



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE
ALIMENTOS



Área de concentração: Engenharia de Alimentos

OTIMIZAÇÃO DO ENCAPSULAMENTO DA POLPA DE AÇAÍ COM ISOLADO
PROTEICO DO SORO DE LEITE POR SECAGEM EM *SPRAY DRYER*

Dados da pesquisa: Jaqueline de Jesus Silva
Orientador: Prof. *DSc.* Modesto Antonio Chaves

ITAPETINGA
BAHIA-BRASIL
Outubro de 2019

JAQUELINE DE JESUS SILVA

**OTIMIZAÇÃO DO ENCAPSULAMENTO DA POLPA DE AÇAÍ COM ISOLADO
PROTEICO DO SORO DE LEITE POR SECAGEM EM *SPRAY DRYER***

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientador: Prof. *DSc.* Modesto Antônio Chaves

**ITAPETINGA
BAHIA-BRASIL
Outubro de 2019**

634
S58o

Silva, Jaqueline de Jesus

Otimização do encapsulamento da polpa de açaí com isolado proteico do soro de leite por secagem em *spray dryer*. / Jaqueline de Jesus Silva. - Itapetinga: UESB, 2019.

91p.

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação do Prof. D. Sc. Modesto Antônio Chaves.

1. Polpa de açaí – Encapsulamento - Atomização. 2. Proteína do soro de leite - *Spray dryer*. 3. *Pleurotus eryngii*. 4. Propriedades tecnológicas de pó. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. II. Chaves, Modesto Antônio. III. Título.

CDD(21): 634

Catálogo na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535

Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Polpa de açaí – Encapsulamento - Atomização
2. Proteína do soro de leite - *Spray dryer*
3. Propriedades tecnológicas de pó



Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
 Recredenciada pelo decreto estadual nº 16.825 de 04.07.2016
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos
 PPG-ECAL / UESB



Áreas de Concentração: Engenharia de Alimentos
 Ciência de Alimentos

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE MICROENCAPSULAÇÃO PROTEICA DE AÇAÍ EM SPRAY DRYER.

Autor (a): JAQUELINE DE JESUS SILVA

Orientador (a): Prof. Dr. Modesto Antonio Chaves

Coorientador (a):

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CIÊNCIA DE ALIMENTOS**, pela Banca Examinadora.

Prof. Dr. Nívio Batista Santana
 Membro UESB

Dr.ª Iasnaia Maria de Carvalho Tavares
 Membro UESB

Prof. Dr. Modesto Antonio Chaves
 Orientador - UESB
 Presidente da Banca

Itapetinga-BA, 13 de setembro de 2019.

“Nos regozijamos nas tribulações, porque sabemos que ensinam a persistência. Depois a persistência fortalece-nos o carácter, e nossa esperança se torna forte”. E essa esperança nos traz a certeza que tudo ficará bem.

Romanos 5:3

À Deus por ser o meu condutor nessa embarcação especial que é a vida e não me deixa naufragar.

À minha vizinha Anália e minha mãe Renildes, que mesmo sem entender minhas escolhas, me apoiam e me ajudam a avançar.

Às crianças da minha vida Sophia, Pedro e Maria Eduarda que me olham e me ver de um jeito que nem eu posso.

Aos amores que a vida me deu em forma de romance e amizade, especialmente Cristiano, Ivani, Josane.

À minha irmã Debora e Raquel.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Ser grato e saber que tudo poderia ser pior, mas passou. Por isso, agradeço a Deus por me permitir viver essa experiência de mestrado que deu um olhar mais fino sobre a vida, as pessoas e a ciência.

Agradeço aos meus amigos que se fizeram presentes com conversas soltas e conectadas tornando minhas caminhadas mais alegres e sensatas. Em especial a Virgínia pelas orações e palavras de paz, a equipe do Cedetec e as senhoras que mantem nosso ambiente como um lar.

Aos meus colegas de turma, pois sempre tivemos algo a trocar e eu recebi como presente em minha vida amizades como Josane, Keila, Acsa, Amanda, Janaina, Gabriela, Jessyka, Tainnane, Alexandre e Alexandra e vou sempre me lembrar com muito carinho de todos

À Tailane e Mirela que foram uma força fundamental e me acompanharem na excussão do experimento.

À minha família em nome da minha vó Anália, da minha mãe Renildes, irmãos, primos e tios que sempre me apoiaram e acreditaram em mim, especialmente minha irmã Debora e seu esposo Wesley por tão carinhosamente me hospedarem desde o início do ano.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa, a UESB por toda sua estrutura e equipamentos, ao Programa de Pós-graduação (PPG-ECAL) e seu corpo docente que tanto me ensinou e me acolheu em minhas dificuldades e pela formação concedida, em especial ao professor Rafael Fontan por sua sensatez e imparcialidade que muito me ensinou.

Ao meu orientador por persistir nessa caminha tão árdua que é a orientação.

Ao professor *Dsc.* Ivo Ferreira do Instituto Federal Baiano Campus Santa Inês por colaborar na revisão gramatical deste trabalho

A todos que, mesmo não sendo mencionados, contribuíram para a finalização de mais um ciclo tão importante em minha vida.

Muito obrigada a todos!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
I REFERENCIAL TEÓRICO.....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA	3
1.2.1 Polpa de açaí	3
1.2.2 Caracterização da polpa de açaí	6
1.2.3 Encapsulamento	8
1.2.4 Secagem por atomização.....	9
1.2.5 Material encapsulante.....	10
1.2.5.1 Proteína isolada do soro de leite.....	11
1.2.5.2 Carragena.....	12
1.3 Caracterização de alimentos em pó	13
1.3.1 Otimização	15
1.4 Função de Hubbert	17
II OBJETIVO	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
III MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Local do experimento	19
3.2 Matéria prima	19
3.3 Avaliação do uso da carragena	19

3.4	Formação da emulsão	19
3.5	Sólidos Solúveis (SS), pH e cor da emulsão	20
3.6	Determinação instrumental dos parâmetros de cor	20
3.7	Tamanho e distribuição das partículas	20
3.8	Secagem em <i>spray dryer</i>	21
3.9	Análises físicas, físico-químicas e químicas do pó da polpa de açaí encapsulado.....	23
3.9.1	Rendimento	23
3.9.2	Teor de água.....	23
3.9.3	Atividade de água (Aw)	23
3.9.4	Resíduo mineral fixo	23
3.9.5	Proteína bruta	23
3.9.6	Antocianinas e flavonoides	23
3.9.7	Densidade Aparente	24
3.9.8	Solubilidade	24
3.9.9	Higroscopicidade.....	24
3.10	Análises estatísticas	24
IV	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
4.1	Efeito da adição de carragena.....	25
4.1.1	Determinação de SS	25
4.1.2	Determinação do pH	25
4.1.3	Determinação instrumental da cor	26
4.2	Tamanho e distribuição das partículas	31
4.3	Caracterização do pó da polpa de açaí encapsulado.....	34
4.3.1	Rendimento	35
4.3.2	Teor de água.....	37
4.3.3	AW	39
4.3.4	Antocianinas e flavonoides.	40

4.3.5 Densidade aparente	43
4.3.6 Solubilidade	45
4.3.7 Higroscopicidade.....	46
4.3.8 Cor.....	48
4.4 SÍNTESE DO PROCESSO DA OTIMIZAÇÃO.....	53
V CONCLUSÕES.....	56
VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
VII ANEXO I – ANOVA DO EFEITO DA CARRAGENA.....	67
VIIIANEXO II – ANOVA DAS ANÁLISES DO PÓ.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química fundamental das antocianinas.	7
Figura 2 Representação da cor no espaço (CIELab)	15
Figura 3 - Efeito do teor de carragena no tempo 0h sobre a luminosidade na mistura encapsulante.....	27
Figura 4 - Efeito do teor de carragena com o tempo da análise sobre a cromaticidade na mistura encapsulante.....	28
Figura 5 - Efeito do teor de carragena tempo da análise sobre o h° na mistura encapsulante.	30
Figura 6 – Bolhas presentes após a homogeneização no tratamentos com e sem adição de carragena em diferentes tempos de captura das imagens com ampliação de 40X.	31
Figura 7 – Relação entre o diâmetro e o tempo da captura de microcápsulas de açaí com diferentes relações proteína do leite/carragena.....	33
Figura 8: Rendimento do pó de polpa de açaí com a temperatura e a vazão de ar comprimido no processo de secagem por atomização	36
Figura 9. Variação do teor de água do pó da polpa de açaí com a vazão do ar de secagem. ..	38
Figura 10 – Variação da A_w com a vazão do ar de secagem e do ar comprimido.....	39
Figura 11 - Variação do teor de antocianinas com a vazão do ar de secagem e do ar comprimido.	41
Figura 12 - Variação do teor de flavonóides com a vazão do ar de secagem e do ar comprimido	42
Figura 13 - Variação da densidade com a temperatura e a vazão do ar comprimido.....	44
Figura 14 - Variação da solubilidade com a vazão do ar de secagem.....	45
Figura 15 – Interações envolvendo a vazão do ar comprimido na variação da higroscopicidade. a) interação da vazão do ar comprimido com a temperatura de entrada. b) interação entre a vazão do ar comprimido a do ar de secagem.	47
Figura 16 - Variação da luminosidade com a temperatura de entrada.	49
Figura 17 - Variação da cromaticidade com a temperatura de entrada, vazão do ar de secagem.	50
Figura 18 - Variação do h° com as vazões do ar de secagem e do ar comprimido.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização das diferentes formas químicas da aglicona de antocianina	7
Tabela 2 – Variáveis independentes codificadas	21
Tabela 3 – Matriz do planejamento fatorial.....	22
Tabela 4 – Luminosidade em função do teor de carragena na mistura encapsulante com o tempo da análise.	26
Tabela 5 – Cromaticidade em função do teor de carragena na mistura encapsulante em diferentes tempos da análise.	27
Tabela 6 – h° da cor em função do teor de carragena na mistura encapsulante com o tempo da análise.	29
Tabela 7 – Equações de Hubbert obtidas, por análise de regressão, relacionando o tempo de captura das imagens, com o diâmetro médio das gotas nos tratamentos.....	33
Tabela 8 – Modelos obtidos para variáveis estudadas.....	53
Tabela 9 – Valores otimizados das variáveis estudadas em função dos valores ótimos dos parâmetros de secagem.	54
Tabela 1 – Anova para Teste de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação aos Sólidos Solúveis.....	67
Tabela 2 – Anova da interação entre o teor de carragena e tempo da análise e significância dos fatores em relação ao pH.....	67
Tabela 3 – Anova de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação a luminosidade.	67
Tabela 4 – Anova da interação entre o tempo da análise e cada uma das concentrações de carragena sob luminosidade.....	67
Tabela 5 – Anova para o efeito da interação entre o teor de carragena e os dois tempos da análise sob luminosidade.	68
Tabela 6 – Anova para teste de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação a cromaticidade.	68
Tabela 7 – Anova para testar o efeito da interação entre o tempo da análise e cada uma das concentrações de carragena sob cromaticidade.	68
Tabela 8 – Anova para testar o efeito da interação entre o teor de carragena e os dois tempos da análise sob cromaticidade.	68

