arábica e maltodextrina proporcionaram boas retenções de compostos com atividade antioxidante.

Isso pode ser explicado devido ao tamanho e espessura das microcápsulas formadas. Menores concentrações de agentes podem acarretar em microcápsulas com matriz protetora menos espessa, o que conseqüentemente provoca maior facilidade de rompimento das mesmas, liberando assim ligeiramente os compostos bioativos contidos em seu núcleo.

Ainda, à medida que as partículas são lançadas no meio gasoso, em contato com o ar aquecido, a água se evapora rapidamente da cápsula. A alta relação entre a área de superfície e o volume das partículas promove rápida evaporação da água. Com isso, o tempo de exposição das partículas ao calor é curto (geralmente poucos segundos) e a temperatura do núcleo não ultrapassa os 100 °C, o que reduz a ocorrência de alterações indesejáveis em compostos termossensíveis (AZEREDO, 2005).

O emprego de maior concentração de agente encapsulante no processo de secagem por atomização também pode ser favorável, pois promove aumento no teor de sólidos totais e reduz o teor de umidade do material a ser desidratado (QUEK et al., 2007; NUNES, 2014; CAVALCANTE et al., 2017), e com isso obtém-se micropartículas com teores de compostos mais concentrados.

O aumento da concentração de agente encapsulante também promove microcápsulas com menores teores de higroscopicidade (TONON; BRABET; HUBINGER, 2009; FERRARI et al., 2011), assim, durante o período de armazenamento dos pós a capacidade de absorção de umidade do meio é menor não provocando processos oxidativos e de degradação dos compostos presentes nas amostras.

O primeiro passo do processo de microencapsulação é selecionar o agente encapsulante adequado. Um dos principais fatores que influenciam na estabilidade de compostos encapsulados é a natureza do material encapsulante (ALVES, 2014).

A goma arábica apresenta-se como excelente matriz devido às suas propriedades de emulsificação, por causa das frações de proteínas e lipídios em sua estrutura molecular (YADAV et al., 2007; ALVES, 2014). É um heteropolissacarídeo complexo de

estrutura ramificada com cadeia principal formada por unidades de D-galactopiranoses unidas por ligações β -D-glicose(1-3) (SOUZA et al., 2015).

Já as maltodextrinas são polímeros de glicose apresentando em sua estrutura unidades de D-glicose unidas a ligações glicosídicas α (1-4) (FENNEMA, 2010). Uma das vantagens da maltodextrina é sua capacidade de microencapsular tanto componentes hidrofílicos como hidrofóbicos (KILMARTIN et al., 2004; ELNAGGAR et al., 2010; SANSONE, 2011; ALVES 2014).

Para facilitar a visualização dos resultados de cada resposta, os dados desse estudo estão apresentados na forma de diagramas de interações nas Figuras 14 a 17.

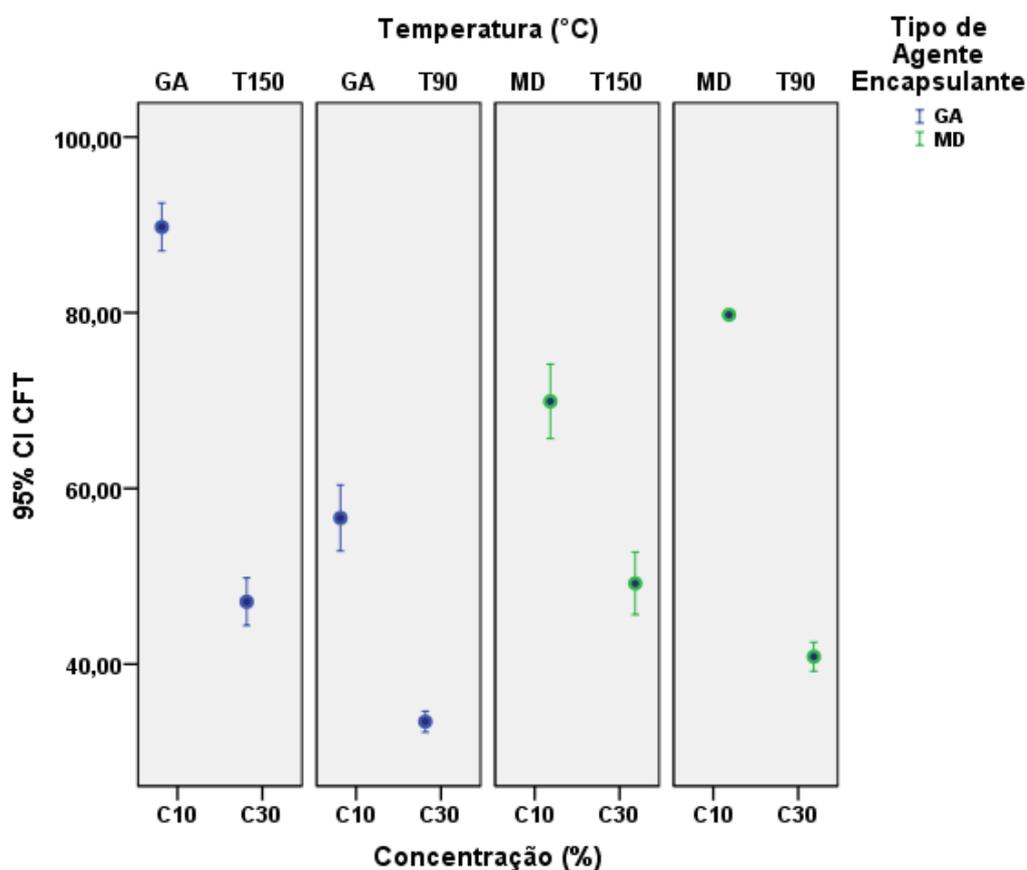


Figura 14: Gráfico de interações do planejamento fatorial empregado para verificar o efeito das variáveis experimentais independentes sobre os teores de compostos fenólicos totais das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por *spray drying*.

Com base na Figura 14, observa-se que os maiores teores de compostos fenólicos totais foram obtidos no experimento de maior temperatura do ar de secagem (150 °C) e menor concentração (10%) de agente

encapsulante goma arábica. Essas condições apresentaram ser eficientes na obtenção dessa resposta, avaliada a partir do maior valor para os teores de compostos fenólicos totais.

Chung (2016) também encontrou a condição de maior teor de compostos fenólicos totais para os pós de guavira adicionados de goma arábica ao utilizar temperatura de secagem de 155 °C, em comparação com as demais temperaturas de estudo (130 e 180 °C). Nadeem, Torun e Ozdemir (2011), também observaram que o teor total de compostos fenólicos foi superior em temperatura de secagem de 155 °C quando comparada a 145 e 165 °C. Em ambos os trabalhos citados, verificou-se que a temperatura de 155 °C foi a que proporcionou maior retenção dos compostos fenólicos totais, temperatura próxima a utilizada no presente trabalho, quando utilizado goma arábica como agente encapsulante.

Considerando que os polifenóis têm alta capacidade antioxidante e seqüestro de radicais livres, inibindo as enzimas responsáveis pela produção de espécies reativas de oxigênio, a feijoa é fonte importante desses compostos, que reduziria a ocorrência de doenças associadas ao estresse oxidativo (CECILIA et al., 2015).

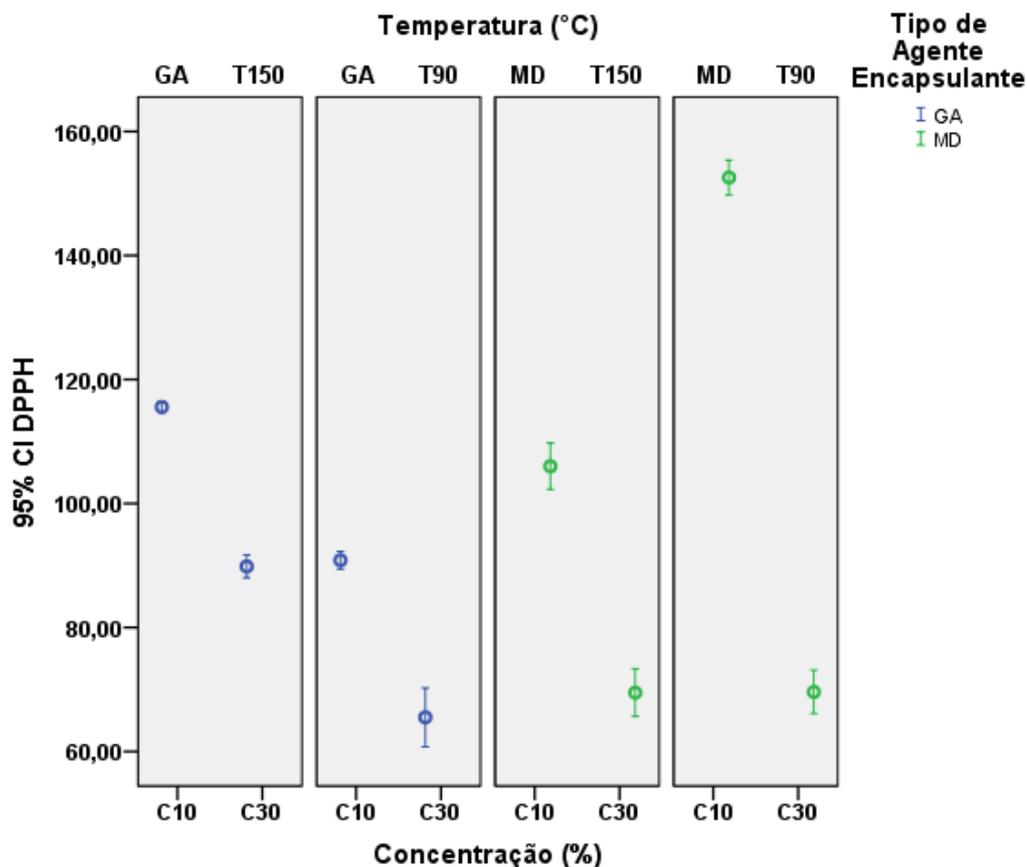


Figura15: Gráfico de interações do planejamento fatorial empregado para verificar o efeito das variáveis experimentais independentes sobre a atividade antioxidante por DPPH das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por *spray drying*.

Na Figura 15 verifica-se que a maior capacidade antioxidante por DPPH foi obtida em condições de menor temperatura de secagem (90 °C) e menor concentração (10%) de agente encapsulante maltodextrina. Essas condições possuem efeitos expressivos na obtenção dessa resposta, avaliada a partir dos maiores valores para a atividade antioxidante por este método.

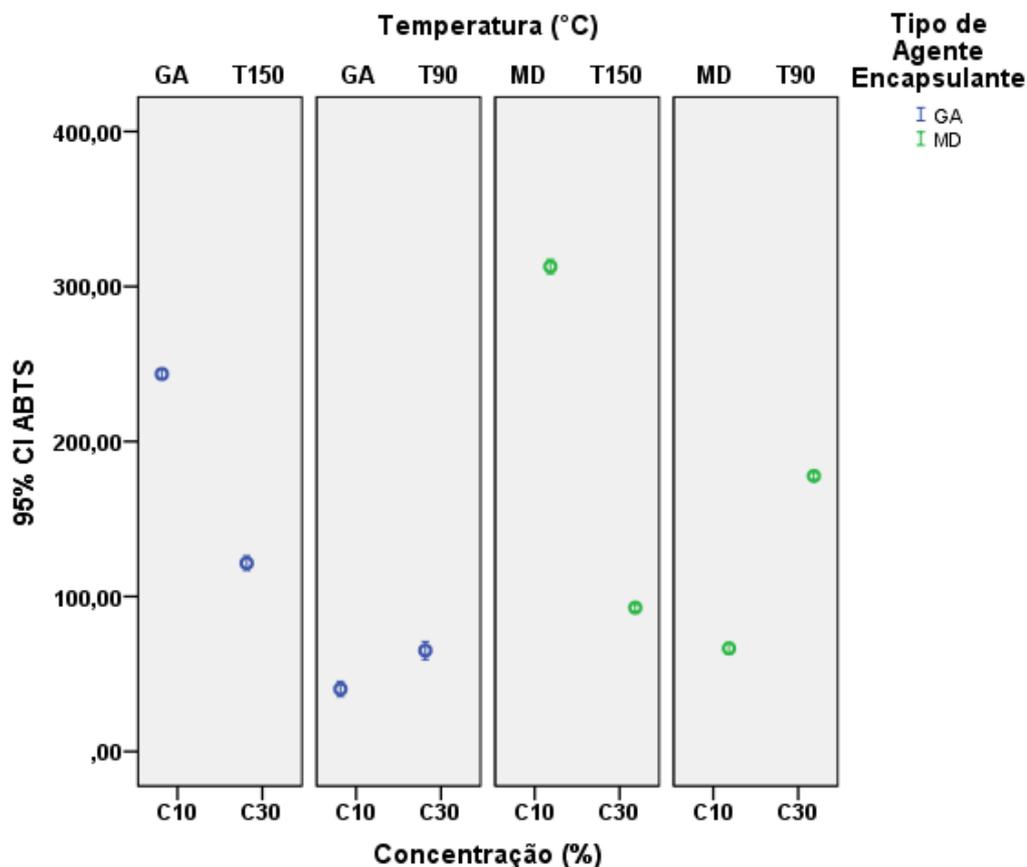


Figura16: Gráfico de interações do planejamento fatorial empregado para verificar o efeito das variáveis experimentais independentes sobre a atividade antioxidante por ABTS das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por *spray drying*.

Com base na Figura 16, fica evidente que as microcápsulas de maior atividade antioxidante obtida por ABTS foi obtida em maior temperatura do ar de entrada (150 °C) e menor concentração (10%) de agente encapsulante maltodextrina. Essas condições possuem efeitos significativos na obtenção dessa resposta, avaliada a partir dos maiores valores para a atividade antioxidante por este método.

Esta análise de atividade antioxidante caracteriza a capacidade da amostra testada em reagir com o radical $ABTS^+$, bem como em inibir processos oxidativos (CAMPOS,1997). Dessa forma, os compostos fenólicos totais são importantes para exercer tal atividade, mas outras substâncias encapsuladas, que não são fenólicas, também foram importantes para a determinação desta atividade.

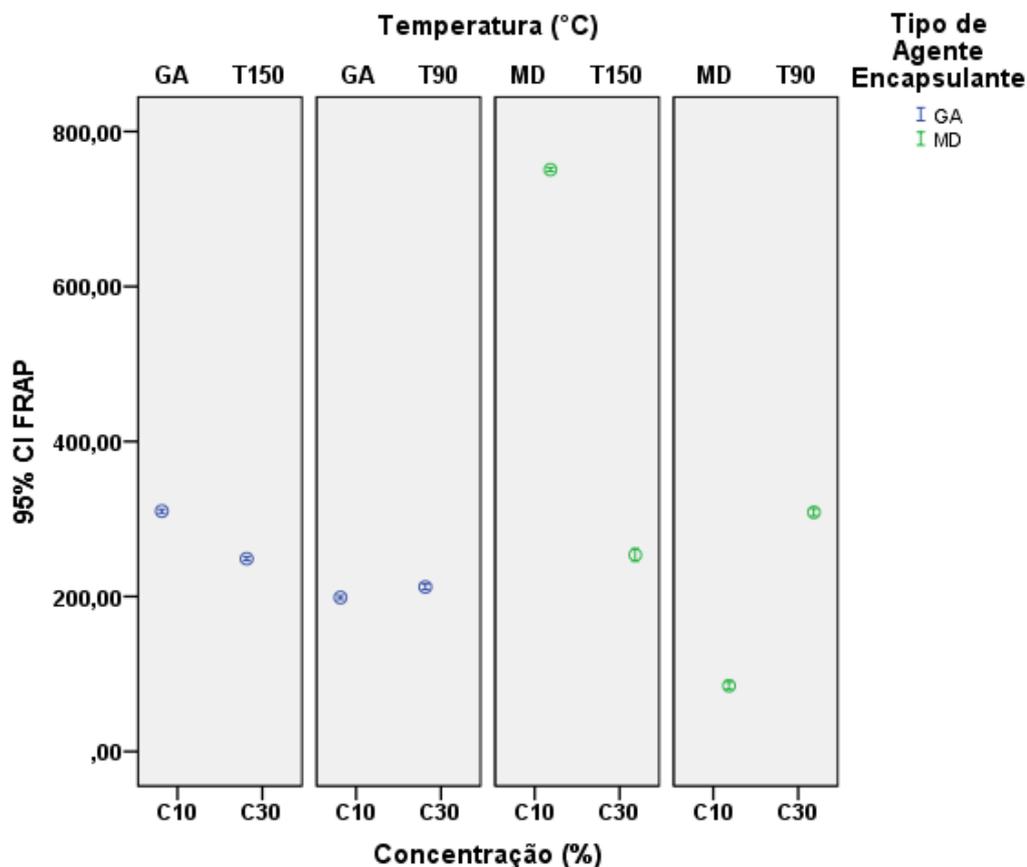


Figura17: Gráfico de interações do planejamento fatorial empregado para verificar o efeito das variáveis experimentais independentes sobre a atividade antioxidante por FRAP das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas por *spray drying*.

Os níveis das variáveis que apresentaram efeitos expressivos na obtenção da atividade antioxidante por redução de íons férricos (FRAP) foram em maior temperatura de secagem (150 °C) e menor concentração (10%) de agente encapsulante maltodextrina (Figura 17).