Tabela 9 – Anova para Teste de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação ao h° da cor.....	68
Tabela 10 – Anova para testar o efeito da interação entre o tempo da análise e cada uma das concentrações de carragena sob o h°.....	69
Tabela 11 – Anova para Teste de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação ao h° da cor.....	69
Tabela 1 – Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação ao resíduo mineral fixo.....	70
Tabela 2 – Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação ao teor de proteína.....	70
Tabela 3 – Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação ao rendimento.....	70
Tabela 4 – Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a Aw.....	71
Tabela 5 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a Aw.....	71
Tabela 6 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação aos teores de Antocianinas.....	71
Tabela 7 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação aos Flavonóides.....	72
Tabela 8 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a densidade.....	72
Tabela 9 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a solubilidade.....	72
Tabela 10 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a higroscopicidade.....	73
Tabela 11 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a luminosidade.....	73
Tabela 12 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação aos Flavonóides.....	73
Tabela 13 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação aos Flavonóides.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS

ALA	Alfa-lactoalbumina
ANT	Antocianinas
AW	Atividade de água
BLG	Beta-lactoalbumina
BSA	Albumina do soro bovino
C	Cromaticidade
CAR	Teor de Carragena
D	Diâmetro Médio
DBB	Delineamento em Box Behnken
DCC	Delineamento em Composto Central
DCCR	Delineamento em Composto Central Rotacional
DENS	Densidade
FLAV	Flavonóides
GMP	glicomacropéptídeos
h°	Ângulo H
HIG	Higroscopicidade
IG'S	Imunoglobulina
L	Luminosidade
MSR	Metodologia de superfície de resposta
PH	Potencial Hidrogeniônico
R	Rendimento
SOL	Solubilidade
SS	Sólidos Solúveis
TA	Teor de água
TC	Temperatura em °C
TRAT	Tratamento
VA	Vazão do ar de secagem

VAB	Interação entre as vazões do ar de secagem e do ar comprimido
VB	Vazão do ar comprimido
VTB	Interação da temperatura com a vazão do ar comprimido

RESUMO

SILVA, J. J. **Otimização do encapsulamento da polpa de açaí com isolado proteico do soro de leite por secagem em *spray Dryer***. Itapetinga, BA: UESB, 2019. 91 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração em engenharia de Alimentos)¹.

O objetivo deste trabalho foi otimizar o encapsulamento da polpa de açaí com isolado proteico do soro de leite por secagem em *spray dryer*. Para isso, diversos materiais encapsulantes podem ser usados como coadjuvantes na emulsão encapsulante como a carragena, cujo efeito foi testado por meio do experimento em esquema fatorial 2x5, para avaliar a variação quanto ao teor de sólidos solúveis, pH e cor dos tratamentos com o tempo de 0h e 24h em proporções que variaram de 0%, 2%, 3%, 4% e 5% na mistura encapsulante de açaí com isolado proteico do soro de leite. Também se avaliou a estabilidade da emulsão utilizando microscópio óptico com uma câmera digital acoplada em uma das lentes para digitalização e captura de imagens. Dimensionou-se o diâmetro médio das partículas presentes e sua variação com o tempo (0h, 1h, 2h, 3h e 24h) em função do teor de carragena. Em relação ao efeito sobre o teor de sólidos solúveis (SS) e o pH do meio, observou-se pequenas alterações de modo que o aumento no teor da carragena contribuiu para aumentar SS e elevar o pH da emulsão podendo dificultar os desdobramentos proteicos que favorecem o encapsulamento, pelo distanciamento do ponto isoelétrico das proteínas do soro. As coordenadas de cor sofreram efeito do tempo em todas as concentrações de carragena e do teor de carragena apenas com o tempo da análise de 0h para luminosidade, em 24h para o h° e em 0 e 24 h para cromaticidade. A adição de diferentes teores de carragena não contribuiu para manter a estabilidade das partículas verificados por meio das diversas variações observadas nos diâmetros médios em função do tempo de captura das imagens. O encapsulamento da polpa de açaí foi realizado seguindo o Delineamento de Composto Central Rotacional (DCCR) mantendo constante a taxa de alimentação em $1,667 \times 10^5$ m³/s, a pressão de ar comprimido em 0,6 MPa e variando a temperatura de entrada, a vazão do ar de secagem e a vazão de ar comprimido, nas faixas de 150 a 180°C; $2,5 \times 10^{-5}$ a $3,3 \times 10^{-5}$ m³/s e $3,3 \times 10^{-4}$ a 0,001 m³/s respectivamente. A otimização foi direcionada no sentido de gerar modelos significativos para representar as alterações em função das variáveis respostas. Dessa forma modelou-se equações cujas variáveis repostas representaram o rendimento com valor máximo de 43%; antocianinas de 171,08 mg.100⁻¹; flavonóides de 420,11 mg.100⁻¹; densidade 0,48 g/mL; solubilidade de 92,86%; luminosidade de 69,93; cromaticidade de 8,9; e h° 1,12 e valor mínimo de teor de água de 7,69%; Aw de 0,28 e higroscopicidade de 2,91% como consequência das variações ótimos de temperatura de entrada entre 150 e 165°C, da vazão do ar de secagem entre 2,5e-5 e 2,9e-5 m³/s e da vazão do ar comprimido entre 0,0004 a 0,0006m³/s. Vale ressaltar que as vazões do ar de secagem e do ar comprimido foram mais representativos na maioria dos modelos gerados em detrimento da temperatura de entrada, que tem sido apontada como a variável de maior relevância em outros trabalhos semelhantes. Logo, a otimização do encapsulamento da polpa de açaí com isolado proteico do soro de leite por secagem em *spray dryer* se deu por meio de um intervalo ótimo de temperatura de entrada, vazão do ar de secagem e do ar comprimido.

Palavras-chave: atomização, modelagem, superfície de resposta, propriedade tecnológicas de pó, proteína do soro de leite.

¹Orientador: DSc. UESB. Modesto Antonio Chaves;

ABSTRACT

SILVA, J. J. **Optimization of Açaí pulp encapsulation with whey protein isolate by spray drying Dryer**. Itapetinga, BA: UESB, 2019. 91 p. Dissertation. (Master in Food Science and Engineering, Engineering Concentration Area)¹.

The objective of this work was to optimize the encapsulation of açaí pulp with whey protein isolate by spray drying. For this, several encapsulating materials can be used as adjuvants in the encapsulating emulsion such as carrageenan, the effect of which was tested by means of a 2x5 factorial scheme experiment. to evaluate the variation in soluble solids content, pH and color of treatments with time from 0h and 24h in proportions ranging from 0%, 2%, 3%, 4% and 5% in the encapsulating mixture of açaí with whey protein isolate. Emulsion stability was also evaluated using an optical microscope with a digital camera attached to one of the lenses for scanning and image capture. The average diameter of the particles present and their variation with time (0h, 1h, 2h, 3h and 24h) were dimensioned as a function of carrageenan content. Regarding the effect on the soluble solids (SS) content and the pH of the medium, small changes were observed so that the increase in the carrageenan content contributes to increase the SS and increase the emulsion pH and may hinder protein unfolding encapsulation by distancing the isoelectric point from whey proteins. The color coordinates had the effect of time on all carrageenan concentrations and carrageenan content only with the analysis time from 0h for luminosity, 24h for h° and 0 and 24h for chromaticity. The addition of different carrageenan contents did not contribute to maintain the stability of the verified particles through the several variations observed in the average diameters as a function of the capture time of the images. Açaí pulp encapsulation was performed following the Rotational Central Compound Design (RCCD) keeping the feed rate constant at $1.667 \times 10^5 \text{ m}^3 / \text{s}$, the compressed air pressure at 0.6 MPa and varying the inlet temperature, drying air flow rate and compressed air flow rate in the range 150 to 180 °C; 2.5×10^{-5} to $3.3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ and 3.3×10^{-4} to $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$ respectively. The optimization was directed to generate significant models to represent the changes as a function of the response variables. In this way, equations were modeled whose replies represented the yield with a maximum value of 43%; anthocyanins $171.08 \text{ mg} \cdot 100^{-1}$; flavonoids of $420.11 \text{ mg} \cdot 100^{-1}$; density 0.48 g/ml; solubility 92.86%; brightness of 69.93; 8.9 chromaticity; and h° 1.12 and a minimum water content value of 7.69%; Aw of 0.28 and hygroscopicity of 2.91% as a result of optimum inlet temperature variations between 150 and 165 °C, drying air flow between 2.5×10^{-5} and $2.9 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ and compressed air flow between 0.0004 to $0.0006 \text{ m}^3/\text{s}$. It is noteworthy that the flow rates of drying air and compressed air were more representative in most models generated at the expense of inlet temperature, which has been pointed out as the most relevant variable in other similar works. Thus, the optimization of the encapsulation of açaí pulp with whey protein isolate by spray drying was achieved through an optimum range of inlet temperature, drying air and compressed air flow rates.

Keywords: atomization, modeling, surface response, technological properties of powder, whey protein.

¹ Advisor: DSc. UESB. Modesto Antonio Chaves;

I REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 INTRODUÇÃO

A microencapsulação teve seus primeiros registros na década de 1930 pela empresa americana National Cash Register Co., de Dayton, em que Barret K. Green descobriu e desenvolveu um sistema de microcápsulas por meio de coacervação que tem como princípio básico a vaporização de uma cobertura sobre partículas em suspensão (RÉ, 2000). Só após 30 anos o setor alimentício inicia trabalhos envolvendo microencapsulação com a intenção de prevenir a oxidação, perdas de substâncias voláteis e permitir a liberação controlada de aroma do óleo essencial de laranja, devido aos altos custos do processo (FERNANDES, BORGES e BOTREL, 2013). Desde então, novas técnicas foram desenvolvidas a fim de reduzir os custos e maximizar os benefícios possibilitando a aplicação da tecnologia para diversas áreas do setor como a produção de aditivos, ingredientes e produtos acabados (RÉ, 2000).

O processo de encapsulação consiste em transformar uma solução ou emulsão, do estado líquido para sólido na forma de pó de modo a criar uma cápsula, que com um agente encapsulante forma uma capa protetora envolvendo o material de interesse em um núcleo, vários núcleos ou como microesfera, podendo ser feito por diversos métodos como a coacervação, *freeze drye*, *spray dryer* e outros.

Há diversas aplicações para as microcápsulas, como produtos alimentícios, farmacêuticos e indústrias químicas ou ingrediente em umas dessas áreas, por isso, é necessário conhecer as variáveis que afetam a estabilidade das microcápsulas e avaliar suas características químicas e físicas a fim de garantir a boa qualidade do produto gerado e a partir de então nortear a aplicação final. Por essa perspectiva, a otimização do encapsulamento da polpa de açaí visa compreender como as variáveis do processo atuam para garantir que a encapsulação gere produtos tecnológica qualidade, que em muitos estudos estão relacionadas, às características químicas como tipo e concentração de material encapsulante, teor de sólidos, viscosidade, formação de partículas e outras propriedades das soluções pulverizáveis e às condições físicas do processo como a temperatura de entrada do sistema e as vazões do ar de secagem e do ar comprimido que circulam no interior do equipamento.

A polpa de açaí possui uma gama de componentes polifenólicos nutracêuticos, ou seja com ação sobre a defesa do organismo e prevenção de doenças, como antocianinas e flavonoides que podem ser degradados com o aquecimento, por isso o recomendado é que

processamentos em altas temperaturas, inclusive o encapsulamento, sejam rápidos. Dessa forma, se prolonga a vida útil da polpa e se evita a degradação desses compostos nutracêuticos os quais ficam protegidos de agentes externos como umidade, calor, oxidação e outras condições extremas, melhorando a estabilidade.

A encapsulação da polpa de açaí foi investigada por TONON, BRABET e HUBINGER, 2009 no sentido de descobrir os limites de temperatura e concentração de maltodextrina usada como material encapsulante afim de minimizar as perdas de antocianinas. Outros materiais também podem ser usados como agentes encapsulantes como as proteínas, que apresentam alto valor nutritivo e excelentes propriedades funcionais, capaz de interagir com vários compostos ativos e oferecer ampla proteção ao composto de interesse, além disso, apresenta capacidade formadora de filme, baixa higroscopicidade, baixa viscosidade a altas concentrações de sólidos, sabor e odor suaves, fácil reconstituição e outras (KILARA e VAGHELA, 2018).

A busca por um material encapsulante se constitui uma etapa de fundamental importância no processo de encapsulação, para isso, podem ser preparadas soluções com diferentes concentrações e até misturas entre materiais afim de encontrar uma solução pulverizável capaz de conferir as melhores propriedades tecnológicas ao pó, possivelmente uma mistura entre proteínas do soro de leite e carragena se adequem bem ao processo em questão.

O encapsulamento da polpa de açaí pode ser otimizado por meio do Delineamento em Composto Central Rotacional (DCCR) utilizando proteínas isoladas do soro de leite e/ou combinada com a carragena como agentes encapsulantes, sob condições controláveis de temperatura de entrada, vazão do ar de secagem e do ar comprimido.

O objetivo desse trabalho foi otimizar a preservação de antocianinas e flavonóides presentes na polpa de açaí e das propriedades: teor de água, atividade de água, resíduo mineral fixo, proteínas, densidade, solubilidade, higroscopicidade e cor de pós obtidos da microencapsulação da polpa de açaí com isolado proteico de soro de leite.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Polpa de açaí

O açaizeiro (*Euterpe oleracea*) é uma palmeira da família Arecaceae amplamente difundida e cultivada. Na região amazônica, sendo bastante importante para o desenvolvimento agroindustrial da região. O fruto tem se destacado pela importância econômica para a fruticultura regional, principalmente no estado do Pará onde a produção e a comercialização da polpa movimentam grandes quantias no mercado financeiro (NEVES et al., 2015). Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em 2016. A produção anual de açaí passou de 1,2 milhões de toneladas e a comercialização dos frutos injetou cerca de R\$ 3,9 bilhões na economia. No ano seguinte, o Pará produziu 88% na produção nacional e na Bahia o percentual foi de apenas 1,2%, representado por 103.934 toneladas do fruto ao ano, indicando ainda um restrito consumo, porém uma grande possibilidade de estimular novas alternativas para alavancar a produção do estado e das demais regiões no país.

A agricultura baiana é caracterizada por uma diversidade de elementos que marcam a formação histórica da Bahia, inicialmente com a cana-de-açúcar por volta do século XVI, que foi o principal produto de exportação baiano até início do século XIX, e devido a sucessivas crises de preços foi perdendo lugar para outras culturas como a do cacau (BISPO, 2012), que de acordo com os dados da última Pesquisa Agrícola Municipal (PAM-IBGE) de 2017 ainda apresenta grande relevância na economia baiana. O cacauzeiro é cultivado a temperaturas acima de 20°C, mas necessita de sombras. Em vista disso, várias associações são feitas com árvores frutíferas de grande porte para garantir o bom desenvolvimento da árvore. No estado do Pará essa associação é feita com o açaizeiro que já é uma cultura nativa (MÜLLER e RODRIGUES, 2012) e na Bahia o açaizeiro vem ganhando espaço a ponto de ranquear o estado entre os 4 maiores produtores do Brasil, representado em grande parte pela região sul baiana que mostrou um aumento de 35% no valor da produção anual em relação ao ano de 2016 (IBGE, 2017).

O açaí na Bahia é consumido como gelado comestível, misturado com frutas em pedaços, granola, xarope de guaraná, mel ou leite condensado. A distribuição é feita para as diversas regiões do estado em caixas de 9,5kg que o comercializa em porções menores. A transformação do fruto em polpa, se dá inicialmente na fazenda onde os cachos do fruto são cortados e amparados por telas de proteção para evitar o contato com o chão e na unidade de produção passa por sanitização em água clorada antes do despulpamento. A polpa fica

armazenada em câmaras frias até o momento da distribuição, após o congelamento por cerca de 14h (AÇAÍ DA BAHIA, 2019).

O fruto do açaí contém em sua polpa grande quantidade de flavonoides com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, elevado valor energético e proteico e como consequência, tem sido considerado um alimento funcional por gerar inúmeros benefícios à saúde (KANG et al., 2012; PORTINHO; ZIMMERMANN; BRUCK, 2012). Além dos flavonoides, há também um elevado valor energético, por ser rico em carboidratos e lipídios diversos, como os ácidos graxos essenciais, Ômega 6 e 9. Contém ainda, fibras, vitamina E e minerais como Mn, Fe, Zn Cu e Cr. Estudos feitos por Portinho, Zimmermann, Bruck, (2012) relatam que as atividades antioxidantes e anti-inflamatória estão associadas a presença de polifenóis que fazem com que seu consumo esteja associado ao combate à anemia, diabetes, colesterol alto, pressão alta e no fortalecimento do sistema imunológico, nervoso, muscular e cardiovascular. Isto demonstra que, as propriedades específicas do açaí é o resultado de uma complexa mistura de compostos bioativos. Isto confere ao açaí o renomado status de “superfruta” e contribuiu ainda mais para a popularização do fruto em todo o Brasil (SCHAUSS et al., 2006 e PACHECO-PALENCIA et al., 2007), aumentando consideravelmente a demanda por exportação, o que explica o extraordinário crescimento na sua produção.

O açaí possui uma vida de prateleira curta, mesmo sob refrigeração (TONON et al., 2013), com tempo máximo de conservação de 12 horas (ALEXANDRE et al., 2004). Como consequência, cerca de 30 a 40% dos frutos colhidos durante as safras se deterioram antes de chegar aos consumidores (POMPEU et al., 2009), por isso na região Norte do país, a polpa é produzida para consumo imediato e mantida por curto período em temperatura ambiente ou refrigerada (MENEZES et al., 2008). Porém o congelamento permite maior durabilidade do produto (NOGUEIRA et al., 2006) e comercialização nas demais regiões.

A forma de processamento do fruto possui importância não só para a conservação, mas também como forma de prevenção da doença de Chagas. Isto porque, dependendo da estrutura do local de extração da polpa, pode criar meios de contaminação com o barbeiro (insetos da família: Reduviidae, subfamília: Triatominae), que é transmissor do protozoário causador da doença de Chagas, e então transmiti-la ao consumidor (VASCONCELOS et al., 2006). Estruturar o local de extração para permitir que a polpa seja pasteurizada logo após sua extração é uma das estratégias empregadas para garantir que não haja contaminação (DIAS et al., 2011).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), elaborou um procedimento para o processamento do açaí, com informações desde a colheita, congelamento

e estoque, o qual dispõe de etapas que abrangem o processamento tradicional e industrial (EMBRAPA, 2006).

Em relação ao mercado, a demanda pelo açaí é crescente (FARIA et al., 2012). A cultura se destaca economicamente, sendo considerada uma das principais atividades econômicas da Amazônia (TONON et al., 2013). Sendo comercializado em outras regiões do país, como no Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais não se restringindo apenas a região produtora (NOGUEIRA et al., 2013). Como consequência da conquista de novos mercados, produtores brasileiros passaram a demonstrar interesse em cultivar o açaí em escala comercial, inclusive em outros estados do país (OLIVEIRA et al., 2014). Nas grandes capitais brasileiras, é comercializado nas mais diferentes formas como sorvetes, picolés, alimento energético, acompanhado de outras frutas e cereais, bebida energética, geléias, etc (OLIVEIRA et al., 2002).

O açaí possui grande importância cultural e social nas regiões produtoras (QUEIROZ e MELÉM JUNIOR, 2001), onde existem diversas cooperativas nas quais produtores e trabalhadores do ramo buscam aumentar o escoamento da produção e a qualidade de seus produtos, aumentando assim o preço de venda. Na Região Norte, existem diversos festivais inspirados no fruto, como exemplo, no Estado do Acre, existe o "Festival do Açaí", que acontece todo ano na cidade de Feijó. No Pará, foi criada em 2001 uma lei na qual o açaí se tornou a bebida e fruto símbolo do estado (PARÁ, 2001).

O açaí atualmente é consumido após um pré-processamento dos frutos com adição de água para seu despulpamento e posterior filtração, resultando em uma bebida espessa, roxa, com textura pastosa, aparência oleosa e sabor característico, chamada popularmente de "açaí na tigela" que também origina outros produtos como suco de açaí ou vinho de açaí (EMBRAPA, 2006; EVANGELISTA, 2013).

A polpa desse fruto é classificada como fina, média ou grossa, devido à necessidade de amolecimento e extração com água. O açaí grosso ou especial é classificado como tipo A, apresenta acima de 14% de sólidos totais e aparência muito densa; o açaí médio ou regular (tipo B) apresenta entre 11 a 14% de sólidos totais e aparência densa, já o açaí fino ou popular (tipo C), apresenta de 8 a 11% de sólidos totais e uma aparência pouco densa (BRASIL, 2000). Os produtos à base de açaí, a partir da década de 1990, foram gradativamente transpondo as fronteiras do Brasil e alcançando diversos países na América do Sul, União Europeia, Estados Unidos e Japão. Como resultado, demandou-se um maior controle no processamento e maior qualidade do produto final (SANTANA et al., 2006; SILVA et al., 2006).

1.2.2 Caracterização da polpa de açaí

De acordo com regulamento técnico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA IN 37/2018) a polpa de açaí deve apresentar valor de pH entre 4,00 e 6,20; sólidos totais variando de 8 a 14%, com base no teor de matéria seca, deve conter mínimo de 7 g.100g⁻¹ de proteínas, 20 a 60 g.100 g⁻¹ de lipídeos, acidez total expressa em ácido cítrico máximo de 3,2 g.100 g⁻¹, mínimo de polifenóis de 1,80 g.100g⁻¹, mínimo de antocianinas de 0,44 g.100⁻¹, cor deve ser roxa violácea própria do açaí roxo, sabor não adocicado e não azedo e aroma característico (BRASIL, 2018). Essa regulamentação não traz referência quanto ao resíduo mineral fixo, Aw, flavonoides e suas capacidades antioxidantes. Contudo, diversos trabalhos têm identificado esses índices, por exemplo, teores de cinzas variando entre de 0,19 a 0,26 g.100 g⁻¹ de matéria seca, 50 mg. 100 g⁻¹ de antocianinas divididos em agliconas e cianidinas (COHEN et al, 2009) e capacidade antioxidante pela captura de radicais livres, em torno de 7698,6 µmol TE.g⁻¹ de matéria seca (KANG et al., 2010, 2012, 2011).