Esses resultados sugerem a importância do uso de diferentes testes para a determinação segura e conclusiva da atividade antioxidante, uma vez que existem diferentes mecanismos de ação antioxidante e consequentemente diversas metodologias de quantificação de capacidade antioxidante de um composto (OLIVEIRA et al., 2009)

A análise de agrupamentos é uma técnica multivariada classificada como interdependente, ou seja, todas as variáveis são analisadas ao mesmo tempo com o intuito de encontrar uma estrutura subjacente a todo o conjunto de variáveis (OLIVEIRA; FILHO; FIRETTI, 2014).

A análise de agrupamento Two way (Figura 18) confirma as condições máximas para encapsulação de compostos fenólicos totais e atividades antioxidantes das microcápsulas de polpa de feijoa. Esta análise avalia o agrupamento de amostras relacionadas a variáveis dependentes. A intensidade da cor mostra qual variável dependente está mais relacionada as microcápsulas produzidas em diferentes condições.

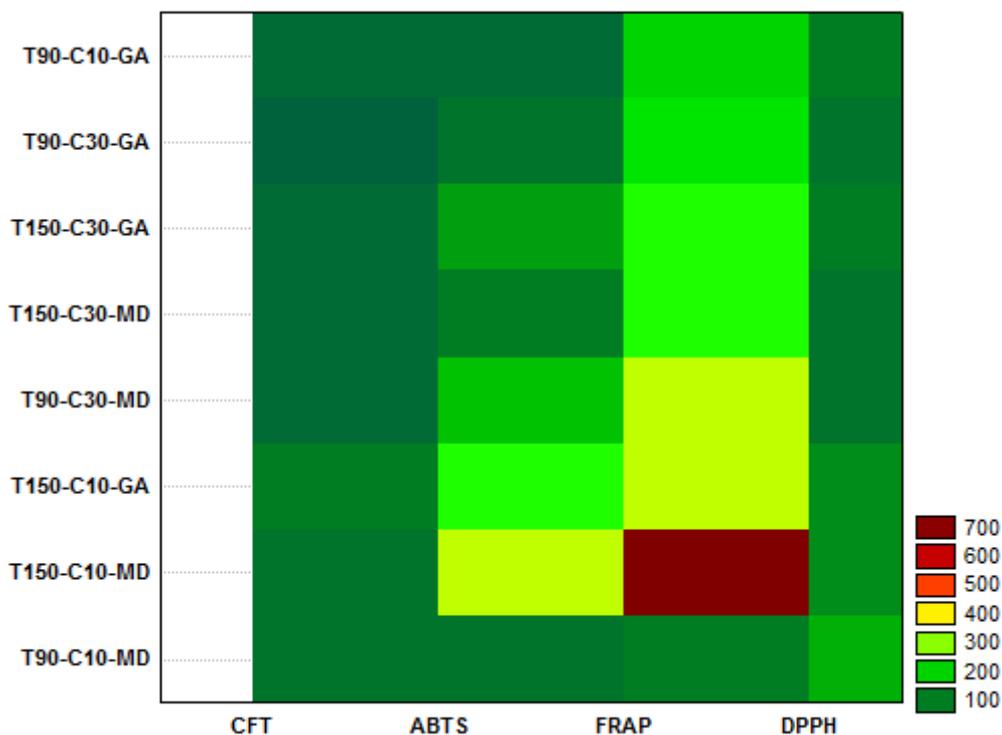


Figura 18: Análise de agrupamento Two-Way das respostas compostos fenólicos totais e atividade antioxidante pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP em função das diferentes condições de secagem da polpa de feijoa por spray drying utilizando o planejamento fatorial 2^3

Em função desses resultados, as condições experimentais estabelecidas para experimento 6 (T150-C10-MD), representadas por temperatura do ar de secagem 150 °C, concentração de agente encapsulante 10 e utilizando maltodextrina para encapsular, foram sugeridas como a condição mais favorável para a obtenção de microcápsulas de polpa de feijoa com presença de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante.

Nesta condição de secagem, ocorre a redução de somente 12,36% no teor de CFT e 30,54% na atividade antioxidante por DPPH. Apesar das perdas, a condição do experimento 6 apresenta-se como alternativa viável para manter

a atividade antioxidante pelos três métodos aplicados retendo também os compostos fenólicos totais quando comparada com o fruto *in natura*.

Além do mais, no processo de secagem por *spray drying* quando se aplica maior temperatura de secagem é maior a possibilidade de, durante a desidratação, as partículas não aderirem na parede do equipamento e ocorrer a obtenção de capsulas com melhores características morfológicas e físicas quando comparadas com as secagens em baixas temperaturas.

Além disso, o uso de menos agente encapsulante, tanto goma arábica quanto maltodextrina, em polpas de frutas é recomendável devido ao alto índice glicêmico da mistura (SUN-WATERHOUSE; WATERHOUSE, 2014; CHUNG, 2016), além de proporcionar a redução do custo do processo.

Contudo, o agente encapsulante que protegeu melhor os compostos antioxidantes e promoveu melhor atividade antioxidante durante a secagem foi a maltodextrina, visto que os maiores atividades antioxidantes pelos três métodos encontram-se nas microcápsulas com adição deste agente. Além disso, a maltodextrina possui menor valor de custo em relação a goma arábica.

A Figura 19 apresenta os dados dos valores do coeficiente de correlação de Serman entre os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante das soluções metanólicas de polpa de feijoa microencapsulada.

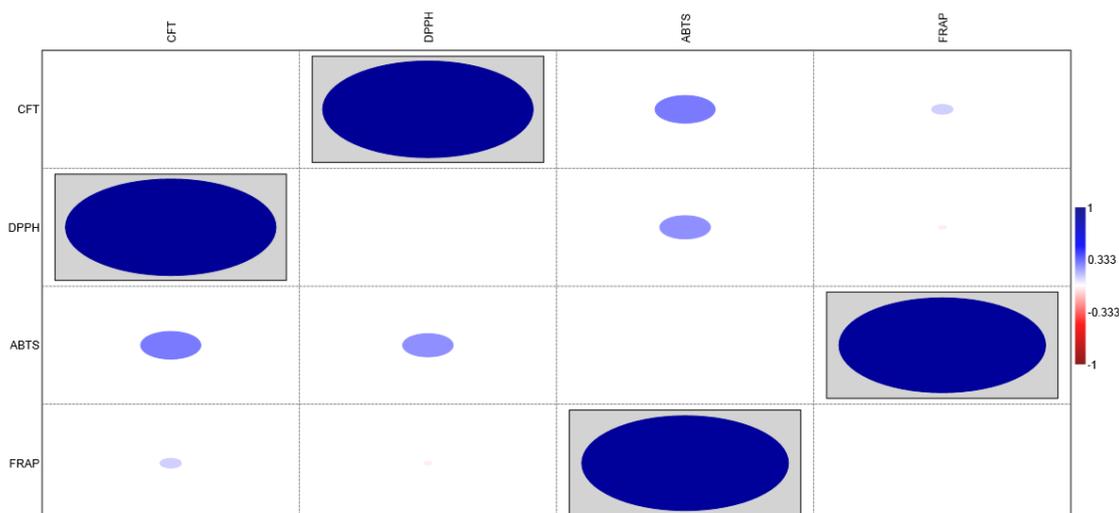


Figura 19: Matriz de correlação de Serman para compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) das microcápsulas de polpa de feijoa por *spray drying*.

Os CFT apresentaram correlação positiva e significativa ($p \leq 0,05$) para atividade antioxidante por DPPH. Estes resultados sugerem que os CFT são os principais contribuintes com correlação positiva com a atividade antioxidante por DPPH, uma vez que o aumento na concentração destes compostos aumentou esta atividade antioxidante.

Entretanto, outras substâncias não fenólicas com potencial oxidante também contribuíram para a atividade antioxidante conforme determinado nas análises de ABTS e FRAP, sendo que estas não apresentaram correlação significativa com os CFT.

Dessa forma, os CFT são importantes para exercer tal atividade, mas outras substâncias encapsuladas, que não são fenólicas, também foram importantes para a determinação da atividade antioxidante, fato que explica a falta de correlação entre ABTS e FRAP com os CFT.

Alta correlação foi observada entre o conteúdo de CFT e a atividade de captura dos radicais DPPH. De acordo com Beyhan, Elmastaş e Gedikli (2010), a relação altamente positiva entre fenóis totais e atividade antioxidante foi encontrada em muitas espécies de plantas.

A fim de obter visão geral das interações entre os parâmetros e variáveis do processo de microencapsulação, foi realizada a análise de componentes principais (PCA). O principal objetivo do PCA é reduzir a complexidade do conjunto de dados, introduzindo componentes principais (OLIVEIRA, FILHO e FIRETTI, 2014). A PCA foi realizada sobre o conjunto de dados dos teores de CFT e de atividade antioxidante em que apresentou 94,71% da variância explicada, sendo PC1 com 55,23% de variação e PC2 com 39,48% (Figura 20).

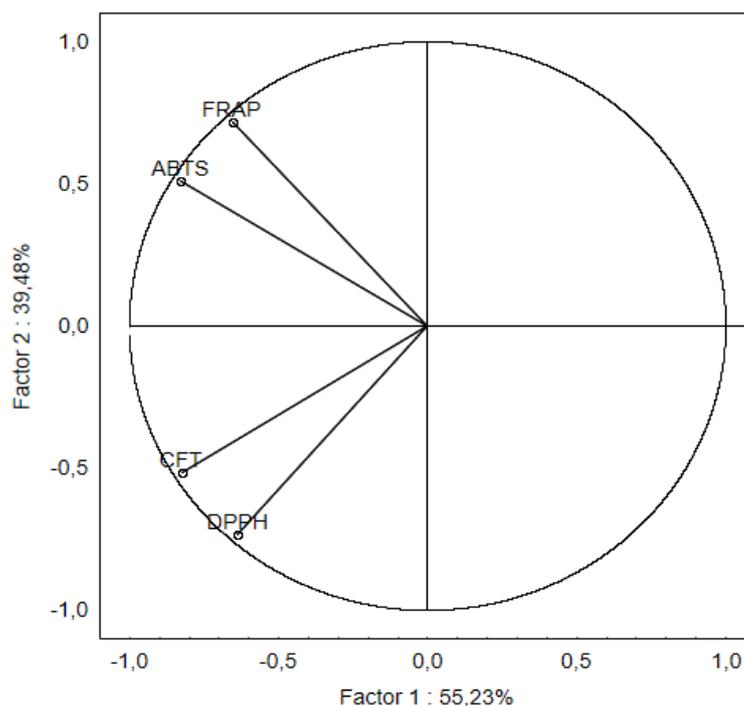


Figura 20 - Gráfico dos componentes principais (PCA-1 e PCA-2) das amostras e da distribuição percentual da atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas em diferentes condições de secagem por *spray drying*.

Os agrupamentos dos experimentos foram observados ao longo do PC1 que coincide com as diferenças na concentração de agente encapsulante conforme observado na Figura 21. Os experimentos M2, G2 e M1 obtidos com baixa concentração de agente encapsulante foram agrupados nos quadrantes 3 e 4, enquanto que os experimentos G3, G4, M3 e M4, obtidos com alta concentração, foram agrupados nos quadrantes 1 e 4. O experimento G1 embora obtido em baixa concentração encontra-se no quadrante 4.

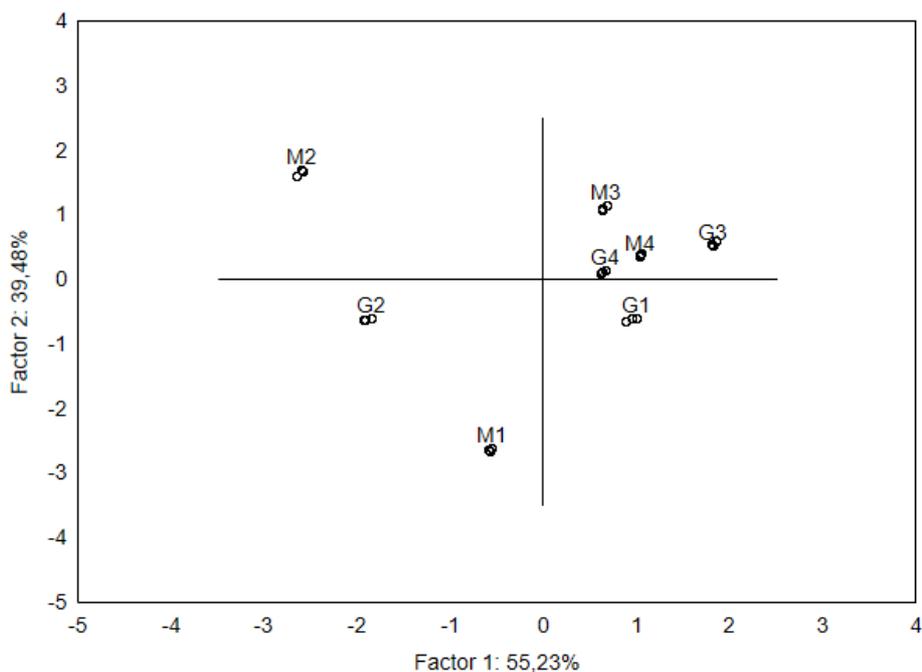


Figura 21 - Gráfico de escores da atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais das amostras dos experimentos de secagem da polpa de feijoa por *spray drying*. Legenda: G1 (experimento 1), G2 (experimento 2), G3 (experimento 3), G4 (experimento 4), M1 (experimento 5), M2 (experimento 6), M3 (experimento 7), M4 (experimento 8).

O ensaio M2 apresentou maiores valores de atividade antioxidante pelas metodologias de ABTS e FRAP. Já os ensaios G2 e M1 apresentaram maiores teores de CFT e atividade antioxidante pela análise de DPPH. Já os demais ensaios G1, G3, G4, M3 e M4, apresentaram baixas atividade antioxidante pelos diferentes métodos utilizados.

5.4 PERFIL DOS COMPOSTOS FENÓLICOS ANALISADOS POR CLAE

A cromatografia permite separar, identificar e quantificar compostos fenólicos presentes na amostra (COLLINS, BRAGA; BONATO, 2006). Sendo assim, realizou-se cromatografia líquida de alta eficiência dos extratos das microcápsulas, utilizando-se nove padrões (ácido gálico, ácido cafeico, ácido siríngico, ácido trans-cinâmico, ácido cumárico, catequina, epicatequina, rutina e quercetina) para identificações de ácidos fenólicos e flavonoides nas amostras.

Na Figura 22 são apresentados os cromatogramas do mix de oito padrões utilizados para análise de fitoquímicos. Durante as corridas das soluções metanólicas na análise por cromatografia percebeu-se a suspeita da presença do composto catequina. Logo, foi realizado o cromatograma padrão deste composto (Figura 23) para confirmar e identificar sua presença nas amostras.

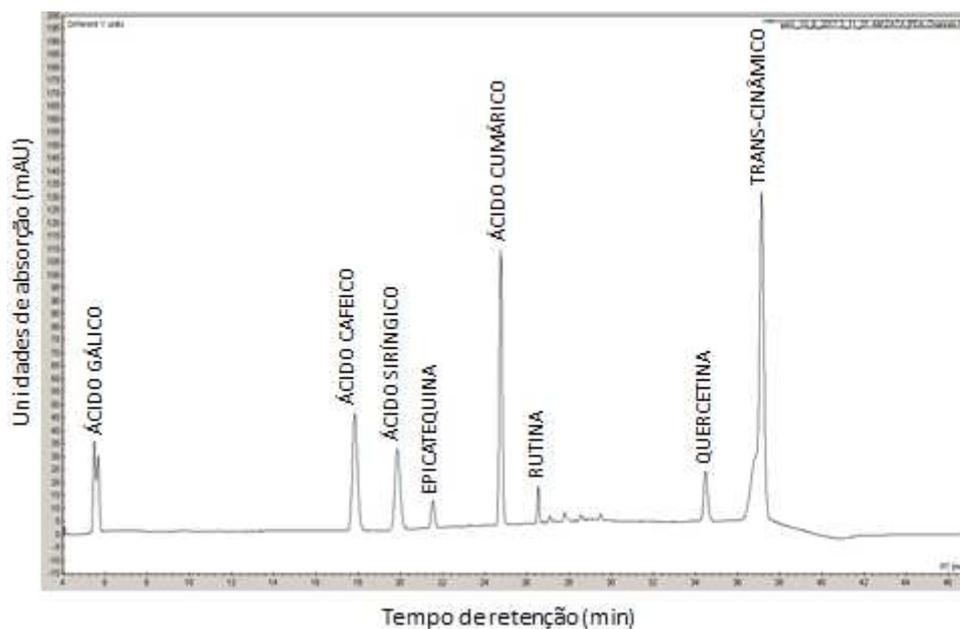


Figura 22 - Cromatograma dos padrões analíticos de compostos fenólicos utilizados na cromatografia líquida de alta eficiência.