Segundo Araújo (2006), entre todos os compostos responsáveis por funções específicas como antioxidantes e anti-inflamatórias da polpa de açaí, estão os flavonoides, que são formados por um grupo hidroxil ligado diretamente a um grupo hidrocarboneto aromático, como é o caso, mais simples dos fenóis ou polifenóis.

Os flavonoides são classificados como polifenóis e no açaí já foram elucidados até o momento apigenina, orientina, homoientina, vitexina, luteolina, crossiol, quercetina e dihidrokaempferol, (2S, 3S) dihydrokaempferol 3-ObD-glucósido e o seu isómero (2R, 3R) dihidrokaempferol 3-ObD-glucósido, velutina e 5,40-di-hidroxi-7,30 , 50-trimetoxiflavona (KANG et al., 2010, 2011, 2012). Quanto maior o teor de maturação do açaí, maior será a quantidade desses compostos na polpa (PORTINHO; ZIMMERMANN; BRUCK, 2012) sendo necessário que o processo tecnológico ao qual a polpa de açaí venha ser submetida, não traga prejuízos na manutenção desses compostos.

Entre os flavonóides existentes, destacam-se as antocianinas, cujo termo é de origem grega e refere-se a flores de cor azul, sendo considerada como o segundo corante de maior importância do reino vegetal e é o maior grupo de corantes orgânicos naturais solúveis em água, de baixa toxicidade, que pode apresentar-se tanto na cor azul, como na cor roxa e tonalidades de vermelho, colorindo uma grande variedade de vegetais (MACIEL, 2012). Quimicamente, está inserida no grupo dos flavonoides, sua molécula é constituída por duas ou três partes, uma aglicona (antocianidina), um grupo de açúcares e, frequentemente, um grupo de ácidos orgânicos. Diferencia-se pelo número de hidroxilas, de açúcares e de ácidos ligados a eles e

pelo grau de metoxilação da molécula mostrado na Figura 1 (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017).

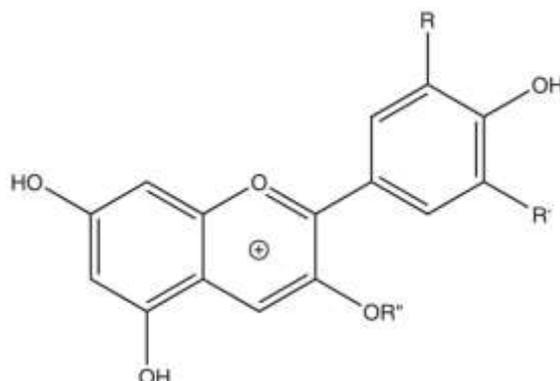


Figura 1 - Estrutura química fundamental das antocianinas.
Fonte: MACIEL, 2012

A representação da estrutura fundamental na qual se forma uma espécie de esqueleto em que se derivam seis das agliconas mais comuns na natureza que é a pelargonidina, cianidina, delphinidina, malvidina, peonidina e petunidina, como pode ser visto na Tabela 1. Apresentam-se em cores distintas influenciadas diretamente pelas condições do meio em que se encontram como as faixas de pH, a formação de quelatos com cátions metálicos e a presença de outros pigmentos (MOLINA et al. 2010).

Tabela 1 – Caracterização das diferentes formas químicas da aglicona de antocianina

Aglicona	Substituintes	
	R1	R2
Pelargonidina	H	H
Cianidina	OH	H
Delfinidina	OH	OH
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃
Peonidina	OCH ₃	H
Petunidina	OCH ₃	OH

Fonte: MOLINA et al. (2010)

A estrutura responsável pela formação do pigmento é gerada com o flavilium pela perda da hidroxila e a cor da antocianina é afetada por sua estrutura, e se apresentam como umas das principais classes de flavonoides encontradas nos vegetais e principalmente no açaí, as quais também tem grande participação no efeito antioxidante no fruto (BERNAUD e FUNCHAL, 2011; JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017).

1.2.3 Encapsulamento

Em alimentos a água está presente dissolvendo solutos ou sendo a fase líquida de um sistema alimentício em dispersão (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010). Os solutos ou partículas dispersas podem ser açúcares, sais, lipídeos, proteínas ou outras partículas que podem atuar dissolvendo ou dispersando componentes diversos ou, ainda, interagindo entre si tanto física como quimicamente e interferindo nas propriedades do produto encapsulado que se deseja obter por meio da secagem em *spray dryer* (ARAÚJO, 2006).

O encapsulamento é um processo de empacotamento, em que certas substâncias de interesse tecnológico, são introduzidas em um sistema de cápsula, a fim de proteger, manter a estabilidade, evitar perdas, oxidação, controlar a liberação do material de interesse e obter produtos com maior solubilidade e melhores características sensoriais e nutricionais, podendo assim ser disponibilizados como ingredientes em outras preparações alimentícias, formando uma barreira física entre o composto encapsulado e o material de parede, que também é alimentício (FAVARO-TRINDADE e PINHO, 2008). O composto preso no interior da microcápsula é chamado núcleo ou fase interna, enquanto que o contorno é chamado cobertura, material de parede, membrana ou encapsulante. A formação de microcápsulas depende da solubilidade, polaridade e volatilidade do núcleo e do material de parede. (GHARSALLOUI et al., 2007). Portanto, o processo de encapsulamento requer atenção quanto às características do material líquido na forma de dispersão a ser encapsulado e do equipamento de secagem (TONON, BRABET e HUBINGER, 2009).

Presume-se que a encapsulação pode ser melhorada quando se conhece a natureza da dispersão (espuma, emulsão ou suspensão) formada antes da secagem ao se mensurar parâmetros como distribuição e tamanho das partículas (CARMONA, 2011). As gotículas mantêm-se em movimento desordenado graças à repulsão entre suas cargas elétricas, então se recomenda a diminuição máxima do tamanho das gotículas e uniformidade entre elas para manter sua estabilidade até o momento da secagem (FRANZOL, REZENDE, 2015).

Dispersões são sistemas formados por partículas dispersas em meio líquido e pode ocorrer de duas formas: quando a dispersão é formada por partículas de ar obtêm-se espumas, quando forem líquidos imiscíveis tem-se emulsão; ou se for sólido, uma suspensão (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010). Emulsões são sistemas polifásicos, nos quais se encontram uma fase dispersa dentro de uma fase contínua e consistem de mistura, dispersão ou suspensão de líquidos imiscíveis em forma de gotas esféricas e pequenas com diâmetro inferior a 0,1 μ m. As gotículas de espumas, nas emulsões, têm diâmetros que variam entre

100 μm a 1000 μm e certas forças de cisalhamento podem leva-las a formar bolhas com cerca de 20 μm de diâmetro. (FRANZOL, REZENDE, 2015).

No que se refere ao tamanho das partículas encapsuladas pode-se classifica-las em macro (>500 μm), micro (1,0–500 μm) e nano (<1,0 μm), sendo que elas apresentam diferentes formas, dependendo dos processos usados (JAFARI, 2008). O tamanho da cápsula influencia diretamente na liberação controlada do material do núcleo, podendo apresentar liberação em velocidade constante quando as partículas são menores, ou rápida liberação quando as partículas são maiores (SANTOS, 2014). O tamanho da capsula é afetado pela viscosidade da emulsão, uma vez que, quanto maior essa viscosidade, maior serão as gotas formadas durante a atomização e consequentemente maiores as partículas de pó obtidas (TONON, GROSSO e HUBINGER, 2011). O tipo de material de parede também interfere no tamanho e distribuição das partículas e em propriedades importantes de produtos encapsulados, como teor de água, solubilidade, higroscopicidade, entre outras (TONON, GROSSO e HUBINGER, 2011).

1.2.4 Secagem por atomização

A secagem por atomização ou em *spray dryer* é a técnica mais usual na microencapsulação de alimentos por ser de fácil manipulação e baixo custo em relação a outros processos e por conferir boa qualidade ao produto final (TONON, BRABET e HUBINGER, 2009). O *spray dryer* é constituído de uma câmara, na qual um fluido é aspergido por um bico atomizador, enquanto uma corrente de ar quente passa pelas gotas atomizadas, evaporando a água e gerando as pequenas partículas sólidas encapsuladas (GHARSALLAOUI, 2007).

De acordo com Botrel et al., (2012) é a remoção de água que garante a formação das microcápsulas. Portanto, deve haver um controle da taxa de remoção, pois ela interfere nas propriedades tecnológicas do pó, que são umidade, A_w , higroscopicidade, densidade, morfologia e cor, entre outras (RAJABI et al., 2015). A aplicação de secagem por spray na microencapsulação envolve três etapas básicas: a preparação, a homogeneização e a atomização do fluido dentro da câmara de secagem (SANTOS, 2014).

No momento da secagem ocorre o contato das gotas com o ar quente, e trocas de energia e massa são estabelecidos entre a fase líquida e gasosa, fazendo com que a transferência de calor seja realizada na direção ar-produto como resultado da diferença entre temperaturas. A transferência de água é realizada em direção oposta, devido à diferença entre pressões de vapor. A taxa de secagem diminui, de modo rápido, tornando-se dependente da taxa de difusão de água

através da parede e termina, teoricamente, quando a temperatura da partícula atinge o valor da temperatura do ar (GHARSALLOUI et al., 2007).

A temperatura de entrada é uma variável relevante durante a secagem por atomização, pois ela é capaz de determinar a qualidade final das microcápsulas conforme relatado por Tonon, Grosso e Hubinger, (2011) e por Tonon, Brabet e Hubinger (2009), em experimentos nos quais dispersões com diferentes concentrações foram submetidas à secagem por atomização e se constatou que o aumento da temperatura é um parâmetro fundamental no encapsulamento de açaí, pois este aumento está intimamente ligado ao escurecimento do pó e aumento do diâmetro médio das partículas ao passo que reduz o teor da água, a higroscopicidade e o teor de pigmentos sensíveis ao calor, como as antocianinas, além de melhorar a aparência do pó.

Botrel et al, (2012) observaram que o fluxo de alimentação também influencia nas propriedades do pó, uma vez que, taxas em torno de 0,5 e 0,6 L.h⁻¹ produziram pó com menor teor de umidade e Aw. Além da temperatura de entrada e fluxo de alimentação, outras variáveis como o fluxo do ar comprimido e do ar de secagem podem também afetar o teor de água, Aw e demais características do pó atomizado.