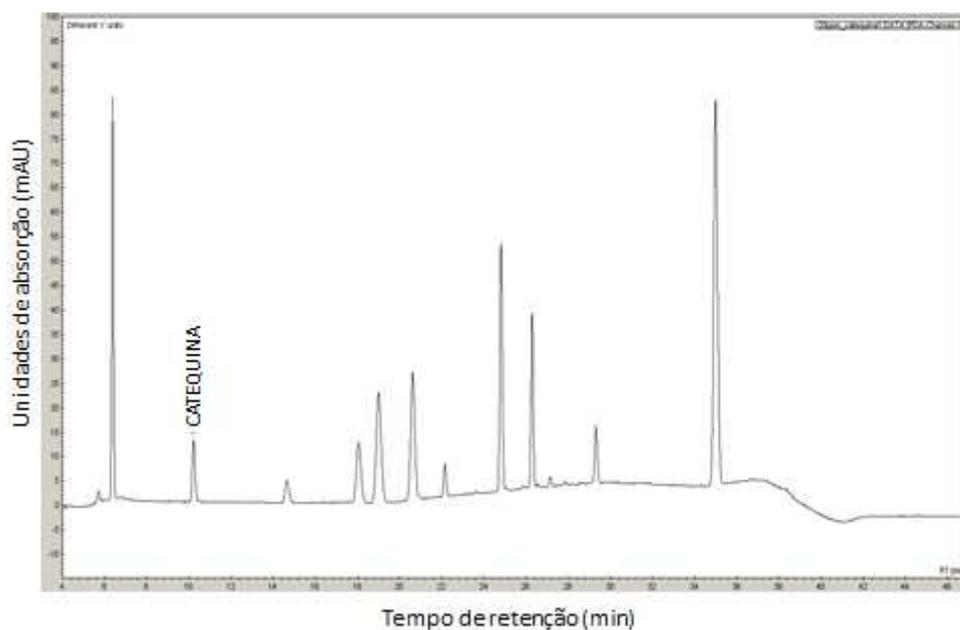


Figura23 - Cromatograma do padrão analítico catequina utilizado na cromatografia líquida de alta eficiência.

Os cromatogramas com o perfil dos compostos fenólicos totais nas amostras de polpa de feijoa microencapsuladas com goma arábica e maltodextrina são apresentados nas Figuras 24 e Figura 25, respectivamente.

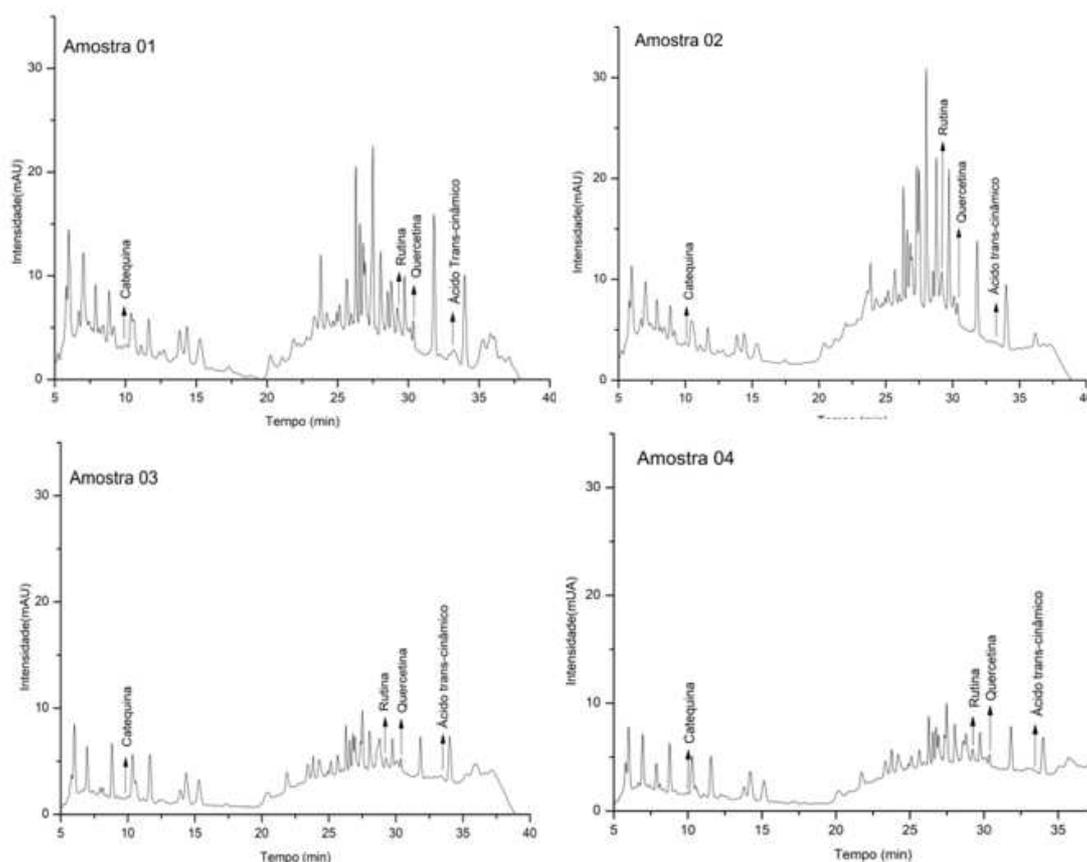


Figura24 - Cromatogramas das amostras de polpa de feijoa microencapsulada com goma arábica e seus respectivos compostos identificados: Catequina, Rutina, Quercetina e Trans-cinâmico.

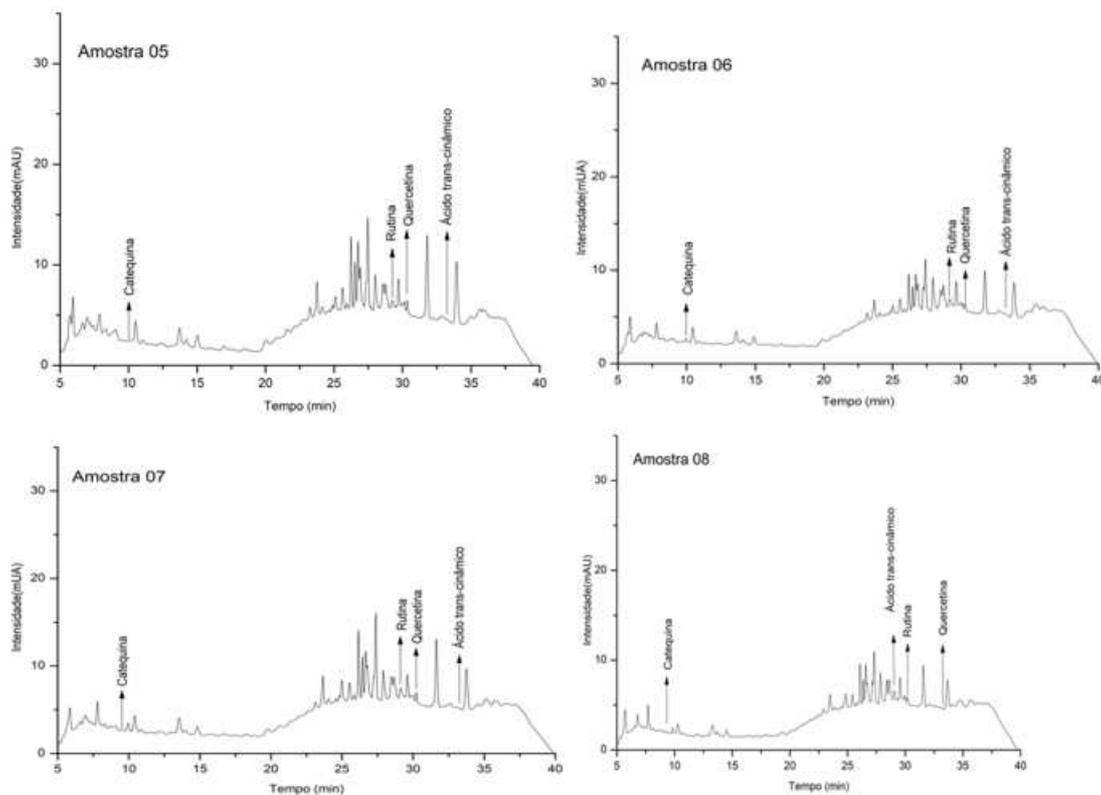


Figura25 - Cromatogramas das amostras de polpa de feijoa microencapsulada com maltodextrina e seus respectivos compostos identificados: Catequina, Rutina, Quercetina e Trans-cinâmico.

Ao analisar os cromatogramas da polpa de feijoa microencapsulada sugere-se a presença de três flavonoides (catequina, rutina e quercetina) e um ácido fenólico (ácido trans-cinâmico).

As curvas de calibração obtidas utilizando-se os padrões analíticos deram origem as equações de regressão pelas as quais foi possível calcular as concentrações dos compostos identificados nas amostras dos ensaios. Na Tabela 11 encontra-se o tempo de retenção, a equação de regressão e o valor do coeficiente dos três flavonoides e do ácido fenólicos identificados nas amostras.

Tabela 12 - Tempos de retenção (T.R.), equação de regressão e coeficientes de determinação (R²) para cada composto fenólico identificado na polpa de feijoa microencapsulada.

Compostos Fenólicos	T.R. (min)	Equação de regressão	R ²
Ácido trans-cinâmico	32,04	$y = 6,211x - 13,051$	0,9625
Catequina	10,00	$y = 0,1794x - 0,1560$	0,9311
Rutina	24,73	$y = 0,355x - 0,7723$	0,9551
Quercetina	30,20	$y = 0,9346x - 1,0338$	0,9616

A quantificação dos quatro compostos fenólicos presentes na polpa de feijoa microencapsulada estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 13 - Valores quantificados de cada composto fenólico identificado nas microcápsulas de polpa de feijoa obtidas nos ensaios do estudo de secagem por spray drying.

Experimento	Temperatura (°C)	Concentração(%)	Agente Encapsulante	Compostos Fenólicos (µg g ⁻¹)			
				Rutina	Catequina	Quercetina	Ácido trans-cinâmico
1	90	10	GA	75,87	18,59	63,42	40,93
2	150	10	GA	46,13	73,69	26,09	32,13
3	90	30	GA	55,13	97,07	34,38	33,34
4	150	30	GA	51,11	71,64	27,28	33,12
5	90	10	MD	54,13	36,44	35,10	34,21
6	150	10	MD	52,45	81,72	28,82	32,98
7	90	30	MD	48,17	24,91	36,99	33,56
8	150	30	MD	51,44	31,99	28,45	32,87
Média				54,30	54,51	35,07	34,14
C. V. %				16,94	54,66	34,63	8,22

GA: Goma arábica; MD: Maltodextrina.CV; Coeficiente de Variação.

As maiores concentrações dos quatro compostos foram encontradas para as amostras encapsuladas com goma arábica: rutina 75,87 µg g⁻¹ (Experimento 1), catequina 97,07 µg g⁻¹ (Experimento 3), quercetina 63,42 µg g⁻¹ (Experimento 1) e ácido trans-cinâmico 40,93 µg g⁻¹ (Experimento 1) (Tabela 10). Estes compostos foram retidos em maior quantidade na condição de menor temperatura de secagem e menor concentração desse agente encapsulante, exceto para catequina que apresentou maiores teores quando encapsulada em maior concentração de agente.

A alta retenção destes compostos fenólicos totais com goma arábica pode estar relacionada à sua estrutura, uma vez que é um heteropolímero altamente ramificado, com pequena quantidade de proteína covalentemente ligada à cadeia de carboidratos, atuando como excelente formador de filme, o que permite o encapsulamento efetivo de moléculas fenólicas (BURIN et al., 2011; KUCK; NORENÃ, 2016). Já as maltodextrinas são estruturalmente formadas por polímeros de α -D-glicose, em que o número dessas unidades caracterizam a dextrose equivalente (FENNEMA, 2010).

Essas diferenças estruturais entre a goma arábica e a maltodextrina podem estar relacionados as maiores quantidades de compostos fenólicos identificados na polpa microencapsulada com goma arábica.

É importante ressaltar a presença de outros compostos fenólicos presentes na polpa de feijoa além dos padrões estudados, os quais não foram utilizados na análise de CLAE e que poderiam ser identificados nas amostras.

No trabalho de Castelucci (2015), dos treze compostos fenólicos investigados na polpa de feijoa, foram identificados e quantificados os ácido cafeico, ácido elágico, ácido gálico, ácido quínico, ácido xiquímico, quercetina e rutina.

Outras frutas da família Myrtaceae também foram estudadas por Golçalves, Lajolo e Genovese (2010) quanto à existência de flavonoides em sua composição, sendo identificados quercetina em amostras de frutas de Cambuci (21,6 mg 100 g⁻¹), Araçá-boi (14,4 mg 100 g⁻¹), Camu-camu (42,0 mg 100 g⁻¹) e Araçá (40,0 mg 100 g⁻¹).

Outros estudos identificaram quercetina na Jabuticaba (0,04 μ g g⁻¹), Pitomba (0,04 μ g g⁻¹), Camu-Camu (240 μ g g⁻¹), Jambo (0,01 μ g g⁻¹), Jamelão (0,01 μ g g⁻¹), Pitanga (20,06 mg100g⁻¹) e cereja (0,04 μ g g⁻¹), além de Rutina na Jabuticaba (210 μ g g⁻¹), Pitomba (180 μ g g⁻¹), Camu-Camu (0,13 μ g g⁻¹), Cereja (480 μ g g⁻¹) e Jamelão (130 μ g g⁻¹)(CORREIA et al., 2011; REYNERTSON et al., 2008).

5.7 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS MICROCÁPSULAS

Os resultados das características físicas das microcápsulas de polpa de feijoa produzidas no processo de secagem por *spray drying* com as diferentes condições de estudo estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 14 - Valores das características físico-químicas da polpa de feijoa microencapsulada de acordo com o experimento fatorial 2³.

Experimentos	Variáveis Codificadas			Variáveis Reais			Variáveis Respostas				
	X1	X2	X3	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Agente Encapsulante	Umidade (%)	Atividade de água	Higroscopicidade (%)	Solubilidade (%)	Dissolubilidade (s)
1	-1	-1	-1	90	10	GA	15,40	0,394	17,14	91,69	212
2	+1	-1	-1	150	10	GA	11,76	0,208	24,33	93,63	180
3	-1	+1	-1	90	30	GA	8,21	0,443	13,15	91,24	142
4	+1	+1	-1	150	30	GA	5,04	0,143	18,27	95,49	230
5	-1	-1	+1	90	10	MD	12,26	0,342	16,04	93,20	333
6	+1	-1	+1	150	10	MD	10,38	0,304	17,04	93,60	378
7	-1	+1	+1	90	30	MD	7,55	0,386	13,44	94,88	197
8	+1	+1	+1	150	30	MD	4,61	0,208	15,29	99,73	205
Média							9,40	0,304	16,84	94,18	234,42
C. V. %							37,95	33,65	20,01	2,71	35,09

X₁ – Temperatura do ar de secagem (°C); X₂ – Concentração de agente encapsulante (%); X₃ – Tipo de agente encapsulante. GA: Goma Arábica; MD: Maltodextrina. C.V – Coeficiente de Variação

Os parâmetros de teor de umidade, atividade de água (A_w) e higroscopicidade são essenciais para avaliação da estabilidade e armazenamento dos pós, enquanto a solubilidade e dissolubilidade estão associadas à reconstituição desses pós (TONON et al., 2008).

Os valores de umidade obtidos para as microcápsulas de polpa de feijoa variaram entre 4,61 e 15,40% (Tabela 13). A amostra do experimento 8 (150 °C; 30%; maltodextrina) apresentou menor valor de umidade de 4,61% dentre os demais ensaios.

Os menores valores de umidade foram observados nas condições dos ensaios em que a maior concentração de agente encapsulante (30%) foi empregada. A temperatura também influenciou nesse parâmetro, visto que os ensaios realizados em maior temperatura (150 °C) produziram pós com menores teores de umidade. As microcápsulas desidratadas com maltodextrina apresentaram valores de umidade menores que as obtidas com goma arábica para as mesmas condições de secagem.

Krishnaiah et al. (2015) encontraram valores de umidade em faixa de 4,20 e 14,30% (140 e 90 °C, respectivamente) em seu estudo das condições operacionais de secagem por pulverização do extrato de frutos de noni (*Morinda citrifolia* L.). Esses resultados estão próximos ao encontrado no presente estudo.

Silva et al. (2013) microencapsulou extratos de casca de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) por *spray drying* utilizando diferentes agentes encapsulantes (30% de maltodextrina, 25% de goma arábica + 5% de maltodextrina e 25% de CapsulTM + 5% de maltodextrina) e conseguiu menores valores de umidade para as amostras encapsuladas com 30% de maltodextrina em relação as com goma arábica.

Em relação à atividade de água (A_w), as amostras apresentaram valores de 0,143 a 0,443 (Tabela 13), o que é bastante favorável à estabilidade dos alimentos. A amostra do experimento 4 (150 °C; 30%; goma arábica) apresentou menor valor de A_w de 0,143 entre os demais ensaios.

Os alimentos de baixa atividade de água (<0,60) são microbiologicamente estáveis. A atividade de água elevada indica maiores teores de água livre para a ocorrência de reações bioquímicas e, portanto, menor prazo de validade (FENNEMA, 2010).

Observa-se relação direta entre a A_w e a temperatura do ar de secagem nos ensaios, sendo que a maior temperatura de entrada (150 °C) produziu microcápsulas com menor A_w , tanto para goma quanto para maltodextrina. Santana et al. (2014) encontraram valores de A_w entre 0,13 e 0,30 (188 e 170 °C, respectivamente) na secagem de polpa de pequi por *spray drying*.

Para ambos os agentes encapsulantes utilizados, verificou-se que, na temperatura de 90 °C, obteve-se pós com maiores A_w conforme o aumento da concentração de agente encapsulante. Porém, quando a desidratação foi realizada a 150 °C, o aumento da concentração dos agentes produziu pós com menores A_w . Logo, verifica-se a influência da concentração dos agentes encapsulantes e da temperatura na atividade de água. Por outro lado, não se observa essa influência em relação ao tipo de agente empregado.

Nunes (2014) encontrou valores de atividade de água entre 0,205 a 0,279 em amostras de extratos de erva mate microencapsulados e verificou que o aumento na concentração de maltodextrina provocou a diminuição na A_w das microcápsulas.

Os valores de higroscopicidade variaram entre 13,15% a 24,33% (Tabela 13). As microcápsulas com menores higroscopicidade foram obtidas no experimento, o qual foi realizado na condição de secagem de 90 °C e 30 % de goma arábica. A maior temperatura de secagem proporcionou microcápsulas com maiores teores de higroscopicidade.

Bazaria e Kumar (2016) obtiveram valores de higroscopicidade das partículas de suco de beterraba desidratado por *spray drying* entre 14,46% e 20,68% e verificou que as maiores higroscopicidades foram obtidas nas condições de maior temperatura de secagem.

Rodriguez-Hernandez et al. (2005), confirmou redução na higroscopicidade com o aumento da taxa de adição de maltodextrina ao trabalhar com a secagem por pulverização de pigmentos de betacianina.

Bazaria e Kumar (2016) verificaram que os pós produzidos com 5% de maltodextrina (DE 10) foram mais higroscópicos do que aqueles com 10% e 15% desse agente encapsulante. Nunes (2014), também observou diminuição neste parâmetro quando aumentou a concentração de agente encapsulante, obtendo valores de 17,83 a 25,91%. Resultados semelhantes foram relatados

por Mishra, Mishra e Mahanta (2013) e Vidović et al. (2014) para suco de *Amlae* extrato de *Satureja montana*, respectivamente.

As amostras encapsuladas com maltodextrina apresentaram menores valores de higroscopicidade em relação a goma arábica. Silva et al. (2013) também obteve menores valores de higroscopicidade para as amostras encapsuladas com 30% de maltodextrina do que para 25% de goma arábica + 5% de maltodextrina na secagem de extratos de casca de jaborcaba (*Myrciaria jaborcaba*) por *spray drying*.

Em relação a solubilidade, as microcápsulas produzidas com maltodextrina e goma arábica se mostraram bastante solúveis (Tabela 13), acima de 90% de solubilidade (91,24 a 99,73%), conforme as características destes agentes encapsulantes, sendo que as amostras desidratadas com maltodextrina foram mais solúveis em comparação com goma arábica. Entre os ensaios realizados o experimento 5 (150 °C; 30%; maltodextrina) apresentou maior valor de solubilidade.

Estes valores foram superiores aos encontrados para polpa de juçara (*Euterpe edulis*) produzida por atomização, os quais apresentaram valores entre 77,99 e 83,78% (SANTANA et al., 2017). Souza et al. (2015) também encontrou valores de solubilidade entre 91,84 e 97,49% (130 e 170 °C, respectivamente) quando avaliou o efeito da secagem por *spray drying* sobre as propriedades físico-químicas do pó obtido a partir de subprodutos de vinificação da uva Bordo (*Vitis labrusca*).

A dissolubilidade, ou seja, o tempo necessário para solubilizar as microcápsulas em água variou de 140 a 378 s (Tabela 13). No resultado das microcápsulas com goma arábica não se observa relação direta com os fatores estudados. Já nas microcápsulas com maltodextrina, verificou-se que a menor dissolubilidade foi obtida com menor temperatura e maior concentração de agente encapsulante.

Khuenpet et al. (2016) encontrou valores de dissolubilidade das amostras de suco de cana-de-açúcar entre 45 e 79,8 s indicando que o pó poderia ser dissolvido em água à temperatura ambiente sem dificuldade. Este tempo foi menor que os obtidos no presente estudo com as microcápsulas de polpa de feijoa.

Para a análise dos resultados dos efeitos principais e das interações entre as variáveis independentes sobre as características físico-químicas das microcápsulas de polpa de feijoa foi aplicado o teste de Bonferroni de comparação por pares para comparar o nível de significância, como apresentado na Tabela 14.

Tabela 15 - Efeitos calculados para o planejamento fatorial 2³ a partir das respostas de características físico-químicas da polpa de feijoa microencapsulada por *spray drying*.

	Umidade		Atividade de Água		Higroscopicidade		Solubilidade		Dissolubilidade	
	Qui- Quadrado de Wald	p-valor								
Efeitos principais:										
X1 (Temperatura °C)	16544,160	< 0,05	208219,651	< 0,05	1420,959	< 0,05	902,063	< 0,05	5,039	< 0,05
X2 (Concentração %)	63376,987	< 0,05	8760,098	< 0,05	1318,547	< 0,05	568,274	< 0,05	35,593	< 0,05
X3 (Agente encapsulante)	2293,344	< 0,05	7518,631	< 0,05	633,241	< 0,05	599,779	< 0,05	41,694	< 0,05
Efeitos secundários de interação:										
X1; X2	2446,345	< 0,05	32778,856	< 0,05	4,127	< 0,05	302,634	< 0,05	6,672	< 0,05
X1; X3	79,109	< 0,05	35759,457	< 0,05	453,073	< 0,05	11,026	< 0,05	0,504	0,478
X2; X3	260,866	< 0,05	0,070	0,792	134,184	< 0,05	272,517	< 0,05	20,356	< 0,05
Efeito trifatorial:										
X1; X2; X3	100,821	< 0,05	3,340	0,068	15,006	< 0,05	25,552	< 0,05	11,451	< 0,05

Resultados com p -valor $\leq 0,05$ são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 5%.

As variáveis independentes (temperatura do ar de secagem, concentração e tipo de agente encapsulante) influenciaram significativamente sobre as respostas das características físico-químicas com todos os fatores de primeira, segunda e terceira ordem sendo significativos. Para atividade de água, a interação secundária entre concentração e tipo de agente encapsulante e a interação trifatorial não foram significativos. E para dissolubilidade, a interação entre temperatura e tipo de agente encapsulante não foi significativa.

O aumento da temperatura proporcionou obtenção de microcápsulas com menor teor de umidade e menor atividade de água devido a evaporação de água que ocorre no processo de *spray drying*. Na secagem em *spray dryer*, é comum observar que o aumento da temperatura de secagem resulta em maior perda de água do material a ser desidratado (FERRARI et al., 2012; CAVALCANTE et al., 2017).

Thirugnanasambandham e Sivakumar (2017) também verificaram que os teores de umidade das microcápsulas diminuem com o aumento da temperatura do ar de entrada ao longo do processo de secagem por pulverização do suco de romã. Isso pode ser explicado pelo fato de que, em temperatura do ar de entrada mais elevada, ocorre o gradiente de temperatura maior entre a alimentação de gotículas finas e o ar de secagem quente, resultando em maior velocidade de transferência de calor para a partícula e proporcionando força motriz melhor para o teor de umidade.

Ao mesmo tempo em que o processo produz microcápsulas mais desidratadas estas apresentam maior capacidade de adsorver água do meio, ou seja, aumentando sua higroscopicidade. Da mesma forma, o decréscimo na temperatura do ar de entrada leva a diminuição dos valores de higroscopicidade, que podem ser explicados pelo aumento do teor de umidade com menor temperatura e também ao gradiente de concentração de água entre o produto e o ar circundante (Phisut, 2012; Bazaria e Kumar, 2016).

A temperatura mais elevada (150 °C) produziu pós com maior solubilidade. Essa característica pode estar relacionada ao fato das microcápsulas, em maiores temperaturas, serem solúveis por apresentar menor umidade, menor A_w e maior higroscopicidade. Além disso, o emprego de temperaturas maiores favorece a produção de microcápsulas com menos

aglomerações, aumentando a superfície de contato e conseqüentemente solubilizando-se mais facilmente e em menos tempo em água.

Em relação a concentração, a utilização de agente encapsulante promove aumento no teor de sólidos totais e reduz o teor de umidade do material a ser desidratado, facilitando a obtenção de pós com menor teor de umidade e atividade de água (QUEK et al., 2007; CAVALCANTE et al., 2017).

A higroscopicidade e a solubilidade estão relacionadas com as características dos agentes encapsulantes utilizados (FERRARI et al., 2011). Dessa forma, quanto maior a concentração de agente encapsulante menor a higroscopicidade e dissolubilidade e maior a solubilidade.

Os agentes encapsulantes utilizados apresentaram diferenças químicas estruturais que interferem significativamente nas características das microcapsulas obtidas. A maltodextrina proporcionou microcápsulas com menor umidade e atividade de água devido a sua estrutura simples formada por são polímeros de glicose apresentando unidades de D-glicose unidas a ligações glicosídicas $\alpha(1-4)$ (FENNEMA, 2010), sem a possibilidade de aprisionamento de água. Por outro lado, a goma arábica de estrutura ramificada composta por unidades de D-galacto-piranosose unidas por ligações β -D-glicose(1-3) (SOUZA et al., 2015), favoreceu a produção de microcápsulas com maior atividade de água, umidade e higroscopicidade. Da mesma forma, a goma arábica possui maior capacidade de aprisionamento de água em sua estrutura devido a maior complexidade da sua molécula.

O mesmo comportamento foi relatado no estudo conduzido por NUNES (2014), em que a adição de agente encapsulante (maltodextrina) na solução de alimentação antes da secagem por *spray drying* de erva-mate diminuiu o teor de umidade dos pós produzidos por pulverização. Isso se deve ao fato de a maltodextrina ser material com baixa higroscopicidade (TONON, BRABET e HUBINGER, 2009) e confirma a eficiência de seu uso como agente carreador, no sentido de reduzir a higroscopicidade de produtos desidratados em *spray dryer*.

Ainda, a maltodextrina, amplamente utilizado na indústria alimentar, tem a vantagem de ser eficiente em termos de custos e altamente solúvel (SAÉNZ et al., 2009; SILVA et al., 2013).

5.8 ANÁLISE DE COR DAS MICROCÁPSULAS DE POLPA DE FEIJOA

Os valores dos atributos de cor das microcápsulas de feijoa estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores dos parâmetros de cor CieLab das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas nos ensaios do estudo de secagem por *spray drying* das matérias-primas utilizadas para microencapsular.

Experimento	Variáveis Codificadas			Temperatura (°C)	Variáveis Reais		Agente Encapsulante	Variáveis Respostas				
	X1	X2	X3		Concentração (%)			L*	a*	b*	C*	h*
1	-1	-1	-1	90	10		GA	55,89	2,79	10,91	11,26	75,68
2	+1	-1	-1	150	10		GA	60,04	1,59	7,50	7,66	78,03
3	-1	+1	-1	90	30		GA	61,13	1,19	7,60	7,69	81,10
4	+1	+1	-1	150	30		GA	61,03	1,08	6,44	6,53	80,45
5	-1	-1	+1	90	10		MD	58,42	2,57	11,95	12,22	77,87
6	+1	-1	+1	150	10		MD	62,01	1,66	9,26	9,41	79,84
7	-1	+1	+1	90	30		MD	64,15	0,96	7,60	7,66	82,79
8	+1	+1	+1	150	30		MD	63,18	1,04	7,13	7,21	81,73
Média								60,73	1,61	8,55	8,71	79,69
C. V. %								4,18	42,11	21,98	22,60	2,82
Polpa <i>in natura</i>								55,45	-0,16	14,12	14,14	90,66
Goma arábica								57,25	1,40	8,99	9,09	81,15
Maltodextrina								68,23	-0,79	1,98	2,13	111,76

X₁ – Temperatura do ar de secagem (°C); X₂ – Concentração de agente encapsulante (%); X₃ – Tipo de agente encapsulante. GA: Goma Arábica; MD: Maltodextrina. L* = Luminosidade; a* = coordenada vermelho/verde; b* = coordenada amarelo/azul; C* = Cromaticidade; h* = ângulo 'hue'.

A luminosidade das amostras em pó variou entre 55,89 e 64,15. Os pós dos experimentos 1 e 5 apresentaram coloração mais escuras e menores valores de luminosidade entre os ensaios. Estes foram desidratados em menor temperatura do ar de secagem (90 °C) e menor concentração de agente encapsulante (10%).

O experimento 1 obteve a coloração mais próxima ao atributo de luminosidade da polpa *in natura*. O valor de luminosidade da goma arábica ($L^*_{\text{goma arábica}} = 57,25$) é próximo da polpa *in natura* ($L^*_{\text{polpa in natura}} = 55,45$), fato que contribui para a coloração aproximada do pó obtido nas condições do experimento 1.

A baixa temperatura de secagem juntamente com a baixa concentração de agente encapsulante (90 °C e 10%) influenciam na cor das microcápsulas apresentando resultado de L^* mais próximo de 0, ou seja, deixando-as mais escuras que os demais ensaios.

A diferença de luminosidade entre as amostras pode estar relacionada aos tipos de agentes encapsulantes empregados, pois ambos apresentaram valores de L^* diferentes (Tabela 15), interferindo na cor final do produto.

Nunes (2014), também verificou que a luminosidade das amostras aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina, confirmando a grande influência dos agentes na colorimetria das microcápsulas.

Em relação aos valores obtidos para a coordenada a^* , componente de cor que varia de verde (negativo) ao vermelho (positivo), nenhum dos ensaios obteve valores de a^* próximos ao da polpa *in natura*, sendo que as amostras variaram entre 0,96 a 2,79. Este comportamento pode ser atribuído aos valores dessa coordenada de ambos os agentes encapsulante estarem distantes do valor obtido para a polpa *in natura*.

Os valores das microcápsulas de todos os ensaios para o parâmetro de a^* aumentaram durante a secagem por atomização, no entanto apresentaram valores positivos, indicando a tendência para a cor vermelho.

Em relação aos valores obtidos para b^* , que está relacionado à variação do amarelo (positivo) ao azul (negativo), as amostras variaram entre 6,39 a 11,95.

Os valores do parâmetro b^* dos pós de todos os experimentos diminuíram durante a secagem por atomização, no entanto

apresentaram valores positivos, indicando a tendência para a cor amarela. Os pós dos experimentos 1 e 5 foram os que mais se aproximaram do valor da polpa *in natura*, sendo ambos produzidos em baixa temperatura de secagem e baixa concentração de agente encapsulante.

As amostras apresentaram valores de cromaticidade entre 6,53 e 11,26. Os experimentos 1 e 5 produziram microcápsulas de cores mais saturadas em relação a polpa *in natura*. Todos os ensaios apresentaram redução na saturação da cor durante o processo de secagem.

Em relação ao ângulo de tonalidade (h^*), foi observada a redução no valor para as microcápsulas quando comparadas a polpa *in natura*. As microcápsulas apresentaram valor de ângulo *hue* entre 75,68 e 82,79 e a polpa *in natura* apresentou valor de 90,66 h° . Em ambos os ângulos de tonalidade das microcápsulas se situaram no primeiro quadrante do diagrama de cor, estando entre os eixos a+ (vermelho) e +b (amarelo), tendendo mais ao amarelo que ao vermelho.

Para a análise dos resultados dos efeitos principais e das interações entre as variáveis independentes sobre as análises de cor das microcápsulas de polpa de feijoa foi aplicado o teste de Bonferroni de comparação por pares para comparar o nível de significância, como apresentado na Tabela 16.

Tabela 17-Efeitos calculados para o planejamento fatorial 2³ a partir das respostas de análise de cor da polpa de feijoa microencapsulada por *spray drying*.

	L*		a*		b*		C*		h*	
	Qui-Quadrado de Wald	p-valor								
Efeitos principais:										
X1 (Temperatura °C)	220,913	< 0,05	693,605	< 0,05	4577,786	< 0,05	82,554	< 0,05	4383,778	< 0,05
X2 (Concentração %)	804,006	< 0,05	4796,651	< 0,05	9326,228	< 0,05	2345,321	< 0,05	9382,365	< 0,05
X3 (Agente encapsulante)	428,330	< 0,05	56,400	< 0,05	1010,451	< 0,05	531,413	< 0,05	839,144	< 0,05
Efeitos secundários de interação:										
X1; X2	370,987	< 0,05	638,893	< 0,05	991,979	< 0,05	401,698	< 0,05	1027,304	< 0,05
X1; X3	11,044	< 0,05	57,294	< 0,05	306,871	< 0,05	7,576	< 0,05	295,505	< 0,05
X2; X3	,669	0,413	32,092	< 0,05	246,515	< 0,05	15,712	< 0,05	210,739	< 0,05
Efeito trifatorial:										
X1; X2; X3	,064	0,801	1,127	0,288	2,048	0,152	,044	0,834	2,410	0,121

Resultados com p-valor $\leq 0,05$ são estatisticamente significativos ao nível de confiança de 5%.

As variáveis independentes (temperatura do ar de secagem, concentração e tipo de agente encapsulante) influenciaram significativamente sobre as respostas dos atributos de cor com os fatores de primeira ordem sendo significativos. Entre as interações, somente a interação secundária concentração e agente encapsulante para a resposta luminosidade e a interação trifatorial para todas as respostas não foram significativas.

Zaccari et al. (2017) afirmam que alguns carotenóides produzidos por vegetais são responsáveis pelas cores nas faixas de amarelo, laranja e vermelho, sendo que antocianinas desenvolvem a cor vermelha, rosa, azul ou púrpura, enquanto que cumarinas e alguns flavonoides são coloridos em tons de branco amarelado.