1.2.5 Material encapsulante

No encapsulamento de compostos, a seleção do material de parede é crítica, pois ela tem influência nas propriedades da emulsão antes da secagem, na retenção dos voláteis durante o processo e na vida de prateleira do pó encapsulado depois da secagem (JAFARI et al., 2008). Os critérios para a seleção do material de parede estão principalmente baseados em suas propriedades físico-químicas tais como solubilidade, massa molecular, temperatura de transição vítrea, cristalinidade, propriedades de formação de filme, capacidade emulsificante, custos e comportamento na secagem (GHARSALLOUI et al., 2007).(Tonon, Grosso e Hubinger, 2011)(Tonon, Grosso e Hubinger, 2011) O material de parede deve ser insolúvel e não reativo com o núcleo (AZEREDO, 2005). Os materiais mais utilizados incluem gomas (alginatos de sódio, carragena, goma arábica), carboidratos (açúcares, amido, dextrinas, xarope de milho, carragena), celuloses (acetilcelulose, carboximetilcelulose, etilcelulose, metilcelulose, nitrocelulose), lipídeos (ácido esteárico, ceras, diglicerídeos, gorduras hidrogenadas, monoglicerídeos, óleos, parafina e triestearina) e proteínas (albumina, caseína, gelatina, glúten e isolado proteico de soro de leite e de soja) (GHARSALLOUI et al., 2007). Devido à dificuldade em encontrar-se um polímero ideal, a utilização de combinações de diferentes tipos de agentes formadores de cobertura deve ser estudada (FAVARO-TRINDADE; PINHO, 2008).

1.2.6 Proteína isolada do soro de leite

O soro é o subproduto líquido resultante da precipitação de proteínas no leite. Sua composição é de aproximadamente 94% de água e 6% de sólidos totais, formado por 4,5% de lactose, 0,8% de proteína e 0,7% de minerais que pode ser seco para obter subprodutos. Dessa forma, o teor de lactose pode ser reduzido, o resíduo mineral desmineralizado e o teor proteico pode ser concentrado ou isolado (SCHRODER et. al., 2017). A proteína concentrada é obtida pela remoção da lactose e dos minerais, obtendo-se em torno de 25% a 80% de proteínas. O isolamento proteico se dá por meio da purificação do concentrado com teor maior que 90% em base seca. A proteína hidrolisada é outro produto que pode ser obtido do soro, sendo formulada para atender funcionalidades tecnológicas, com aplicações em diversas áreas (KILARA e VAGHELA, 2018). Logo, esse isolado proteico é o que apresenta maior grau de pureza e pode apresentar maior ação da proteína no encapsulamento proteico da polpa de açaí.

As proteínas do soro do leite são solúveis em ampla faixa de pH, apresentam um perfil de aminoácidos essenciais favoráveis a absorção intestinal (KILARA e VAGHELA, 2018). No corpo humano elas agem na hipertrofia muscular, redução da gordura corporal, desempenho físico e outros benefícios para a saúde humana, como ação anticarcinogênica, antimicrobiana e anti-inflamatória, transporte de retinol e transporte de imunidade passiva (HARAGUCHI; ABREU e PAULA, 2006).

A estrutura globular da proteína do leite é mantida por pontes de dissulfeto e os peptídeos mais abundantes em ordem decrescente são a beta-lactoglobulina (BLG), alfa-lactoalbumina (ALA), albumina do soro bovino (BSA), imunoglobulinas (Ig's) e glicomacropéptídeos (GMP) (HARAGUCHI; ABREU e PAULA, 2006). Assim a BLG representa de 45 a 57%, de peso molecular entre 18,4 e 36,8 kDa, o que lhe confere resistência à ação de ácidos e enzimas do estômago (HARAGUCHI; ABREU e PAULA, 2006). Sua estrutura apresenta caráter hidrofóbico e capacidade de emulsificação, formação de espuma, geleificação e ligação de aroma e sabor (AUGUSTO; REZENDE, 2010). A ALA é contida no soro entre 15 e 25% do total, com peso molecular de 14,2 kDa, mais digerível, estável ao calor e reversível a desnaturação quando resfriada (HARAGUCHI; ABREU e PAULA, 2006). A BSA representa cerca de 10% do total de peptídeos, peso molecular de 66 kDa, sendo um precursor da síntese de glutathione, favorece o transporte de ácidos graxos na corrente sanguínea e apresenta alta solubilidade numa ampla faixa de pH (HARAGUCHI; ABREU e PAULA, 2006). As Ig's são proteínas de alto peso molecular variando entre 150 a 1.000 kDa (HARAGUCHI; ABREU e PAULA, 2006) e biologicamente atuam como antioxidante e na imunidade do organismo. Têm

capacidade de ligar-se ao ferro e atuar como antibacteriano, antiviral, antifúngico e antiparasitário (AUGUSTO; REZENDE, 2010). O GMP tem peso molecular de 6,7 kDa e é derivado da kapa-caseína. Sua principal característica é ser resistente ao calor, ao ambiente adverso da digestão (pH extremo) e favorecer a absorção de minerais pelo epitélio intestinal (HARAGUCHI; ABREU e PAULA, 2006).

Referindo-se ao uso da proteína como encapsulante, Santana et al. (2016) encapsularam polpa de Jussara com diferentes misturas encapsulantes e perceberam que o isolado proteico de soro de leite melhorou a eficiência da encapsulação. Matta (2013) observou uma maior eficiência do encapsulamento de óleo de pequi quando combinado a maltodextrina com *whey protein*, percebendo microcápsulas de formato esférico e superfície livre de poros. Gonzales et al. (2012) encapsularam óleo de chia com *whey protein* concentrado e verificaram microcápsulas morfolologicamente sólidas e com boa eficiência de encapsulação.

A eficiência das proteínas do soro de leite como agente encapsulante se dá pela habilidade proteica de interagir com água, pequenos íons e outros polímeros na interface óleo/água. Essas interações estabilizam as gotas formadas na homogeneização e reduzem suas taxas de coalescência (WALSTRA, 2007), diminuindo a tensão superficial tanto quanto os surfactantes, fazendo com que a saturação efetiva da superfície seja atingida em concentrações molares 100 vezes menores do que os surfactantes de baixo peso molecular (JAYASUNDERA et al., 2009). Logo, a estabilidade da emulsão e o retardo da coalescência podem ser garantidos quando os peptídeos envolvidos no sistema tiverem peso molecular superior a 2 kDa (SCHRODER et al. 2017).

1.2.7 Carragena

Carragena é um grupo de galactanas sulfatadas extraídas de algas vermelhas, muito utilizada em indústrias por aumentar a viscosidade de soluções e formar géis firmes. Apresenta três diferentes estruturas a *kappa* (κ), *iota* (i) e *lambda* (λ), que se diferem em número e posição de grupos sulfatos esterificados nas hidroxilas de carboidrato (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010).

A carragena apresenta propriedades compatíveis ao aprisionamento de compostos de interesse e capacidade de reagir com proteínas, especialmente as do leite, e formar géis fracos que podem ser utilizados como agente encapsulante (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010). Estes podem ser sozinhos ou em combinação e a composição, cuja formulação deve ser investigada caso a caso. Pois as proporções e tipos dos componentes na mistura, são

dependentes uns dos outros e a soma de todos os componentes é sempre um ou 100 % (VEIGA, 2016). Ainda não tem sido encontrado estudos envolvendo a mistura da carragena com proteínas isoladas do soro de leite para a encapsulação de polpa de açaí, nem o uso isolado desses encapsulantes.

Estudos relatam que a combinação da carragena com proteínas de várias fontes concomitantemente pode melhorar a retenção e proteção de substâncias voláteis e características das superfícies esféricas, porém, pode ter efeito adverso na liberação de componentes e seu uso como material encapsulante afetado. (LAURENTI e GARCIA, 2013).

1.3 Caracterização de alimentos em pó

Os alimentos em pó apresentam propriedades físicas e químicas que dizem respeito a sua qualidade tecnológica (BARBOSA et al., 2005). Estes alimentos devem ser avaliados quanto ao teor de água, A_w , higroscopicidade, solubilidade, densidade, cor e outras propriedades relacionadas com a composição como substâncias bioativas, proteínas, resíduo mineral fixo, etc. para se obter informações a respeito de sua qualidade (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017).

Pretende-se com a microencapsulação obter pós com baixo teor de água e A_w , pois estes são importantes indicadores de eficiência do processo e da estabilidade ao armazenamento. Os alimentos apresentam três tipos de isotermas, a primeira (I) apresenta A_w abaixo de 0,25 e a água comporta-se como um sólido por estar fortemente envolvida em interações íons e dipolos. O tipo II A_w está entre 0,25 e 0,85 e ocorre intercâmbio entre moléculas vizinhas, onde a água exerce um efeito plastificante sobre os solutos. No tipo III a A_w está acima de 0,85 e ocorre à manifestação de uma monocamada verdadeira de hidratação bem como maiores taxas de reações e maior mobilidade molecular (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010), por conta disso, o recomendado é que o teor de água, das microcápsulas, esteja entre 3 a 10% (SANTANA et al., 2014) e A_w entre 0.13 a 0.60 (REZAUL, SHISHIR e CHEN, 2017). Nessas faixas a água está fortemente ligada à matriz do alimento, e não oferece condições para o crescimento de microrganismos e para a oxidação lipídica (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010).

A densidade do material em pó pode ser medida na forma de densidade aparente que é referente aos espaços entre as partículas (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017). Quanto mais denso o material, mais empacotado ele torna-se ocupando menor volume e apresentando menor porosidade entre as partículas (CARNEIRO et al., 2013). A densidade aparente é uma

propriedade importante para a conservação porque proporciona menor penetração de luz e ar atmosférico otimizando o armazenamento e transporte devido a menor demanda de espaço para acomodação (KHA et al., 2014).

A análise de solubilidade em água fornece dados importantes de um composto, uma vez que quando um material é solúvel dissolve-se livremente e permanece em solução e quando insolúvel ou pouco solúvel dissolve-se lentamente, tendo uma forte tendência de separar as fases. Do ponto de vista termodinâmico, a solubilidade é a concentração necessária de um soluto em um estado de agregação (sólido, líquido ou gasoso) convertendo-se ao mesmo estado de agregação do solvente (ESTRADA, 2007). O teor de solubilidade do encapsulante é fundamental para prever o tipo indicado de aplicação para o pó, seja como ingrediente ou como produto alimentício acabado. (ISABEL e OLIVEIRA, 2013)

Higroscopicidade é a capacidade que o material tem de absorver umidade do ambiente e estabelecer um equilíbrio com este (CAI e CORKE, 2000). A taxa de absorção de água é um importante atributo do pó e diz respeito a reconstituição, susceptibilidade a aderência e ao endurecimento desse pó, quando o armazenamento e distribuição ocorrem em ambientes de maior umidade (YAMASHITA et al., 2017). Estudos indicam que a higroscopicidade do material de parede afeta a higroscopicidade dos pós e por consequência altera o tempo de armazenamento de materiais encapsulados (YAMASHITA et al., 2017).

A avaliação instrumental da cor deve estar relacionada à percepção visual humana do produto para que a medida faça sentido. Em vista disso, existem propostas de padronização do estudo da colorimetria baseado na percepção das cores pelo sistema visual humano e na possibilidade de exibir qualquer cor ajustando cores primárias numa representação tridimensional, que traduz as cores em números por coordenadas L, a e b de dois sistemas distintos Hunter e CIE (DAWSON e ACTON, 2018). No sistema Hunter L é uma coordenada vertical equivalente a luminosidade e varia de 100 (muito claro) a 0 (muito escuro), a e b equivalem a variações de cor do +a (vermelho) ao +b (amarelo) -a (verde) e -b (azul). (DAWSON e ACTON, 2018). Essas coordenadas dão origem ao vetor Cromo C e ao ângulo H (h°) (MINOLTA, 2007) que representa a saturação ou intensidade da cor que aumenta a partir do 0 no centro e a tonalidade da cor respectivamente (ABNT, 2016).

Os ângulos movimentam-se em graus por regiões de cor do vermelho no ângulo 0, passando pelo amarelo a 90° da origem, pelo verde a 270° e finaliza na região azul-arroxeadada em 360° que se ajustam às percepções sensoriais de cor nos comprimentos de onda que também

começam no vermelho e termina no azul (MINOLTA, 2007) como pode ser observado na Figura 2.

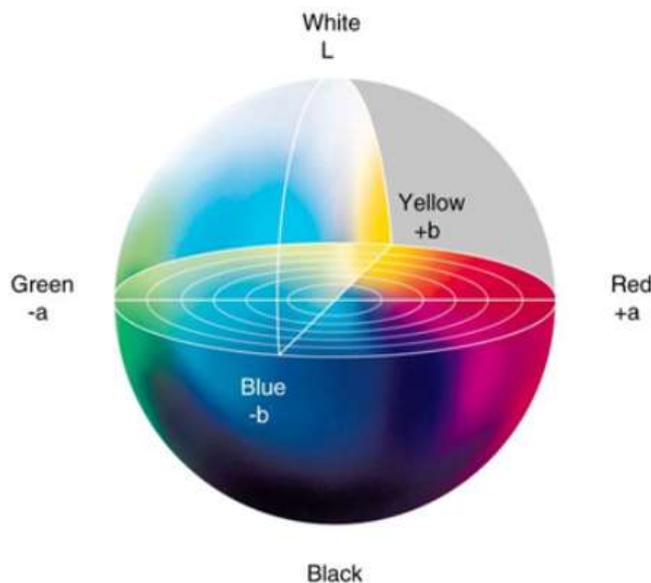


Figura 2 Representação da cor no espaço (CIE Lab)

Fonte: (Minolta, 2007)

A luminosidade (L) é um parâmetro relevante no processamento por *spray dryer*, pois indica a ação de agentes importantes do processo no escurecimento do pó ou do material de parede, (TONON, BRABET e HUBINGER 2009). A mudança na cromaticidade da amostra, após a secagem, pode indicar degradação de pigmentos. Ainda que os alimentos em pó sejam comprovadamente saudáveis, se o aspecto visual não for atraente, pode perder a aceitação dos consumidores (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017).

1.3.1 Otimização

A otimização estatística advém de uma necessidade de minimizar custos e tempo de implementação dos experimentos ao passo que maximiza rendimentos, produtividade e qualidade (MONTGOMERY, 2003). Consiste, inicialmente, de um planejamento experimental, de modo que, todo o espaço amostral seja explorado com um menor número possível de ensaios e, a partir de então, ajustar um modelo de regressão o qual pode ser ajustado por meio de programas estatísticos e representado por Metodologia de Superfície de Resposta (MSR). Esta é uma ferramenta matemática e estatística, em que os resultados experimentais, são frutos da variação simultânea de combinações entre os níveis dos fatores que influenciam nas propriedades do processo indicando uma região ótima (RODRIGUES e IEMMA, 2005). A MSR exige que o experimento seja conduzido em um delineamento específico como o

Delineamento Composto Central (DCC), Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) e o Delineamento de Box e Behnken (DBB).

O DCC é composto por dois elementos, o fatorial e os pontos centrais, o DCCR requer ao menos cinco níveis para cada fator, pontos axiais a uma distância $\alpha = \sqrt[4]{2^k}$ ($k = \text{numero de fatores}$) do centro, com rotacionalidade e ortogonalidade. O DBB é um modelo quadrático independente, em que as combinações de fatores, são os pontos médios das arestas das faces do espaço experimental e a propriedade da rotacionalidade requer três níveis para cada fator (MONDIM, 2014).

Na área de encapsulamento de alimentos, a MSR tem sido amplamente aplicada. Como exemplo, Getachew e Chun (2016) determinaram os parâmetros mais importantes que afetam a eficiência de encapsulamento do sabor de óleo de café. Botrel et al., (2012), encontraram combinações entre temperatura e vazão de alimentação do ar de secagem para o encapsulamento de óleo de orégano. Ko et al. (2015) identificaram a formulação otimizada para melhorar a eficiência no encapsulamento de cúrcuma.

A metodologia de superfície de resposta gera o maior conhecimento sobre a natureza do fenômeno a partir de dados estatísticos otimizados gerando modelos com menor resíduo como consequência de um número reduzido de ensaios (RODRIGUES e IEMMA, 2005).

No que se refere à seleção das variáveis de entrada que farão parte do modelo ajustado, pode-se dizer que é uma etapa extremamente importante e ao mesmo tempo complexa, pois à medida que uma variável sai do modelo ocorre variações no ajuste da regressão, por haver correlação entre elas. Por isso, métodos foram desenvolvidos para agrupar o melhor subconjunto de variáveis, que são montados sequencialmente com a remoção de alguma variável ao modelo sendo o efeito comparado estatisticamente pelo teste F. (MONTGOMERY, 2003).

Segundo Silveira, Lopes e Rosa, (2017), um determinado ponto da superfície de resposta pode se apresentar longe do ponto ótimo, assim, a superfície apresentará uma curva tênue, porém há relatos de que o polinômio de segunda ordem (Equação 1) possa representar significativamente os fenômenos observados.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (1)$$

Em que Y é a variável dependente, k a quantidade de variáveis independentes, β os coeficientes estimados, x os parâmetros e ε o termo de erro associado.

1.4 Função de Hubbert

Independentemente do Estudo de Superfícies de Resposta, há casos em que a regressão linear não se aplica, por isso, outros tipos de regressões podem ser empregados, como a função de Hubbert. Esta função, também conhecida como função logística, é definida como uma aproximação de taxa de produção para um recurso durante o período de tempo e geralmente é confundida com a distribuição normal por apresentar um pico. A função de Hubbert foi introduzida por Marion King Hubbert em 1956 estudando o campo da geologia do petróleo prevendo que os suprimentos de petróleo não eram infinitos, mostrado pelo decaimento da curva. (Jean Laherrere, 1997; Bardi e Leigh Yaxley, 2005). A função de Hubbert é dada pela equação 2.

$$y = y_0 + \frac{4Ae^{\left(\frac{x-x_c}{w}\right)}}{1+e^{-\left(\frac{x-x_c}{w}\right)}} \quad (2)$$

Sendo y_0 = taxa de crescimento, x_c = valores mínimos, w = valores máximos, A = quantidade (JEAN LAHERRERE, 1997; BARDI e LEIGH YAXLEY, 2005).

II OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Otimizar o encapsulamento da polpa de açaí com o isolado proteico do soro de leite em secagem por *spray dryer*.

2.2 Objetivos específicos

Verificar o efeito do tempo da análise em 0h e 24h e o efeito coadjuvante da carragena sobre as proteínas do soro de leite na polpa de açaí para melhor adequar os teores de sólidos solúveis (SS), condições pH e cor aplicáveis ao encapsulamento.

Verificar a estabilidade da emulsão proteica de açaí, por meio da adição de carragena em diferentes teores, sobre o diâmetro das microcápsulas em função do tempo de captura das imagens.

Otimizar a condição de secagem por atomização em *spray dryer* por meio da variação da temperatura de entrada, vazões do ar de secagem e a vazão do ar comprimido com relação às propriedades tecnológicas do pó formado: rendimento teor de água, atividade de água, resíduo mineral fixo, proteínas, antocianinas, flavonoides, densidade, solubilidade, higroscopicidade e cor.

III MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no Centro de Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias (CEDETEC) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Campus Itapetinga.

3.2 Matéria prima

A polpa de açaí foi adquirida de uma unidade produtora do município de Itororó-BA que cultiva açaí orgânico. O açaí chega a unidade produtora em caixas plásticas, onde passa por uma pré-seleção tirando os frutos visivelmente estragados, galhos, folhas, as sujidades mais grosseiras. Depois são lavados com água clorada e levados para a mesa de processamento, nessa mesa faz-se outra seleção, para garantir a pureza dos frutos e então é levada à despoldadeira onde é feita a separação entre massa (polpa de açaí) e resíduo (casaca e caroço). A polpa é então homogeneizada, embalada e armazenada em temperaturas de -18°C . A polpa congelada foi enviada ao CEDETEC e mantida em freezer horizontal à $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, por cerca de 30 dias.

No momento do uso ela foi descongelada e filtrada por pressão positiva em filtro de tecido vual, com a finalidade de separar partículas em suspensão (facilitando a passagem pelo bico atomizador). Este método foi escolhido após testes preliminares de métodos de filtração: a vácuo, por gravidade, com filtro de papel e com tecido vual e Oxford, onde se verificou o maior teor de antocianinas e flavonoides no filtrado com o uso do vual.

3.3 Avaliação do uso da carragena

Foi realizado outro ensaio preliminar para verificar a contribuição da carragena a fim de melhorar as propriedades da composição da emulsão a ser atomizada em *spray dryer*. A carragena foi misturada em diferentes proporções (2%; 3%; 4%; 5%) ao *whey protein* e ao filtrado de açaí obtendo-se cinco tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, sendo T1 a testemunha, ou seja, tratamento sem adição de carragena. Em todos os tratamentos foi mantido o percentual de material de parede de 25%.

3.4 Formação da emulsão

A formação da emulsão foi realizada por meio da homogeneização dos tratamentos em um dispersor, do tipo rotor-estator de alto desempenho (modelo T18 digital ULTRA-TURRAX) na velocidade de 14000 rpm por 10 minutos.

As emulsões obtidas foram submetidas a análise de sólidos solúveis, pH, cor e tamanho e distribuição de partículas, conforme metodologias descritas nos itens seguintes.

3.5 Sólidos Solúveis (SS), pH e cor da emulsão

As medições de SS, pH e cor foram realizadas no tempo de 0h, que corresponde a análise feita logo após o término da homogeneização e após 24h.

A determinação do teor de SS totais dos tratamentos foi realizada por meio da refratometria em Refratômetro de bancada (DSA E-Scan), com escala graduada em °Brix a 20°C.

A medida do pH foi realizada em pH-metro digital (modelo Akso) por leitura direta imergindo um eletrodo nas amostras (AOAC, 2016).

3.6 Determinação instrumental dos parâmetros de cor

A cor foi determinada pelo sistema Hunter Lab em colorímetro Colorquest XE (HunterLab, Sunset Hills Reston, VA, EUA), iluminante D65 e observador 10°, com reflexão inclusa calibrado a cada batelada de medições, conforme solicitado pelo software do próprio instrumento. Foram obtidos os parâmetros de cor Lab, referentes a luminosidade, cromaticidade e o ângulo do tom a partir dos parâmetros a e b, em que foram calculadas as coordenadas cilíndricas C* e h° de acordo com as equações 3 e 4.

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (3)$$

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (4)$$

Onde C* define o croma ou a cromaticidade e h° representa o ângulo de tom.

3.7 Tamanho e distribuição das partículas

O tamanho e distribuição das partículas dos tratamentos foram observados em microscópio óptico tomando-se uma alíquota em lâmina coberta por uma lamínula e medido tomando como referência uma lâmina graduada em micrômetros.