A presença de tais compostos justifica a coloração resultante das microcápsulas após a secagem, visto que o processo empregado possibilitou a proteção desses compostos indicado pela coloração vermelho e azul dos pós. Assim como, os valores de L^* obtidos para as microcápsulas produzidas também indicam ausência de escurecimento não enzimático durante a produção das microcápsulas por *spray drying*. Segundo Porte, Leão e Porte (2014), a variação da luminosidade de amostras secas pode ser considerada como medida do escurecimento não enzimático ocorrido.

Todas as microcápsulas produzidas apresentaram coloração creme à levemente alaranjada (Figura 26) quando vistas à olho nu, representada pelos valores h^* entre 75,68 a 82,72.

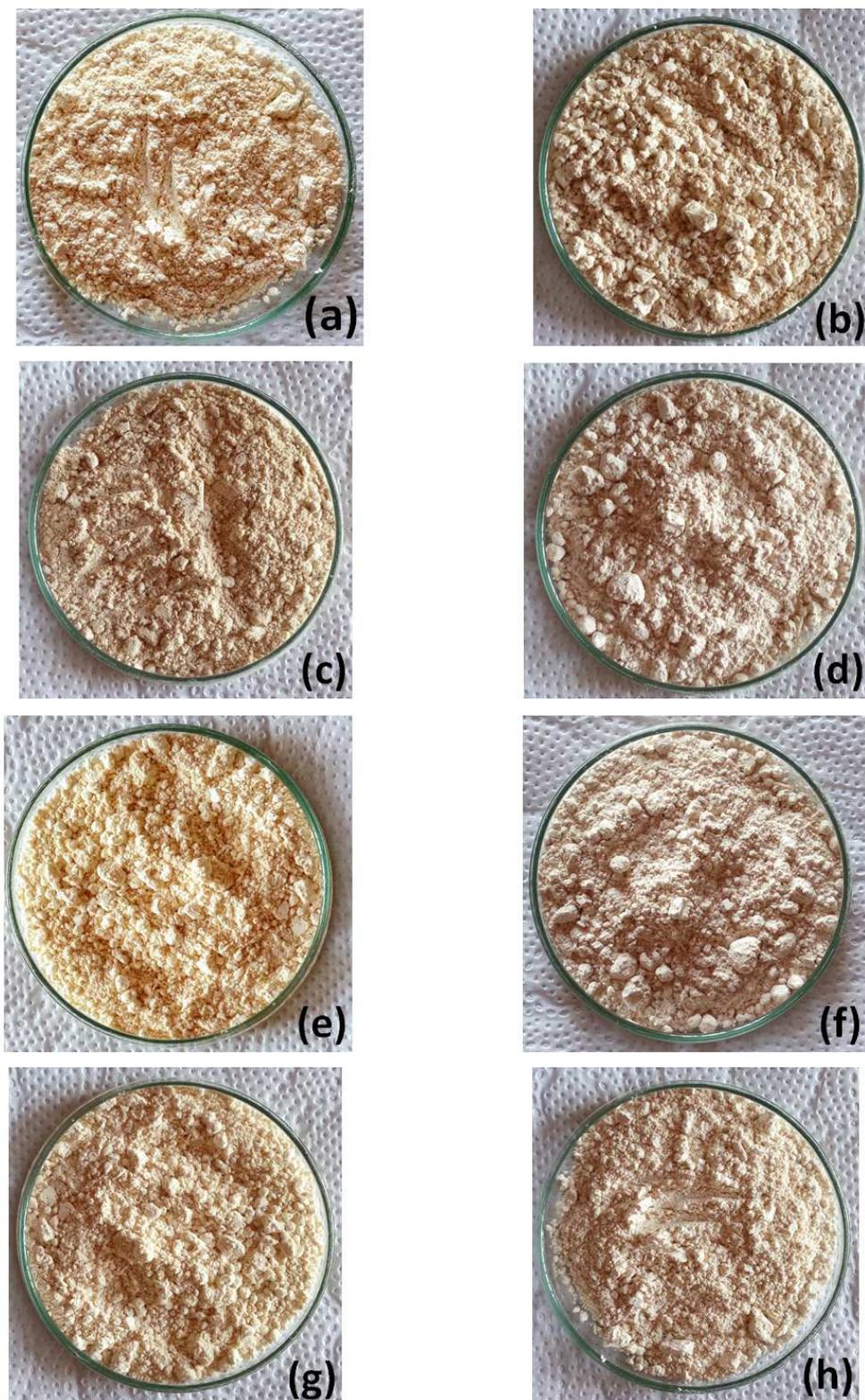


Figura26 – Aspecto visual das amostras em pó de polpa de feijoa microencapsulada com goma arábica e maltodextrina por *spray drying*: a) Experimento 1; b) Experimento 2; c) Experimento 3; d) Experimento 4; e) Experimento 5; f) Experimento 6; g) Experimento 7; h) Experimento 8.

5.5 MORFOLOGIA E TAMANHO DAS MICROCAPSULAS

Os aspectos microestruturais das partículas de polpa de feijoa microencapsulada foram analisadas por MEV e observadas sob ampliação de 4000x. Na Figura 27 são ilustradas as imagens obtidas das microcapsulas.

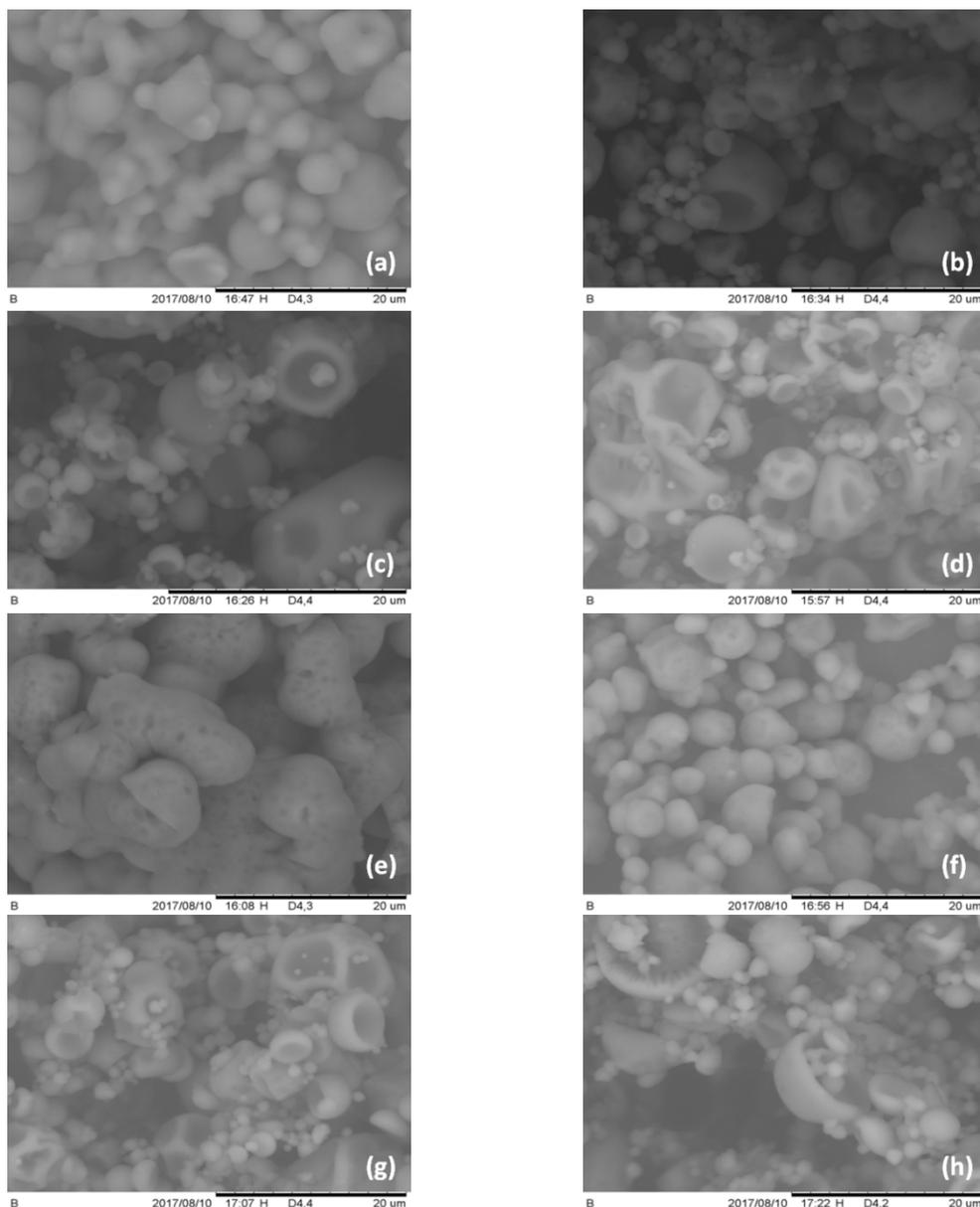


Figura 27 - Imagens microscópicas obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), com aumento de 4000x, das microcapsulas de polpa de feijoa produzidas com goma arábica e maltodextrina por *spray drying*: a) Experimento 1; b) Experimento 2; c) Experimento 3; d) Experimento 4; e) Experimento 5; f) Experimento 6; g) Experimento 7 e h) Experimento 8.

Pela análise das imagens das microcápsulas, verifica-se que o processo de *spray drying* promoveu a formação de cápsulas esféricas de diferentes morfologias.

Observa-se na Figura 27a e 27e que nas condições de ensaio de baixa temperatura do ar de entrada (90 °C) e baixa concentração do agente encapsulante (10%) a secagem por atomização levou a formação de partículas aglomeradas e aderentes, com formatos irregulares e paredes lisas. O tipo de agente encapsulante empregado (goma arábica e maltodextrina) não influenciou na morfologia das microcápsulas.

Nas demais imagens, as partículas formadas apresentaram superfícies rugosas e côncavas (Figuras 27b, 27c, 27d, 27g, 27h).

Já a Figura 20f, microencapsulado em 150 °C e 10% de maltodextrina resultou em partículas com formatos levemente irregulares, uniformes, superfícies lisas e contínuas, com ausência de depressões. Fato este não observado para o experimento 2 (Figura 27b), quando microencapsulado com goma arábica nas mesmas condições.

Nijdam e Langrish (2006), em seu estudo do efeito da composição da superfície sobre as propriedades funcionais dos pós de leite, relatou que a secagem em *spray dryer* com temperaturas mais elevadas promove rápida evaporação da água e a película do material desidratado torna-se seca e rígida, impedindo o encolhimento das partículas, obtendo assim microcápsulas com estruturas mais uniformes. Lokuwan (2007) relata que a maltodextrina com dextrose equivalente a 20 contém grande quantidade de açúcares de baixo peso molecular, que evitam o encolhimento da superfície das partículas durante a secagem em *spray dryer*, pois atuam como plastificantes, levando à formação de partículas mais lisas.

O mesmo resultado foi observado por Cavalcante et al. (2017), que obteve partículas de formato esférico, de diversos tamanhos, superfície lisa e uniforme com a polpa de graviola em pó no estudo do processo de secagem em *spray dryer* a 169 °C com 17% de maltodextrina. Caparino et al. (2012) também obtiveram microcápsulas esféricas de superfície fina e lisa para a polpa de manga em pó seca com 25% de maltodextrina 10 DE em *spray dryer*.

Segundo Azeredo (2005), as cápsulas podem ser classificadas por tamanho em 3 categorias: macrocápsulas (>5000 µm), microcápsulas (0,2-

5000 μm) e nanocápsulas ($<0,2 \mu\text{m}$). Deste modo, todas as partículas analisadas são classificadas como microcápsulas, conforme pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 18 - Valores do tamanho das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas nos ensaios do estudo de secagem por spray drying.

Experimento	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Concentração (10%)	Agente Encapsulante	Diâmetro (μm)	
				Mín.	Máx.
1	90	10	GA	2,66	9,94
2	150	10	GA	1,59	10,3
3	90	30	GA	1,99	18,9
4	150	30	GA	1,46	13,4
5	90	10	MD	1,28	23,2
6	150	10	MD	3,25	9,78
7	90	30	MD	1,06	13,0
8	150	30	MD	1,22	14,1

GA: Goma Arábica e MD: Maltodextrina.

As microcápsulas apresentaram tamanhos variados, entre 1,06 e 23,2 μm . Fang e Bhandari (2010) relataram que estes tamanhos de partícula são esperados para microcápsulas obtidas em processo de secagem por *spray drying*, podendo variar de 10 a 100 μm .

5.5 ANÁLISE TÉRMICA DAS MICROCÁPSULAS

Através da análise térmica determinou-se a decomposição térmica e a estabilidade termo-oxidativa das microcápsulas de polpa de feijoa. A Tabela 18 contém os valores obtidos para as temperaturas de pico (T_p) de cada evento térmico das microcápsulas de polpa de feijoa.

Tabela 19 - Valores dos parâmetros termogravimétricos de cada evento térmico das microcápsulas de polpa de feijoa obtidas nos ensaios do estudo de secagem por *spray drying*.

Experimento	1º Evento Térmico		2º Evento Térmico		3º Evento Térmico	
	T _p (°C)	Δ _m (%)	T _p (°C)	Δ _m (%)	T _p (°C)	Δ _m (%)
1	71,83	9,21	200,68	31,33	305,65	27,08
2	72,03	3,01	200,79	31,79	307,64	29,41
3	66,41	4,93	201,07	21,28	312,09	44,20
4	66,77	4,63	201,36	21,62	311,33	43,99
5	99,35	8,03	205,11	25,43	300,46	32,34
6	83,43	2,91	203,35	27,91	303,53	27,28
7	66,72	4,30	215,41	17,67	302,38	43,75
8	63,48	3,30	216,37	18,26	304,13	44,63

T_p= temperatura de pico; Δ_m= Perda de massa.

As curvas da análise térmica de cada ensaio são apresentadas na Figura 28 e representam a variação da massa em função da temperatura.

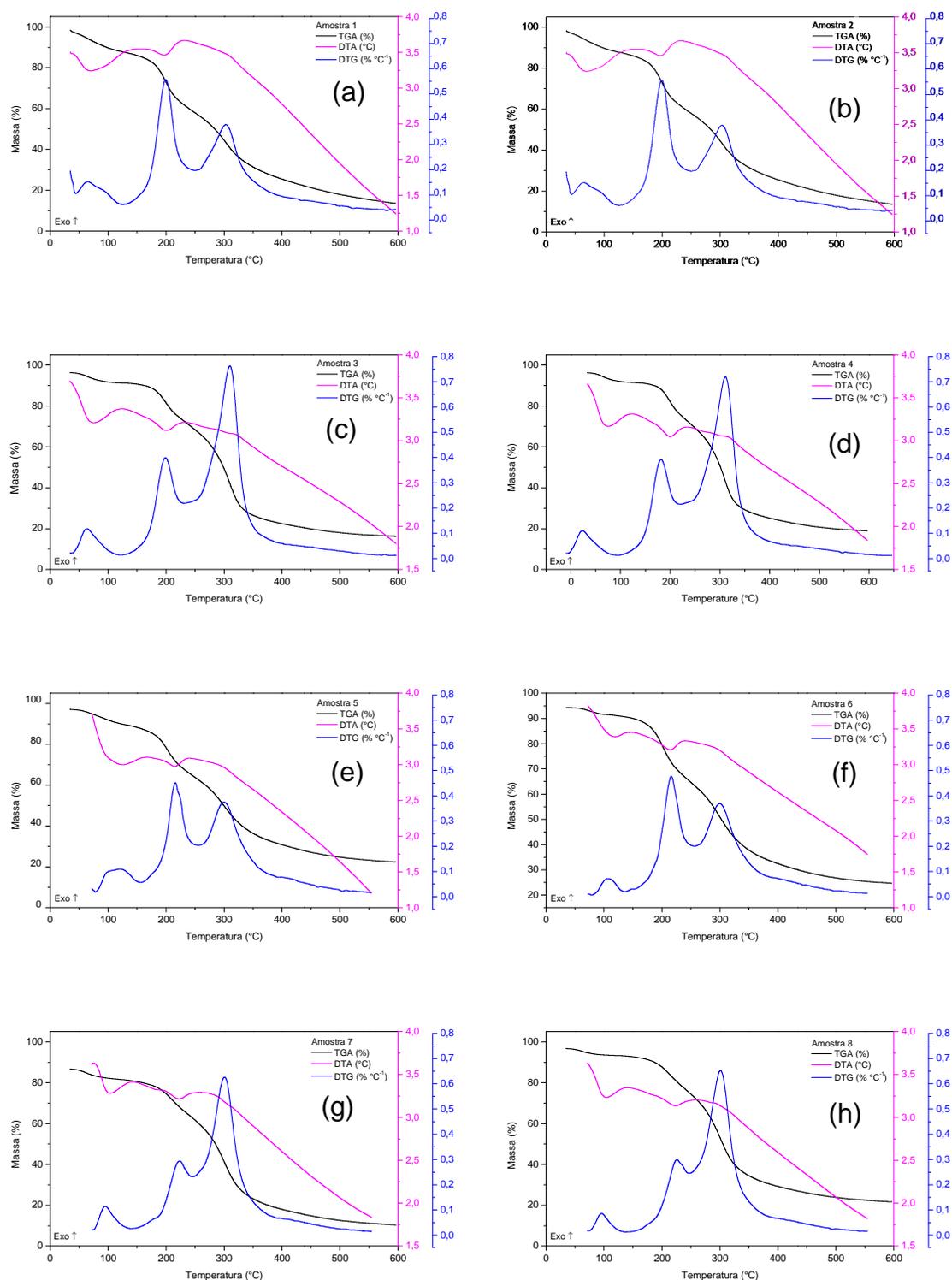


Figura28 - Curvas termogravimétricas das amostras de polpa de feijão microencapsulada por *spray drying*: a) Experimento1; b) Experimento 2; c) Experimento 3; d) Experimento 4; e) Experimento 5; f) Experimento 6; g) Experimento 7; h) Experimento 8.