Com o auxílio de uma câmera digital (MEKEY SCMOS mini USB2.0 SCMOS00350KPA) acoplada ao microscópio óptico binocular foram obtidas as imagens em 5 tempos, imediatamente após a homogeneização (0h) e após 1, 2, 3 e 24 horas, de forma a verificar a estabilidade das partículas a partir da variação dos diâmetros e sua distribuição. Com auxílio do software ImageView versão x64,3.7.10121.20171030 os dados foram coletados numa a ampliação microscópica de 40X, calibrados e convertidos de pixels para µm com uma lâmina de calibração de 2,0 mm gerando imagens de 914,28µm por 685,71µm.

3.8 Secagem em *spray dryer*

A secagem por atomização foi realizada em um secador em escala piloto com sistema de atomização por orifício mini *spray dryer* (MSD 3.0, LabMaq, Ribeirão Preto, Brasil) cujo diâmetro do bico injetor foi de 1,2 mm. Este secador trabalha em fluxo concorrente sendo os fluxos ascendentes. As amostras foram alimentadas no atomizador por bomba peristáltica e os pós-obtidos foram acondicionados em sacos de polietileno e mantidos na ausência de luz envoltos em papel alumínio.

Foram realizados experimentos preliminares a fim obter os limites inferiores e superiores de temperatura, vazão do ar de secagem e do ar comprimido. Com base nos resultados destes experimentos foram elaborados dezenove tratamentos em um Delineamento de Composto Central Rotacional (DCCR) mantendo constante a taxa de alimentação em $1,667 \times 10^5$ m³/s, a pressão de ar comprimido em 0,6 MPa e variando a temperatura do ar de entrada, a vazão do ar de secagem e a vazão de ar comprimido, nas faixas de 150 a 180°C; $2,5 \times 10^{-5}$ a $3,3 \times 10^{-5}$ m³/s e $3,3 \times 10^{-4}$ a 0,001 m³/s respectivamente. Os dados foram analisados com auxílio do software estatístico Statistical Analysis System (SAS)[®] Studenty.

As Tabelas 2 e 3 mostram o planejamento experimental, com os níveis dos fatores codificados e decodificados e a matriz do experimento fatorial incompleto 3⁵.

Tabela 2 – Variáveis independentes codificadas

Variável	Níveis codificados				
	-1,68	-1	0	+1	+1,68
	Variáveis decodificados				
X1 Temperatura de entrada (°C)	150	157,5	165	172,5	180
X2 Fluxo do ar de secagem (m ³ /s)	0,000027	0,000031	0,000029	0,000031	0,000033
X3 Fluxo do ar comprimido (m ³ /s)	0,00033	0,00046	0,00058	0,00071	0,00083

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 3 – Matriz do planejamento fatorial

Trat	Ensaio	Variáveis Codificadas			Variáveis decodificadas		
		X1	X2	X3	Temperatura °C	Ar de secagem m ³ /s	Ar comprimido m ³ /s
A	1	-1	-1	-1	157,5	0,000027	0,00046
B	2	-1	-1	1	157,5	0,000027	0,00071
C	3	-1	1	-1	157,5	0,000031	0,00046
D	4	-1	1	1	157,5	0,000031	0,00071
E	5	1	-1	-1	172,5	0,000027	0,00046
F	6	1	-1	1	172,5	0,000027	0,00071
G	7	1	1	-1	172,5	0,000031	0,00046
H	8	1	1	1	172,5	0,000031	0,00071
I	9	-1,68	0	0	150	0,000029	0,00058
J	10	1,68	0	0	180	0,000029	0,00058
K	11	0	-1,68	0	165	0,000025	0,00058
L	12	0	1,68	0	165	0,000033	0,00058
M	13	0	0	-1,68	165	0,000029	0,00083
N	14	0	0	1,68	165	0,000029	0,00033
O	15	0	0	0	165	0,000029	0,00058
O	16	0	0	0	165	0,000029	0,00058
O	17	0	0	0	165	0,000029	0,00058
O	18	0	0	0	165	0,000029	0,00058
O	19	0	0	0	165	0,000029	0,00058

Fonte: dados da pesquisa.

3.9 Análises físicas, físico-químicas e químicas do pó da polpa de açaí encapsulado

O açaí micro encapsulado foi avaliado em relação ao rendimento, teor de água, atividade de água (Aw), resíduo mineral fixo, densidade, solubilidade, higroscopicidade, cor, proteína, antocianinas e flavonoides. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.9.1 Rendimento

O rendimento foi calculado em percentual entre a massa total do pó recolhido ao fim da secagem e o volume inicial da emulsão.

3.9.2 Teor de água

A determinação do teor de água foi realizada pelo método de secagem direta em estufa a 105° C, até obtenção de peso constante (AOAC, 2016).

3.9.3 Atividade de água (Aw)

A atividade de água, foi medida por meio de leitura direta da amostra a 25°C em um aparelho determinador de atividade de água (AquaLab 4TE), que utiliza o método “chilling mirror”.

3.9.4 Resíduo mineral fixo

A determinação do resíduo mineral fixo foi realizada por incineração da amostra em mufla a 550°C. O percentual de cinzas foi calculado pela diferença entre a massa do resíduo e a massa inicial da amostra, multiplicado por 100 (AOAC, 2016).

3.9.5 Proteína bruta

O teor de proteína bruta foi determinado pelo método de Kjeldahl, segundo a metodologia da AOAC n° 920.87 (2016), sendo o resultado obtido multiplicando-se o nitrogênio total pelo fator correspondente de nitrogênio proteico 6,25 (%N x 6,25).

3.9.6 Antocianinas e flavonoides

Antocianinas e flavonoides foram quantificadas segundo o método descrito por Francis (1982) e Fuleki e Francis (1968). Tomou-se 1 g de amostra em becker envolto em papel alumínio com 30 mL de solução extratora de etanol 95% + HCl 1,5 N (85:15). As amostras foram homogeneizadas no ultraturrax a 4.500rpm por dois minutos e transferida para um balão volumétrico de 50 mL, também envolto em papel alumínio, sendo o volume completado com solução extratora. As amostras foram mantidas sob refrigeração em torno de 5°C por 16 h, após este tempo foi feita a leitura da absorvância em espectrofotômetro UV-visível no comprimento

de onda de 535 nm para antocianinas e 374 nm para os flavonoides, os resultados foram expressos em $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de polpa.

3.9.7 Densidade Aparente

A densidade aparente foi medida adicionando 2g do pó em uma proveta de 10 mL e agitada suavemente em um agitador vórtex por 1 minuto. O valor da densidade aparente em g/mL foi determinado pela razão entre a massa do pó e o volume ocupado após a agitação (KHA et al., 2014).

3.9.8 Solubilidade

A solubilidade foi determinada adicionando 0,5 g de amostra em 50 mL de água destilada, sob agitação magnética a 1.000 rpm, por 5 minutos seguida de centrifugação a 4.500 rpm, por 5 minutos. Uma alíquota de 12,5 mL foi transferida para placa de petri e levada a estufa a 105 °C por 5h. A solubilidade foi calculada pela razão entre a massa seca do sobrenadante e a massa total do pó (CANO-CHAUCA et al., 2005).

3.9.9 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada pesando-se em balança analítica 1g de cada amostra em um recipiente hermético contendo solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25°C. Após o período de sete dias, as amostras foram novamente pesadas em balança analítica e a higroscopicidade foi expressa em gramas de umidade adsorvida por 100 g de massa seca da amostra (g/100g) (CAI; CORKE, 2000).

3.10 Análises estatísticas

Um esquema fatorial 2x5 em que testou-se a significância da interação entre o teor de carragena em 5 níveis (0%, 2%, 3%, 4% e 5%) e tempo em dois níveis (0h e 24h) por meio de análise de variância (ANOVA) e obteve-se os modelos de regressão utilizando o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS)® Studenty.

Os diâmetros médios das bolhas foram coletados e avaliados segundo várias equações de regressão envolvendo curvas com pico sendo que a equação de Hubbert foi a que apresentou os melhores resultados usando para isso o software OriginLab 2017 com o qual também se obteve as superfícies de resposta e demais gráficos.

IV RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Efeito da adição de carragena

4.1.1 Determinação de SS

A interação entre o teor de carragena e o tempo da análise foi não significativo ($P > 0,05$) para descrever a variação no teor de SS. Em vista disso, se fez necessário avaliar a ação os dois fatores sob SS separadamente. Para o parâmetro teor de carragena o ajuste apresentou R^2 de 0,46 e o tempo da análise foi não significativo ($P > 0,05$) para indicar alterações no teor de SS como pode ser observado na Tabela 1 do Anexo 1. No entanto não foi possível um bom ajuste de um modelo polinomial que explicasse as possíveis variações apresentadas.

O teor de SS variou numericamente entre 28 e 30 °Brix, os quais estão de acordo com os valores encontrados nos trabalhos de encapsulamento de alimentos realizados Jafari, Ghalenoei, e Dehnad (2017) relatando que índices semelhantes a estes podem gerar um material em pó com rendimento em torno de 25%, densidade mínima de $0,747 \text{ g/cm}^3$, alta solubilidade e aponta que o aumento da concentração de sólidos pode ser prejudicial ao aprisionamento de compostos. Muzaffar, et al., (2016) encontraram melhores resultados de rendimento do pó com o teor do material encapsulante acima de 20%. Ou seja, neste intervalo de concentração de sólidos solúveis na mistura é possível melhorar a solubilidade em água e densidade.

4.1.2 Determinação do pH

A interação entre o teor de carragena com o tempo da análise mostrou-se não significativa ($P > 0,05$) para verificar a variação de pH, como mostra a Tabela 2 do anexo 1.

Ambos os fatores separadamente mostraram-se significativos ($P < 0,05$) para alterar pH porém teor de carragena apresentou R^2 de 0,22 e tempo para análise apresentou R^2 de 0,25, ou seja, não foi possível ajustar equações para descrever a variação de pH em função do teor de carragena e do tempo.

Na faixa de pH encontrada (5,55 a 5,80) essa faixa de pH é distante do ponto isoelétrico das proteínas do soro e pode dificultar os desdobramentos. As proteínas do soro de leite, quando estão afastadas do seu ponto isoelétrico ($PI = \text{pH } 4,6$), apresentam uma estrutura tetramerizada, (FENNEMA, DAMODARAN, e PARK, 2010) e de acordo com Stone e Nickerson, (2012) nessas condições a interação carragena-proteína forma complexos estabilizado por forças eletrostáticas, de Van der Waals, interações hidrofóbicas, ligações de hidrogênio e de dissulfeto com dissacarídeos, conseqüentemente se tornam menos disponíveis ao desdobramento e

aprisionamento de compostos durante a encapsulação. Ou seja, não foi possível melhorar as condições de pH, por meio da presença ou concentração de carragena, à ponto de tornar as proteínas do soro de leite mais susceptíveis ao encapsulamento de compostos.

4.1.3 Determinação instrumental da cor

Os dados obtidos de luminosidade estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Luminosidade em função do teor de carragena na mistura encapsulante com o tempo da análise.