Verifica-se nas as curvas de DTG que as amostras dos experimentos realizados com concentração de 10% de agente, obtiveram comportamentos

térmicos semelhantes, assim como o mesmo foi observado para os ensaios com concentração de 30%. A concentração de agente encapsulante foi o fator que apresentou maior influência nos eventos termogravimétricos independentemente do tipo de agente empregado na secagem.

Todas as microcápsulas apresentaram 3 eventos de degradação térmica (Figura 28). O primeiro pico endotérmico se refere perda de umidade que pode estar seguida da decomposição de compostos voláteis e termossensíveis, pois de acordo com dados apresentados na Tabela 20, as temperaturas de pico do primeiro evento de cada ensaio são inferiores a 100 °C, sugerindo eliminação da umidade e degradação dos compostos bioativos presentes na polpa. O segundo evento endotérmico ocorre em aproximadamente 200 °C e é referente à degradação de compostos bioativos e decomposição dos açúcares frutose e glicose que são os açúcares em maior quantidade presentes na polpa de feijoa. Em seguida, o terceiro evento ocorre a partir de 300 °C, referente à decomposição do material carbonáceo dos agentes encapsulantes.

Caleffi (2014) analisou o microencapsulado de polpa de amora-preta e também encontrou três eventos de degradação térmica. O primeiro evento entre 30 e 100 °C, o segundo entre 137 e 216 °C e o terceiro entre 243 e 360 °C, sugerindo que as degradações foram referentes à degradação de alguns compostos bioativos, eliminação da umidade e degradação dos açúcares, respectivamente.

Nos ensaios em que foram utilizados 10% de agente encapsulante, no terceiro evento, característico da degradação dos constituintes dos agentes, houve perda de massa menor quando comparado ao segundo evento. Este fato não foi observado para os ensaios realizados com 30% de adição de agente. Neste caso, verifica-se que o terceiro evento ocorre com perda de massa superior ao segundo.

Em relação às perdas de massa (Tabela 18), as microcápsulas dos ensaios 1 e 5, ambos realizados sob as condições de menor temperatura (90 °C) e menor concentração de agente (10%) apresentaram maior perda de massa no primeiro evento de degradação térmica referente principalmente a perda de umidade, com ambos os agentes utilizados. Já os pós dos ensaios 2 e 6, os quais foram realizados com maior temperatura (150 °C) e menor concentração de agente apresentaram menor perda de umidade neste evento

térmico, o que demonstra a relação da temperatura do ar de secagem na desidratação da amostra com a umidade dos pós após a secagem.

Os experimentos 3, 4, 7 e 8, realizados com maior concentração de agente (30%) apresentam menor perda de massa no segundo evento térmico referente a composição da polpa de feijoa do que os experimentos 1, 2, 5 e 6, que foram realizados com menor concentração de agente (10%). Isso mostra que a adição do agente encapsulante reduz ou protege a perda de material que constitui a polpa. Porém, os experimentos 3, 4, 7 e 8 apresentaram maior perda de massa que compõe agente encapsulante, no terceiro evento térmico, do que os ensaios 1, 2, 5 e 6, devido à quantidade de agente empregada no processo de secagem por atomização.

As temperaturas de pico (T_p) de cada evento de degradação térmica dos agentes encapsulantes empregados na microencapsulação da polpa de feijoa são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 20 - Parâmetros termogravimétricos de cada evento térmico dos agentes encapsulantes utilizados na microencapsulação. da polpa de feijoa no estudo de secagem por spray drying.

Agentes	1º Evento Térmico		2º Evento Térmico	
	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta_m(\%)$	$T_p(^{\circ}\text{C})$	$\Delta_m(\%)$
GA	83,54	4,82	312,99	69,12
MD	68,45	9,60	309,68	55,61

T_p = temperatura de pico; Δ_m = Perda de massa; GA = Goma arábica; MD = Maltodextrina.

Na Figura 29 são apresentadas as curvas termogravimétricas obtidas para os agentes encapsulantes goma arábica (Figura 29a) e maltodextrina (Figura 29b).

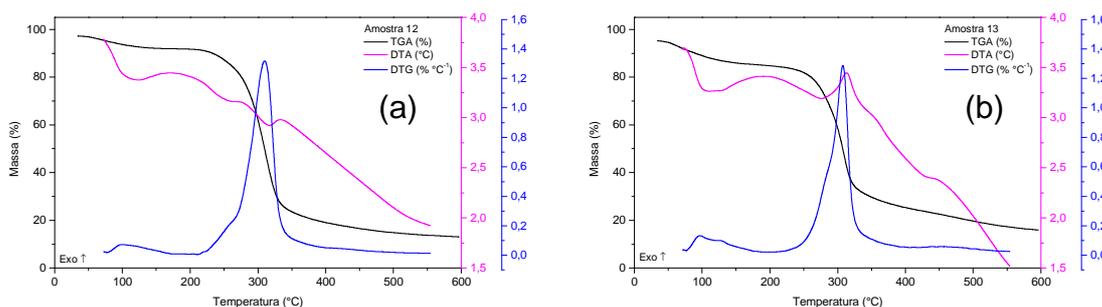


Figura29 - Curvas termogravimétricas dos agentes encapsulantes empregados na microencapsulação da polpa de feijoa no estudo de secagem por *spray drying*. a) Goma Arábica; b) Maltodextrina.

Ao analisar as curvas termogravimétricas dos agentes encapsulantes observa-se que estes apresentaram dois eventos de decomposição térmica. O primeiro característico da perda de umidade e o segundo referente à perda de oligossacarídeos, açúcares de cadeias maiores e mais complexos, simultaneamente também a decomposição do material carbonáceo que compõem estes agentes.

Barbosa (2015) observou o primeiro evento térmico de perda de massa para a goma arábica, que ocorreu a temperatura inferior a 200 °C, que correspondeu à evaporação de água. O segundo evento térmico, correspondente à decomposição do polissacarídeo, iniciou a temperatura de 210,3°C e foi concluído a temperatura de 265,7 °C.

Cozic et al. (2009) estudaram a o evento de dessorção de água e degradação térmica em goma arábica e observaram que havia duas etapas de perda de massa, fato semelhante ao encontrado no presente trabalho. Zohuriaan e Shokrolahi (2004) avaliaram o comportamento térmico de gomas naturais e modificadas, observando que, na maioria dos polissacarídeos, inclusive na goma arábica, a temperatura de decomposição térmica ocorre acima de 200°C.

Barbosa (2015) observou que o primeiro evento de perda de massa para maltodextrina com dextrose equivalente de 16,5-19,5 ocorreu em temperatura inferior a 200°C, devido à evaporação de água. O segundo estágio, correspondente à decomposição do polissacarídeo, iniciou-se a temperatura de 286,3°C. Osório, Forero e Carriazo (2011) concluíram que amostras de maltodextrina são estáveis até temperatura de 160°C e que a degradação das

amostras iniciou-se a temperatura em torno de 200°C, seguida por sua posterior volatilização.

Verificou-se que os agentes encapsulantes goma arábica e maltodextrina utilizados no presente trabalho, possuem boa estabilidade térmica, sendo que o início das decomposições térmicas foram, respectivamente, de 202,60 e 201,32 °C.

6 CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos, foi possível observar que o processo de secagem empregado no presente estudo apresenta-se como uma alternativa viável na manutenção das propriedades bioativas presentes na polpa de feijoa.

A capacidade antioxidante das microcápsulas de feijoa foi considerada superior quando comparada a outras frutas da mesma família e a encapsulação de compostos fenólicos das microcápsulas obtidas no processo foi eficiente.

As microcápsulas obtidas apresentaram características físico-químicas adequadas em relação a umidade, atividade de água, solubilidade, higroscopicidade e dissolução em água que são fatores importantes para o armazenamento e reconstituição dos pós.

As microestruturas formadas apresentaram micropartículas esféricas de tamanhos variados e mantiveram a superfície lisa à rugosa com formatos levemente irregulares. A análise termogravimétrica comprovou a capacidade protetora dos agentes encapsulantes.

O planejamento fatorial 2^3 simples empregado mostrou-se ser uma ferramenta eficiente no estudo das condições de secagem por atomização. Ainda a análise de Two-way joining e PCA possibilitaram a visualização e interpretação dos resultados obtidos de maneira mais eficiente, apresentando-se como ferramentas estatísticas importantes no estudo do processo de secagem.

O desenvolvimento de micropartículas a partir da polpa de feijoa, pode ser considerado um produto de alto valor agregado, uma vez que apresenta características interessantes, tais como alto teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. Além disso, o produto obtido apresentou baixa umidade e atividade de água que proporcionam estabilidade ao produto quando armazenado, e também alta solubilidade, características que torna viável a utilização na indústria de alimentos.

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, B.; HOWESB, T.; BHANDARIC, B. R.; TROUNGC, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying experiments and modeling. **J. Food Eng.**, v. 62, n. 1, p. 53-68,2004.

AKTER, M. S.; OH, S.; EUN, J. B; AHMED, M. Nutritional compositions and health promoting phytochemicals of camu-camu (*Myrciaria dubia*) fruit: A review. **J. Food Res. Int.**, v. 44, n. 7, p. 1728-1732,2011.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorol. Z.**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, A. I. **Obtenção de Extrato de Carotenoides de Polpa de Pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) Encapsulado pelo Método de Secagem por Atomização.** 2014. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2014.

AMARANTE, C. V. T.; SANTOS, K. L. Goiabeira-Serrana (*Acca Sellowiana*). **Rev. Bras. Frutic.**, v. 33, n. 1, 2011.

AMARANTE, C. V. T.; SOUZA, A. G.; BENINCÁ, T. D. T.; STEFFENS, C. A. Fruit quality of Brazilian genotypes of feijoa at harvest and after storage. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.52, n. 9, p.734-742, 2017.

AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; BENINCA, T.D.T.; HACKBARTH, C. SANTOS, K.L. Qualidade e potencial de conservação pós-colheita de frutos em cultivares brasileiras de goiaba-serrana. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 35, n. 4, p. 990-999, 2013.

AMARANTE, C.V.T.; STEFFENS, C.A.; DUCROQUET, J.P.H.J.; SASSO, A. Qualidade de goiaba-serrana em resposta a temperatura de armazenamento e ao tratamento com 1-metilciclopropeno. **Pesq.Agro.Bras.**, v. 43, n. 12, p. 1683-1689, 2008.

AOAC.Association of Official Analytical Chemists International.**Official Methods of Analysis.**14^o ed. Arlington, 1984.

ARSHADY, R. Microcapsules for food. **J. Microencap.**, v. 10, p.413-435, 1993.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alim. e Nutr.**, v.16, n.1, p. 89-97, 2005.

AZEVÊDO, Claudio Luiz L. **Sistema de Produção de Citros para o Nordeste**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003.

AZULAY, M. M.; MANDARIM-DE-LACERDA, C.A.; PEREZ, M. A.; FILGUEIRA, A. L.; CUZZI, T. Vitamina C. **An. Bras.Dermatol.**, v. 3, p. 265-274, 2003.

BAE, E. K.; LEE, S. J. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrina. **J. Microencap.**, v. 25, n. 8, p. 1-12, 2008.

BAGATINI, J. A. **Acca sellowiana (O.Berg) Burret**. Flora Digital. 2014. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/>>. Acesso em: 15 set. 2016.

BARBOSA, M. M. **Processo de purificação de goma de cajueiro: aspectos técnicos e ambientais**. 2015. 164 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.

BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistutra de frutas obtido por *Spray drying***. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros. Janaúba, 2010.

BATYCKY R P, HANES J, LANGER R E, EDWARDS D A. A theoretical model of erosion and macromolecular drug release from biodegrading microspheres. **J. Pharm. Sci.**, v. 86, n. 1, p. 1464-1477, 1997.

BAZARIA, B.; KUMAR, P. Optimization of spray drying parameters for beetroot juice powder using response surface methodology (RSM). **J. Saudi Soc. Agric. Sci.**, 2016. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2016.09.007>>. Acesso em 15 de mar. 2018.

BELOUS, O.; OMAROV, M.; OMAROVA, Z. Chemical composition of fruits of a feijoa (*F. sellowiana*) in the conditions of subtropics of Russia. **Potrav. Sci. J. Food Ind.**, v.8, p.119-123, 2014.

BENINCÁ, T.D.T, AMARANTE, C.V.T. DO, SOUZA, A.G. DE; STEFFENS, C.A., HACKBARTH, C. Tratamento de goiaba serrana com emulsões de cera de caraúba para a redução na perda de água e preservação da qualidade pós-colheita. In: Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças, 001, 2015. **Anais...** Aracaju-SE.

BENINCÁ, T. D. T. **Pós-Colheita de Goiabeira Serrana: Enzimas Ligadas ao Escurecimento de Polpa, Revestimentos Comestíveis e Compostos Bioativos.** 2014. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

BEYHAN, O; ELMASTAŞ, M.; GEDIKLI, F. Total phenolic compounds and antioxidant capacity of leaf, dry fruit and fresh fruit of feijoa (*Acca sellowiana*, Myrtaceae). **J. Med. Plants Res.**, v. 4, n. 11, p. 1065-1072, 2010.

BONETT, L. P.; MULLER, G. M.; WESLING, C. R.; GAMELLO, F. P. Extrato Etanólico de Representantes de Cinco Famílias de Plantas e Óleo Essencial da Família *Asteraceae* sobre o fungo *Colletotrichum gloeosporioides* coletados de frutos de mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Rev. Bras. Agroecol.**, v. 7, n. 3, p. 116-125, 2012.

BONTEMPO, P.; MITA, L.; MICELI, M.; DOTO, A.; NEBBIOSO, A.; DE BELLIS, F.; CONTE, M.; MINICHIELLO, A.; MANZO, F.; CARAFA, V.; BASILE, A.; RIGANO, D.; SORBO, S.; CASTALDO COBIANCHI, R.; SCHIAVONE, E. M.; FERRARA, F.; DE SIMONE, M.; VIETRI, M.; CIOFFI, M.; SICA, V.; BRESCIANI, F.; DE LERA, A. R.; ALTUCCI, L.; MOLINARI, A. M. *Feijoa sellowiana* derived natural Flavone exerts anti-cancer action displaying HDAC inhibitory activities. **Int. J. Biochem. Cell.Biol.**, v. 39, n. 10, p. 1902-1914, 2007.

BORDIGNON, S. *Acca sellowiana* (O.Berg) Burret. **Flora Digital.** 2013. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/>>. Acesso em: 15 de set. 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução ANVISA/MS RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003. Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 26 dez. 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa MAPA nº 29 de 21/05/2008. Autoriza a inscrição no Registro Nacional de Cultivares - RNC das espécies florestais que especifica. Instruções para Execução dos Ensaio de Distingüibilidade, Homogeneidade e Estabilidade de Cultivares de Goiabeira Serrana (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 12 nov. 2008.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. **Nutr.Ver.**, v. 56, n. 11, p. 317-333, 1998.

BURIN, V. M.; ROSSA, P. N.; FERREIRA-LIMA, N. E.; HILLMANN, M. C. R.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Anthocyanins: Optimization of extraction from Cabernet Sauvignon grapes, microencapsulation and stability in soft drink. *Int. J. Food Sci. Tech.*, v. 46, p. 186-193, 2011.

BVENURA, C.; SIVAKUMAR, D. The role of wild fruits and vegetables in delivering a balanced and healthy diet. *Food Res. Int.*, v. 99, p. 15–30, 2017.

CALEFFI, T. S. L. **Microencapsulação de Polpa de Amora-Preta por Coacervação e *Spray Drying***. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

CAI, Y.Z., CORKE, H. Production and properties of spray dried *Amaranthus Betacyanin* Pigments. **J. Food Sci.**, v. 65, p. 1248–1252, 2000.

CANO-CHAUCA, M.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray-drying and its functional characterization. **Innovat. Food Sci. Emerg. Tech.**, v. 6, n.4, p. 4520-4528, 2005.

CAPARINO, O. A.; TANG, J.; NINDO, C. I.; SABLANI, S. S.; POWERS, J. R.; FELLMAN, J. K. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. **J. Food Eng.**, v. 111, n. 1, p. 135-148, 2012.

CASTELLANOS, D. A.; POLANÍA, W.; HERRERA, A. O. Development of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for feijoa fruits and modeling Firmness and color evolution. **Post. Biol. and Tech.**, v. 120, p. 193 – 203, 2016.

CASTELUCCI, A. C. L. **Avaliação da estabilidade dos compostos bioativos de polpas de frutas nativas submetidas ao processo de irradiação**. 2015. 133 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CAVALCANTE, C. E. B.; RODRIGUES, S.; RODRIGUES, M.; AFONSO, A.; COSTA, J. M. C. Evaluation of the drying parameters of soursop pulp powder obtained by drying in a spray dryer. **Braz. J. Food Technol.**, v. 20, 2017.

CECILIA, S. A.; DENNISE, O.; FERNADA, Z.; MERCEDES, R. Determinación de algunos atributos de calidad en frutos de guayabo del país [*Acca sellowiana* (Berg) Burret] en diferentes estados de maduración. **Agroci. Urug.**, v. 19, n. 1, p. 24-30, 2015. Nota Técnica.

CHITARRA; M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2ª. ed, Lavras:UFLA, 2005.

CHUNG, M. M. S. **Polpa de guavira (*Campomanesia cambessedeanana* Berg) desidratada em Spray Dryer: Efeitos das condições de processo d composição de alimentação na propriedades físico-químicas e atividade antioxidante**. 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

CLERICI, M.T.P.S.; CARVALHO-SILVA, L.B. Nutritional bioactive compounds and technological aspects of minor fruits grown in Brazil. **Food Res. Int.** v. 44, p.1658, 2011.

COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S. **Fundamentos de Cromatografia**. Campinas: Unicamp, 2006.

CORREIA, R. T.; BORGES, K. C.; MEDEIROS, M. F.; GENOVESE, M. I.; Bioactive compounds and phenolic-linked functionality of powdered tropical fruits residues. **Food Sci. Technol.Int.**, v. 18, n. 6, p. 539-547, 2011.

CORTÊS-ROJAS, D. F.; SOUZA, C. R. F.; OLIVEIRA, W. P. Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract. **Chem. Eng. Res. Des.**, v. 93, p. 366–376, 2015.

COZIC, C.; PICTON, L.; GARDA, M.R.; MARLHOUX, F.; CERF, D. L. Analysis of arabic gum: Study of degradation and water desorption processes. **Food Hydrocoll**, v.23, p. 1930-1934, 2009.

DEGENHARDT, J.; DUCROQUET, J. P.; REIS, M. S.; GUERRA, M. P.; NODARI, R. O. **Goiabeira Serrana: estimativa de variabilidade para características de frutos com base no coeficiente de repetibilidade.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 51. 2007. 18 p. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.

DONAZZOLO, J. **Conservação pelo Uso e Domesticação da Feijoa na Serra Gaúcha – RS.** 2012. 312 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

DONAZZOLO, J.; NODARI, R.O. Efeito do ensacamento sobre a qualidade de frutos de goiabeira serrana. In: SEMINÁRIO: Sistemas de Produção Agropecuária, 2010, Dois Vizinhos. **Anais eletrônicos...** Dois Vizinhos: UTFPR, 2010. Disponível em: <<https://web.dv.utfpr.edu.br:448/seer/index.php/SSPA/article/viewFile/310/183>> . Acesso em: 16 de jul. 2017.

DONAZZOLO, J.; SALLA, V. P.; SASSO, S. A. Z.; DANNER, M. A.; CITADIN, I.; NODARI, R. O. Path analysis for selection of feijoa with greater pulp weight. **Ciênc.Rural**, v.47, n. 06, 2017.

DRUSCH, S.; SEFERT, Y.; VAN DEN HEUVEL, A.; SCHWARZ, K. Physicochemical characterization and oxidative stability of fish oil encapsulated in na amorphous matrix containing trealose. **Food Res. Int.**, v. 39, n. 7, p. 807-815, 2006.

DUCROQUET J. P. H. J.; SANTOS, K. L.; ANDRADE, E. R.; BONETI, J. I.; BONIN, V.; NODARI, R. O. As primeiras cultivares brasileiras de goiabeira serrana: SCS 411 Alcântara e SCS 412 Helena. **Agropec.Catarin.**, v. 20, p. 77-80, 2007.

DUONG, T.; BALABAN, M. Optimisation of the process parameters of combined high hydrostatic pressure and dense phase carbon dioxide on enzyme inactivation in feijoa (*Acca sellowiana*) puree using response surface methodology. **Innov.Food Sci. Emerg.Tech**, v. 26, p. 93–101, 2014.

EAST, A.R.; TREJO-ARAYA, X.I.; HERTOOG, M.L.A.T.M.; NICHOLSON, S.E.; MAWSON, A.J. The effect of controlled atmospheres on respiration and rate of quality change in 'Unique' feijoa fruit. **Postharvest Biol. Tech.**, v.53, n.1, p.66-71, 2009.

EBRAHIMZADEH M. A., HOSSEINIMEHR S. J., HAMIDINIA A.; JAFARI M. Antioxidant and Free Radical Scavenging Activity of *Feijoa sellowiana* Fruits Peel and Leaves. **Pharmacologyonline**, v. 1, p. 7-14, 2008.

ELER, J.; GUTZ, T.; BARA, O.; SOUZA, A. G.; NEVES, L. O. Qualidade de Frutos em Diferentes Cruzamentos da Goiaba Serrana na Região do Alto Vale do Itajaí, SC. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, 2017. Disponível em: <<http://aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/21643>>. Acesso em: 01 out. 2017.

ELNAGGAR, Y. S. R.; EL-MASSIK, A. M.; ABDALLAH, O. Y.; EBIAN, A. E. R. Maltodextrin: a novel excipient used in sugar-based orally disintegrating tablets and phase transition process. **AAPS Pharm. Sci. Tech.**, v. 11, p. 645-651, 2010.

ESEMANN-QUADROS, K.; MOTA, A. P.; KERBAUY, G. B.; GUERRA, M. P.; DUCROQUET, J. P. H. J.; PESCADOR, R. Estudo anatômico do crescimento do fruto em *Acca sellowiana* Berg. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 30, n. 2, p. 296-302, 2008.

FANTINEL, V. S. **Fungos Associados às Sementes de Goiaba-Serrana: Detecção, Efeitos na Qualidade das Sementes, Transmissão para Plântulas e Controle**. 2014. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2014.

FELLOWS P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e prática**. Tradução: Florencia Cladera Oliveira et al – 2º edição – Porto Alegre: Artmed, 2006.

FENNEMA, O.R. **Química de alimentos de Fennema**. Editora Artmed, 2010.

FERRACINI, L. A. **Microencapsulação, avaliação da estabilidade do corante natural extraído da casca da jabuticaba (*Myrciaria spp.*) para aplicação em alimentos**. 2015. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia de Alimentos), Departamento Acadêmico de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão. 2015.

FERRARI, A. S. **Avaliação de Fitoquímicos e das Atividades Antioxidante Celular e Antiproliferativa do Suco de Grumixama (*Eugenia brasiliensis*) e**

do Suco de Cambuci (*Campomanesia phaea*). 2014. 94 p. Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-Graduação em Biociências Aplicadas à Saúde, Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2014.

FERRARI, C.C.; MARCONI GERMER, S.P.; ALVIM, I.D.; DE AGUIRRE, J.M. Storage Stability of Spray-Dried Blackberry Powder Produced with Maltodextrin or Gum Arabic. **Drying Technology: An International Journal**, v. 31, n. 4, p. 470-478, 2013.

FERREIRA, L. C.; GRABE-GUIMARÃES, A.; PAULA, C. A.; MICHEL, M. C.; GUIMARÃES, R. G.; REZENDE, S. A.; SOUZA, F. J. D.; SAÚDE-GUIMARÃES, D. A. Anti-inflammatory and antinociceptive activities of *Campomanesia adamantium*. **J. Ethnopharmacol.**, v. 145, p. 100-108, 2012.

FERNANDES, L.P.; TURATTI, I.C.C.; LOPES, N.P.; FERREIRA, J.C.; CANDIDO, R.C.; OLIVEIRA, W.P. Volatile retention and antifungal properties of spray-dried microparticles of *Lippia sidoides* essential oil. **Drying Tech.** v. 26, p.1534-1542, 2008.

FISCHER, G.; MIRANDA, D.; Salinas, D. G. C.; MAZORRA, M. **Cultivo, poscosecha y exportación de la feijoa (*Acca sellowiana* Berg)**. Produmedios, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2003.

FU, L., XU, B. T., XU, X. R., GAN, R. Y., ZHANG, Y, XIA, E. Q., LI, H. B. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. **Food Chem.**, v. 129, p. 345 350, 2011.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Res. Intern.**, v. 40, p. 1107 – 1121, 2007.

GARCÍA-RIVERA, L. M.; VÁQUIRO-HERRERA, H. A.; SOLANILLA-DUQUE, J. F. Physicochemical characterization and nutritional composition analysis of pineapple guava at three different ripening stages. **Agron. Colomb.**, v. 34, n. 2, p. 217-227, 2016.

GIBBS, B.F.; KERMASHA, S.; ALLI, I.; MULLIZAN, C.N. Encapsulation in the food industry: a review. **Int. J. Food Sci. Nutr.**,v. 50, p. 213-224, 1999.

GONÇALVES, A. E. S. S.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M.I. Chemical composition and antioxidant/antidiabetic potential of Brazilian native fruits and commercial Frozen pulps. **J. Agric. Food Chem.**, v. 58, p. 4666-4674, 2010.

GUEDES, A. R. **Levantamento do Potencial Antioxidante e Antimicrobiano de Frutas Nativas da Mata Atlântica no Estado do Paraná.** 2013, 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Tecnologia e Engenharia de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

GÜLÇİN, I. Antioxidant properties of resveratrol: A structure - activity insight. **Innov. Food Sci. Emerg. Tech.**, v. 11, p. 210-218, 2010.

HICKEL, E. R.; DUCROQUET, J. P. J. Polinização entomófila da goiabeira serrana, *Feijoa sellowiana* (Berg), em Santa Catarina. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 22, n. 1, p. 96-101, 2000.

HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J.C.; KLUGE, R.A.; BILHALVA, A.B. Influência da temperatura e do polietileno no armazenamento de frutos de goiabeira serrana (*Feijoa sellowiana* Berg.). **Sci. Agric.**, v. 51, n. 3, 1994.

HORUZ, E.; ALTAN, A.; MASKAN, M. Spray drying and process optimization of unclarified pomegranate (*Punica granatum*) juice. **Drying Technol.**, v. 30, n. 7, p. 787-798, 2012.

IM, M. H.; PARK, Y. S.; LEONTOWICZ, H.; LEONTOWICZ, M.; NAMIESNIK, J.; HAM, K. S.; KANG, S. G.; NAJMAN, K.; GORINSTEIN, S. The thermostability, bioactive compounds and antioxidant activity of some vegetables subjected to different durations of boiling: investigation in vitro. **LWT - Food Sci. Technol.**, v. 44, p. 92-99, 2011.

IELER, J.; GUTZ, T.; BARA, O.; SOUZA, A. G.; NEVES, L. O. Qualidade de Frutos em Diferentes Cruzamentos da Goiaba Serrana na Região do Alto Vale do Itajaí, SC. **Cadernos de Agroecologia**, v. 11, n. 2, 2017. Disponível em: <<http://aba-agroecologia.org.br/revistas/index.php/cad/article/view/21643>>. Acesso em: 22 out. 2017.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**, Versão Eletrônica, 4ª. ED. São Paulo: IAL, 2008.

ISABELLE, M., LEE, B. L., LIM, M. T., KOH, W. P., HUANG, D., ONG, C. N. Antioxidant activity and profiles of common fruits in Singapore. **Food Chem.**, v. 123, p. 77-84, 2010.

ISHIGE, K.; SCHUBERT, D.; SAGARA, Y. Flavonoids protect neuronal cells from oxidative stress by three distinct mechanisms. **Free Radic. Biol. Med.**, v. 30, p. 433-446, 2001.

JORGE, L. I. F.; AGUIAR, J. P. L.; SILVA, M. L. P. Anatomia foliar de pedrahume-caá (*Myrcia sphaerocarpa*, *Myrcia guianensis*, *Eugenia puniceifolia* – Myrtaceae). **Acta Amaz.**, Manaus, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2000.

KATSUBE, N.; IWASHITA, K.; TSUSHIDA, T.; YAMAKI, K.; KOBORI, M. Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. **J. Agric. Food Chem.**, v. 51, p. 68-75, 2003.

KELES, H.; INCE, S.; KÜÇÜKKURT, I.; TATLI, I. I.; AKKOL, E. K.; KAHRAMAN, C.; DEMIREL, H. H. The effects of *Feijoa sellowiana* fruits on the antioxidant defense system, lipid peroxidation, and tissue morphology in rats. **Pharm. Biol.**, v. 50, n. 3, p. 318-325, 2011.

KELLER, H. A.; TRESSENS, S. G. Presencia en Argentina de dos especies de uso múltiple: *Acca sellowiana* (Myrtaceae) y *Casearia lasiophylla* (Flacourtiaceae). **Darwin.**, v. 45, p. 204 – 212, 2007.

KHUENPET, K.; CHAROENJARASRERK, N.; JAIJIT, S.; ARAYAPOONPONG, S.; JITTANIT, W. Investigation of suitable spray drying conditions for sugarcane juice powder production with an energy consumption study. **Agric. Nat. Resources**, v. 50, n. 2, p. 139-145, 2016.

KILMARTIN, P. A.; REID, D. S.; SAMSON, I. Dielectric properties of frozen maltodextrin solutions with added NaCl across the glass transition. **J. Sci. Food Agric.**, v. 84, p. 1277-1284, 2004.

KLEIN, J.D.; THORP, T.G. Feijoas: post-harvest handling and storage of fruit. **New Zeal. J. Exp. Agric.**, v. 15, n. 2, p. 217-221, 1987.

KRISHNAIAH, D.; BONO, A.; SARBATLY, R.; NITHYANANDAM, R.; ANISUZZAMAN, S. M. Optimisation of spray drying operating conditions of

Morinda citrifolia L. fruit extract using response surface methodology. **J. King Saud Univ. Eng. Sci.**, v. 27, n. 1, p. 26-36, 2015.

KSHIRSAGAR, A. C., YENGE, V. B., SARKAR, A., SINGHAL, R. S. Efficacy of pullulan in emulsification of turmeric oleoresin and its subsequent Microencapsulation. **Food Chem.** v.113, p.1139-1145. 2009.

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

LACERDA, E. C. Q.; CALADO, V. M. A.; MONTEIRO, M.; FINOTELLI, P. .; TORRES, A. G.; PERRONE, D. Starch, inulin and maltodextrin as encapsulating agents affect the quality and stability of jussara pulp microparticles. **Carbohydr. Polym.**,v. 151, p. 500-510, 2016.

LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por *spray-dryer*. **Rev. Bras. Cienc.Farm.**, v. 39, n. 1, p. 115-123, 2003

LAPCÍK, O.; KLEJDUS, B.; KOKOSKA, L.; DAVIDOVÁ, M.; AFANDI, K.; KUBÁN, V.; HAMPL, R. Identification of isoflavones in *Acca sellowiana* and two *Psidium* species (Myrtaceae).**Bioch. Syst. Ecol.**, v. 33, n. 1, p. 983-992, 2005.

LORENZINI, A. R. **Fitossociologia e Aspectos Dendrológicos da Goiabeira-Serrana na Bacia Superior do Rio Uruguai**. 2006. 51 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2006.

MARTÍNEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO, M. J.; ROS, G. Nutritional importance of phenolic compounds in the diet.**Arch Latinoam Nutr.**, v. 50, n. 1, p. 5-18, 2000.

MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; NASCIMENTO, R. J. Capacidade antioxidante de frutas. **Braz. J. Pharm. Sci.**, v. 44, n. 2, 2008.

MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C. L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food and Bioprod.Process.**, v. 92, p. 252-258, 2013.

MONFORTE, M.T.; FIMIANI, V.; LANUZZA, F.; NACCARI, C.; RESTUCCIA, S.; GALATI, E.M. *Feijoa sellowiana* Berg fruit juice: anti-inflammatory effect and activity on superoxide anion generation. **J. Med. Food**, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2013.

MOREIRA, G. É. G.; AZEREDO, H. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; BRITO, E. S.; SOUZA, A. C. R. Ascorbic Acid and Anthocyanin Retention During Spray Drying of Acerola Pomace Extract. **J. Food Process. Preserv.**, v. 34, p. 915–925, 2010.

MOREIRA, G. E. G. **Obtenção e caracterização de extrato microencapsulado de resíduo agroindustrial de acerola**. 2007. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

MORETTO, S. P. **A domesticação e a disseminação da feijoa (*Acca sellowiana*) do século XIX ao século XXI**. 2014. 436 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em História, Universidade Federal de Santa, Florianópolis, 2014.

MORZELLE, M. C.; BACHIEGA, P.; SOUZA, E. C.; BOAS, E. V. B. V.; LAMOUNIER, M. L.. Caracterização Química e Física de Frutos de Curriola, Gabiroba e Murici Provenientes do Cerrado Brasileiro. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 37, n. 1, p. 96-103, 2015.

MULLHER, P. S. **Microencapsulação do Óleo Essencial de Laranja**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

MURAKAMI, A. N. N.; AMBONI, R. D. M. C.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMANTE, E. R.; ZANOTTA, L. M.; MARASCHIN, M.; PETRUS, J. C. C.; TEÓFILO, R. F. Concentration of phenolic compounds in aqueous mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil) extract through nanofiltration. **LWT- Food Sci. Tech.**, v. 44, n. 10, p. 2211–2216, 2011.

NADEEM, H. S.; TORUN, M.; OZDEMIR, F. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. **Food Sci. Tech.**, v. 44, n. 7, p. 1626 – 1635, 2011.

NASCIMENTO, J.C.; LAGE, L.F.O.; CAMARGOS, C.R.D.; AMARAL, J.C.; COSTA, L.M.; SOUSA, A.N.; OLIVEIRA, F.Q. Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH e doseamento de flavonoides totais em

extratos de folhas da *Bauhinia variegata* L. **Rev. Bras. de Farm.**, v. 92, n 4, p. 327-332, 2011.

NIJDAM, J. J.; LANGRISH, T. A. J. The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **J. Food Engineer.**, v. 77, n. 4, p. 919-925, 2006.

NORA, C. D. **Caracterização, atividade antioxidante “in vivo” e efeito do processamento na estabilidade de compostos bioativos de araçá vermelho e guabiju.** 2012. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

NUNES, G. L. **Microencapsulação por Spray Drying do Extrato Crioconcentrado de Erva Mate (*Ilex Paraguariensis* A. St. Hill) Empregando a Maltodextrina como Agente Encapsulante.** 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

NUNES, J. O. *Acca sellowiana* (O.Berg) Burret. **Flora Digital.** 2015. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/>>. Acesso em: 15 de set. 2016.

OLIVEIRA, A. C. DE; VALENTIM, I. B.; GOULART, M. O. F.; et al. Fontes vegetais naturais de antioxidantes. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 689–702, 2009.

OLIVEIRA, E. C.; FILHO; A. A. C.; FIRETTI, R. Identificação e Elaboração de Variáveis Estatísticas Através de Técnicas Multivariadas no Estudo da Produção de Grãos e Fibras, na Região Administrativa de Presidente Prudente-SP. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 35, n. 2, p. 159-180, 2014.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Braz. J. Food Technol.**, v. 16, n. 4, p. 310-318, 2013.

ORWA, C.; MUTUA, A.; KINDT, R.; JAMNADASS, R.; ANTHONY, S. 2009 **Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0.** Disponível em: <<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>>. Acesso em: 24 jan. 2017.

ORTUNO, C.; DUONG, T.; BALABAN, M.; BENEDITO, J. Combined high hydrostatic pressure and carbon dioxide inactivation of pectin methylesterase, polyphenol oxidase and peroxidase in feijoa puree. **J. Supercrit. Fluids**, v. 82, p. 56-62, 2013.

OSORIO, C.; FORERO, D. P.; CARRIAZO, J. G. Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spray-drying. **Food Res. Int.**, v. 44, p.1174-1181, 2011.

PAGANI, M.M. **Obtenção de suco de acerola (*Malpighia emarginata* L.) concentrado e pós estáveis através da integração dos processos de separação por membranas e microencapsulação por atomização.** 2010. 183 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

PARRA, A.C.; FISCHER, G. Maduración y comportamiento poscosecha de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Una revisión. **Rev. Colomb. Ciên. Hort.**, v. 7, n. 1, p. 98-110, 2013.

PASQUARIELLO, M. S.; MASTROBUONI, F.; DI PATRE, D., ZAMPELLA, L., CAPUANO, L. R.; SCORTICHINI, M.; PETRICCIONE, M. Agronomic, nutraceutical and molecular variability of feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) germplasm. **Sci. Hortic.**, v. 191, n. 6, p. 1-9, 2015.

PEREIRA, M. C. T.; SALOMÃO, L. C. C.; MOTA, W. F. DA; VIEIRA, G. Atributos físicos e químicos de frutos de oito clones de jaboticabeiras. **Rev. Bras. Frutic.**, v.22, p.16-21, 2000.

PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. **Int. Food Res. J.**, v. 19, n. 4, p. 1297-1306, 2012.

PIMENTEL, L. F.; JÚNIOR, MOSQUEIRA, A. T. J.; V. C. F.; SANTOS-MAGALHÃES, N. S. Nanotecnologia farmacêutica aplicada ao tratamento da malária. **Rev. Bras. Cienc. Farm.**, v. 43, n. 4, 2007.

PINTO, W.S.; DANTAS, A.C.V.L.; FONSECA, A.A.O.; LEDO, C.A.S.; JESUS, S.C.; CALAFANGE, P.L.P.; ANDRADE, E.M. Caracterização física, físico-química e química de frutos de genótipos de cajazeiras. **Pesq. Agrop. Bras.**, v. 38, n. 9, p. 1059-1066, 2003.

PORCU, O. M.; XAVIER, D. Microencapsulação de Polpa de Goiaba: Avaliação da Morfologia. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 20, 2014, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: Blucher, 2014. p. 3396-3401.

PORTE, L. H. M.; LEÃO, M. H. M. R.; PORTE, A. Análise da Cor e da Atividade Antimicrobiana de Microcápsulas Contendo Lactoferrina Bovina. **B. CEPPA**, v. 32, n. 2, p. 211-222, 2014.

PULIDO, R.; BRAVO, L.; SAURA-CALIXTO, F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. **J. Agricult. Food Chem.**, v. 48, p. 3396-3402, 2000.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powder. **Chem. Engineer. Process.**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.

RÉ, M. I. Formulating drug delivery systems by spray drying. **Dry. Technol.**, v. 24, p. 433-446, 2006.

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

RÉ, M. I. Microencapsulação – em busca de produtos “inteligentes”. **Rev.Ciên. Hoje**, v. 27, n. 162, p. 24-29, 2000.

REINER, D. A.; DALLEMOLE-GIARETTA, R.; SANTOS, I.; OLDONI, T. L. C.; LOPES, E. A.; CHIARANI, A. Efeito nematocida de um subproduto da indústria vinícola em *Meloidogyne javanica* (Treb) Chitwood. **Ciên. Téc. Vitivin.**, v. 31, n. 1, p. 24-30. 2016.

REINECCIUS, G.A. Carbohydrates for flavor encapsulation. **Food Techn.**, v.45, n. 3, p. 144-146, 1991.

REYNERTSON, K. A.; YANG, H.; JIANG, B.; BASILE, M. J.; KENNELLY, E. J. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chem.**, v. 109, p. 883-890, 2008.

RICE-EVANS, C.; MILLER, N.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends Plant Sci.**, v. 2, n. 4, p. 152-159, 1997.

ROCHA, E. M. F. F.; SOUSA, S. L.; COSTA, J. P.; RODRIGUES, S.; AFONSO, M. R. A.; COSTA, J. M. C. Obtenção de suco de caju atomizado através do controle das condições de secagem. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.6, p.646–651, 2014.

RODRIGUEZ-HERNANDEZ, G. R.; GONZALEZ-GARCIA, R.; GRAJALES-LAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M. A.; ABUD-ARCHILA, M. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. **Drying Technol.**, v. 23, n. 4, p. 955-973, 2005.

ROMERO-RODRIGUEZ, M.A.; VAZQUEZ-ODERIZ, M.L.; LOPEZ-HERNANDEZ, J.; SIMAL-LOZANO, J. Composition of babaco, feijoa, passion-fruit and tamarillo produced in Galicia (NW Spain). **FoodChem.**, v.49, p.251-255, 1994.

ROSA, C. G. **Microencapsulação e Extratos Metanólicos de Amora-Preta (*Rubus Frutic Osus*) e Ácido Gálico**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.

ROSSI, A.; RIGANO, D.; PERGOLA, C.; FORMISANO, C.; BASILE, A.; BRAMANTI, P.; SENATORE, F.; SAUTEBIN, L. Inhibition of inducible nitric oxide synthase expression by an acetonic extract from *Feijoa sellowiana* Berg. fruits. **J. Agric. Food Chem.**, v. 55, p. 5053-5061, 2007.

RUBERTO, G.; TRINGALI, C. Secondary metabolites from the leaves of *Feijoa sellowiana* Berg. **Phytochem.**, v. 21, n. 65, p. 2947-2951, 2004.

RUPAVATHARAM, S.; EAST, A. R.; HEYES, J. A. Re-evaluation of harvest timing in 'Unique' feijoa using 1-MCP and exogenous ethylene treatments. **Posth. Biol. Tech.**, v. 99, p. 152–159, 2015.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chem.**, v.????, p. 616-622, 2009.

SANSONE, F.; MENCHERINI, T.; PICERNO, P.; DÁMORE, M.; AQUINO, R. P.; LAURO, M. R. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. **J. Food Engin.**, v. 105, p. 468-476, 2011.

SANTANA, A. A.; OLIVEIRA, R. A.; KUROSZAWA, L.; PARK, K. J. Microencapsulation of pequi pulp by spray drying: use of modified starches as encapsulating agent. **Eng. Agríc.**, v. 34, n. 5, p. 980-991, 2014 .

SANTANA, A. A.; PAIXÃO, L. C.; OLIVEIRA, R. A.; TELIS, V. R. N. Influence of process conditions on the physicochemical properties of jussara pulp (*Euterpe edulis*) powder produced by spray drying. **Braz. J. Food Tech.**, v. 21, 2017.

SANTOS, A. A. C.; FLORÊNCIO, A. K. G. D.; ROCHA, É. M. F. F.; COSTA, J. M. C. Avaliação físico-química e comportamento higroscópico de goiaba em pó obtida por *spray-dryer*. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 45, n. 3, p. 508-514, 2014.

SANTOS, H. A. A. **Dinâmica Populacional de Moscas das Frutas Associadas a Feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) em Diferentes Habitats e sua aplicação no Manejo de Pragas**. 2014. 138 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

SANTOS, A. B., FÁVARO-TRINDADE, C.S., GROSSO, C.R.F. Preparo e caracterização de microcápsulas de oleoresina de páprica obtidas por atomização. **Ciênc. Tecn. Alimen.**, v. 25, n. 2, p. 322–326, 2005.

SANTOS, A. B.; FERREIRA, V. P.; GROSSO, C. R. F. Microcápsulas: uma alternativa viável. **Biotec. Ciênc. Desenv.**, v. 3, n. 16, p. 26-30, 2001.

SANTOS, H. A. A.; BOFF, M. I. C.; BOFF, P.; FRANCO, C. R.; ORTH, A. I.; NODARI, R. O. Determinação de Épocas de Ensacamento de Frutos de Goiabeira-Serrana para Exclusão da Mosca-Das-Frutas. **Cad. Agroec.**, v. 8, n. 2, 2013.

SANTOS, K.L. **Orientações para o cultivo da goiabeira-serrana (*Acca sellowiana*)**. Florianópolis: EPAGRI, 2011. 44p. (Boletim Técnico, 153).

SANTOS, K.L. **Diversidade Cultural, genética e fenotípica da goiabeira-serrana (*Acca sellowiana*): implicações para a domesticação da espécie**. 2009. 163f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

SANTOS, M. B.; CARDOSO, R. L.; FONSECA, A. A. O.; CONCEIÇÃO, M. N.

Caracterização e qualidade de frutos de umbu-cajá (*Spondias tuberosa* X *S. mombin*) provenientes do recôncavo sul da Bahia. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 32, n. 4, p. 1089-1097, 2010.

SANTOS, M. N. G. **Avaliação de Polpa de Cagaita (*Eugenia Dysenterica* Dc.) Submetida ao Congelamento e Atomização**. 2015. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2015.

SCHUMACHER, N. S.; COLOMEU, T. C.; DE FIGUEIREDO, D.; CARVALHO, V. e C.; CAZARIN, C. B.; PRADO, M. A. Identification and antioxidant activity of the extracts of *Eugenia uniflora* leaves. characterization of the anti-inflammatory properties of aqueous extract on diabetes expression in an experimental model of spontaneous type 1 diabetes (NOD Mice). **Antioxidants (Basel)**, v. 4, p. 662–680. 2015.

SILVA, A. P. S. **Avaliação do potencial antioxidante dos extratos da folha da goiaba - serrana (*Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret)**. 2017. 46 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

SILVA, M. C. **Aproveitamento do resíduo do despulpamento da jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) para obtenção de pigmento com propriedades funcionais**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia de Alimentos, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2012.

SILVA, N. K.; CORNEJO, F. E.P.; GOMES, F. S.; PONTES, S. M.; MATTA, V. M.; FREITAS, S. P. Influence of shell material on Vitamin C content, total phenolic compounds, sorption isotherms and particle size of spray-dried camu-camu juice. **Fruits**, v. 68, p. 175-183, 2012.

SILVA, P. I.; STRINGHETA, P. C.; TEÓFILO, R. F.; OLIVEIRA, I. R. N. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **J. Food Eng.**, v. 117, n. 4, p. 538-544, 2013.

SHAHIDI, F. Functional Foods: Their Role in Health Promotion and Disease Prevention. **J. Food Sci.**, v. 69, n. 5, p. 146-149, 2004.

SILVA, P. I. **Otimização da extração e microencapsulamento de fenólicos e antocianinas de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*)**. 2011. 173 f. Tese

(Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

SOSNIK, A.; SEREMETA, Katia P. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. **Advances in Colloid and Interface Science.**, v. 223, p. 40-54, 2015.

SOUZA, A. G. **Caracterização Física, Química, Nutricional e Antioxidante em Frutos e Flores de Genótipos de Goiabeira-Serrana [*Acca sellowiana* (Berg.) Burret]**. 2015. 168 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.

SOUZA, C. A. G.; SIQUEIRA, SÔNIA M. C.; AMORIM, A. F. V.; MORAIS, S. M.; GONÇALVES, T.; GOMES, R. N.; CUNHA, A. P.; RICARDO, N. M. P. S. Encapsulação do Ácido L-Ascórbico no Biopolímero Natural Galactomanana por *Spray-Drying*: Preparação, Caracterização e Atividade Antioxidante. **Quim. Nova**, v. 38, n. 7, p. 877-883, 2015.

SOUZA, D. F. *Acca sellowiana* (O.Berg) Burret. **Flora Digital**. 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=5850>. Acesso em: 15 set. 2016.

SOUZA, V. B.; THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J. C. C.; FÁVARO-TRINDADE, C. S. Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). **Food Bioprod. Process.**, v. 93, p. 39-50, 2015.

SOUZA, W. **Avaliação da atividade antioxidante e compostos fenólicos de extratos vegetais**. 2013. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Tecnologia em Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

STULZER, H. K.; TAGLIARI, M. P.; SILVA, M. A. S.; LARANJEIRA, M. C.M. Desenvolvimento, Avaliação e Caracterização Físico Química de Micropartículas Constituídas de Aciclovir/Quitossana Desenvolvidas pela Técnica de *Spray-drying*. **Lat. Am. J. Pharm.**, v. 26, n. 6, p. 866-71, 2007.

SUN-WATERHOUSE, D.; WATERHOUSE, G. I. N. Spray-Drying of Green or Gold Kiwifruit Juice-Milk Mixtures; Novel Formulations and Processes to Retain Natural Fruit Colour and Antioxidants. **Food Bioprocess Technology**, v. 8, p. 191-207, 2014.

THIRUGNANASAMBANDHAM, K.; SIVAKUMAR, V. Influence of process conditions on the physicochemical properties of pomegranate juice in spray drying process: Modelling and optimization. **J. Saudi Soc. Agric. Sci.**, v. 16, n. 4, p. 358-366, 2017.

THORP, T. G.; BIELESKI, R. L. Feijoas: Origins, cultivation and uses. **Hort Res.**, v. 87 p. 80 – 82, 2002.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físicas e químicas do suco de açaí em pó. **Ciêntec. Alimen.**, v. 29, n.2, p.444 – 450, 2009.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D.. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **J. Food Eng.**, v. 88, p. 411-418, 2008.

TUNCEL, N. B.; YILMAZ, N. Optimizing the extraction of phenolics and antioxidants from feijoa (*Feijoa sellowiana*, Myrtaceae). **J. Food Sci. Tech.**, v. 52, p.141-150, 2015.

VALENTE, A.; ALBUQUERQUE, T.G.; SANCHES-SILVA, A.; COSTA, H.S. Ascorbic acid content in exotic fruits: a contribution to produce quality data for food composition databases. **Food Res. Int.**, v.44, p.2237-2242, 2011.

VELHO, A.C.; AMARANTE, C.V.T. do; ARGENTA, L.C.; STEFFENS, C.A. Influência da temperatura de armazenamento na qualidade pós-colheita de goiabas serranas. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 33, n. 1, p. 14-20, 2011.

VIDOVIC, S. S.; VLADIC, J. Z.; VASTAG, Z. G.; ZEKOVIC, Z. P.; POPOVIC, L. M. Maltodextrin as a carrier of health benefit compounds in *Satureja montana* dry powder extract obtained by spray drying technique. **Powder Tech.**, v. 258, p. 209-215, 2014.

YADAV, M. P.; IGARTUBURU, J. M.; YAN, Y.; NOTHNAGEL, E. A. Chemical Investigation of the structural basis of the emulsifying activity of gum arabic. **Food Hydrocol.**, v. 21, n. 2, p. 297 – 308, 2007.

YUYAMA, T. S. **Secagem da Polpa de Camu-Camu pelo Método de *Spray Dryer* Usando Dextrinas como Material de Parede**. 2016. 25f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia de Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

WATERHOUSE, D.S.; WANG, W.; GEOFFREY, I.N.; WADHWA, S.S. Utilisation potential of feijoa fruit wastes as ingredients for functional foods. **Food Biop.Tech.**, v. 6, n. 12, p. 3441–3455, 2012.

WESTON, R.J. Bioactive products from fruit of the feijoa (*Feijoa sellowiana*, Myrtaceae): A review. **Food Chem.**, v. 121, n. 1, p. 923-926, 2010.

ZOHURIAAN, M. J.; SHOKROLAHI, F. Thermal studies on natural and modified gums. **PolymTest**, v. 23, p. 575-579, 2004.