Teor de carragena (%)	Luminosidade	
	0h	24h
0	40,62	26,61
2	76,81	35,73
3	58,65	26,00
4	40,97	27,01
5	39,93	27,01

Fonte: dados da pesquisa

De acordo com o teste F da análise de variância com $P < 0,05$ os fatores tempo da análise e teor de carragena e a interação entre eles foram significativos, como mostra a Tabela 3 do anexo 1. A luminosidade poderia ter sido alterada simultaneamente pelo tempo da análise nas cinco concentrações de carragena e pelo teor de carragena apenas com o tempo da análise de 0h, porém o fator de ajuste da equação foi de 0,15 mostrando que as alterações observadas podem ter sido devido ao acaso.

Os dados das Tabelas 4 e da 5 no anexo 1 indicam que a luminosidade diminui com o tempo da análise e com o teor de carragena, o que pode ser explicado pela oxidação de espécies reativas contidas nelas (ARAÚJO, 2006), nesse caso, é possível que seja pela oxidação das antocianinas presentes no açaí que também são responsáveis pela sua coloração original.

A avaliação do tempo da análise de 24h em função do teor de carragena mostrou que não houve alterações na luminosidade, mas no tempo de 0h a luminosidade variou em função do teor de carragena. Essa variação foi representada por um modelo quadrático cujo R^2 foi de 0,96 (Eq 5) e pela Figura 3 onde mostra o efeito da concentração de carragena no tempo 0h sobre a luminosidade

$$L = 40,041 + 2,580Car - 0,772Car^2 \quad (5)$$

Sendo L o luminosidade da cor e Car o teor de carragena em percentual.

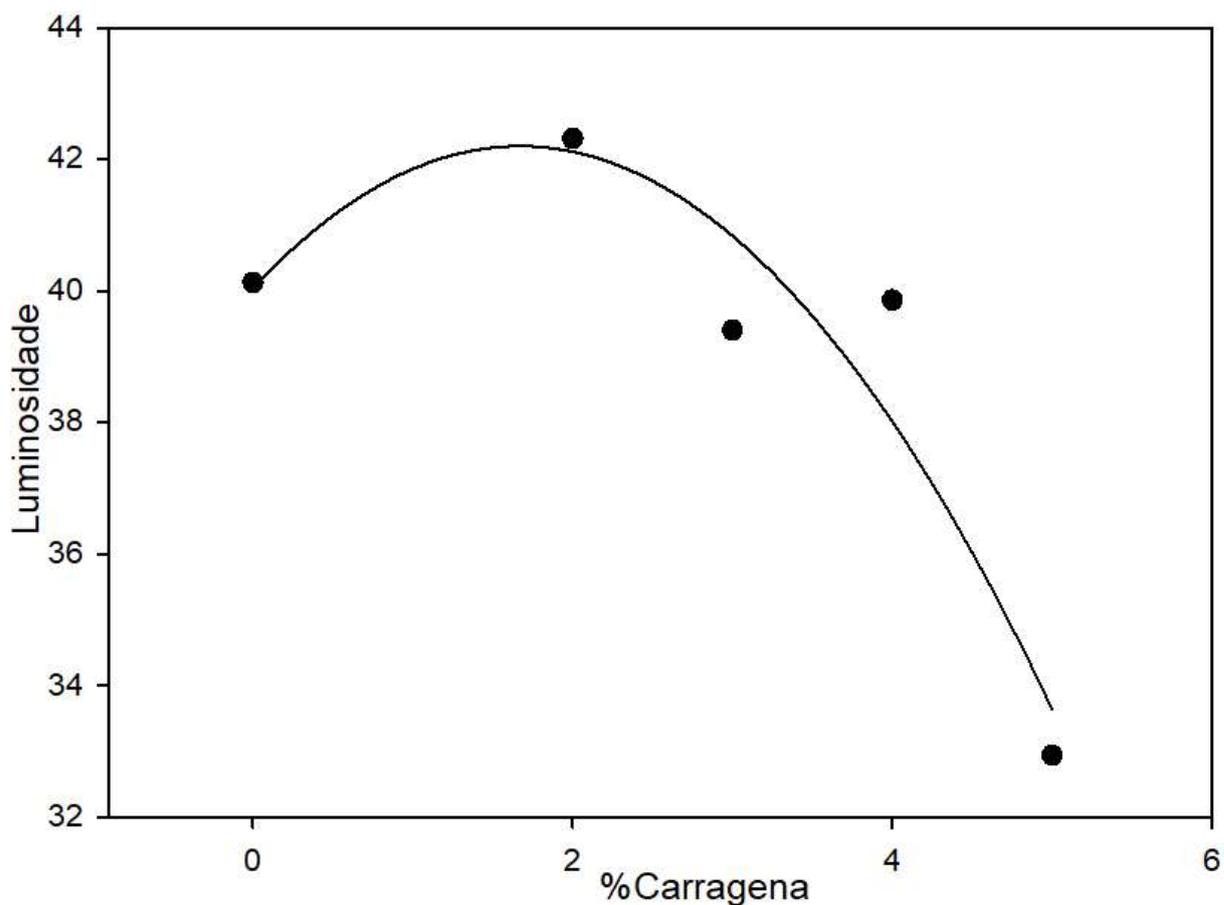


Figura 3 - Efeito do teor de carragena no tempo 0h sobre a luminosidade na mistura encapsulante.

Fonte: dados da pesquisa

Vê-se que a luminosidade diminui com a adição de carragena na mistura. Ou seja, assim, como mostram os coeficientes da equação gerada, o aumento gradativo no teor de carragena escurece as amostras.

Os dados obtidos da cromaticidade estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Cromaticidade em função do teor de carragena na mistura encapsulante em diferentes tempos da análise.

Teor de carragena (%)	Cromaticidade	
	0h	24h
0	09,94	07,62
2	09,82	07,82
3	08,98	06,52
4	09,33	07,50
5	06,78	08,27

Fonte: dados da pesquisa

O teste F da análise de variância foi significativo com $P < 0,05$ para os fatores tempo da análise e teor de carragena e a interação entre eles, como mostra a Tabela 6 do anexo 1. A cromaticidade poderia ter sido alterada simultaneamente pelo tempo da análise nas cinco concentrações de carragena e pelo teor de carragena com o tempo da análise, que estão apresentados nas Tabelas 7 e 8 respectivamente do anexo 1.

Os dados das Tabelas 6 e 7 indicam que a cromaticidade diminui com o tempo da análise nas cinco concentrações de carragena e a Tabela 8 mostra que tanto tempo de 0h quanto com 24h houveram diferenças significativas com $P < 0,05$ em relação as concentrações de carragena. Tais diferenças foram representadas por equação de grau 3 com R^2 de 0,90 e R^2 de 0,87 (Eq 6 e 7) e em gráficos da Figura 4 que mostram o efeito da concentração de carragena no tempo da análise de 0h e 24h sobre a cromaticidade.

$$C_{0h} = 9,967 - 1,0229Car + 0,6166Car^2 - 0,1069Car^3 \quad (6)$$

$$C_{24h} = 7,6797 + 0,9856Car - 0,7055Car^2 + 0,1071Car^3 \quad (7)$$

Sendo C_{0h} a cromaticidade da cor no tempo da análise de 0h, C_{24h} a cromaticidade no tempo de 24h e Car o teor de carragena em percentual.

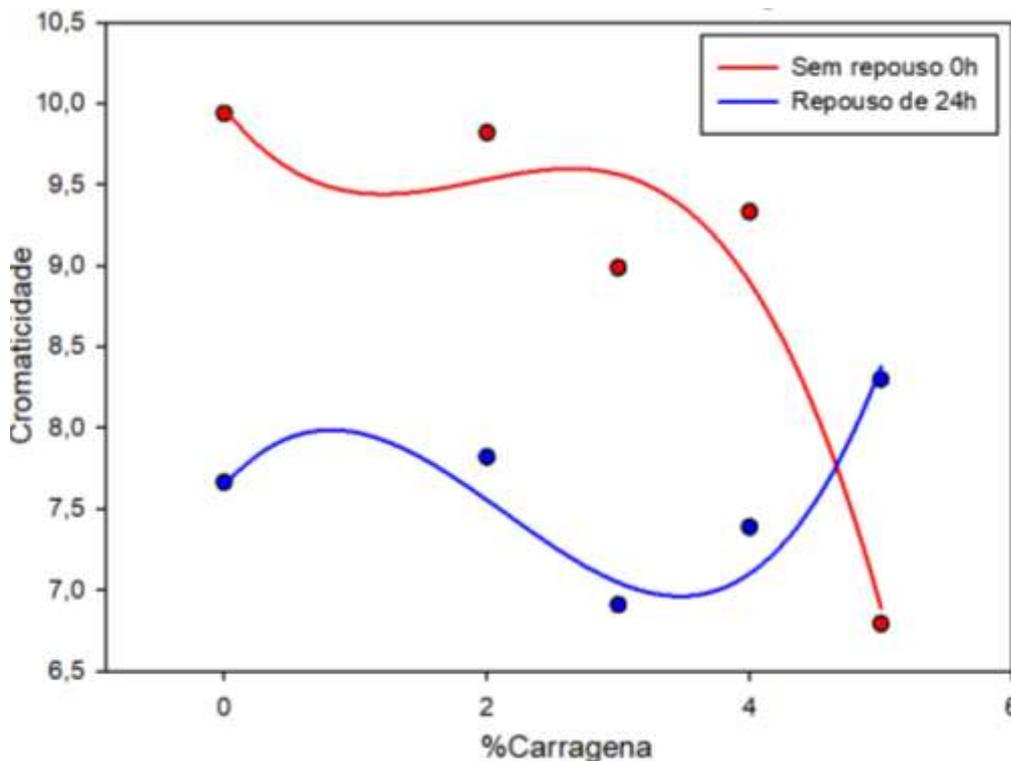


Figura 4 - Efeito do teor de carragena com o tempo da análise sobre a cromaticidade na mistura encapsulante.

Fonte: dados da pesquisa

Vê-se que a cromaticidade inicial é menor no tempo da análise de 24h e que na concentração máxima de carragena a cromaticidade é menor no tempo 0h e maior em 24h. Ou seja, aumento gradativo no teor de carragena reduz a cromaticidade imediatamente após a homogeneização tempo da análise de 0h.

Os dados obtidos do h° estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – h° da cor em função do teor de carragena na mistura encapsulante com o tempo da análise.

Teor de carragena (%)	h°	
	0h	24h
0	0,61	0,58
2	0,62	0,55
3	0,68	0,59
4	0,76	0,58
5	0,65	0,73

Fonte: dados da pesquisa

De acordo com o teste F da análise de variância com $P < 0,05$ os dois fatores em estudo tempo da análise e teor de carragena e a interação entre eles foram significativos, como mostra a Tabela 9 do anexo 1, ou seja, foi alterada simultaneamente pelo tempo da análise nas cinco concentrações de carragena e pelo teor de carragena com o tempo da análise de 24h, que pode ser observado nas Tabelas 10 e 11 respectivamente do anexo 1, onde mostram que o h° diferiu significativamente pelo teste F da anova com $P < 0,05$ em relação ao tempo da análise em cada uma das cinco concentrações de carragena e que tanto no tempo da análise de 0h quanto em 24h houveram diferenças significativas em relação as concentrações de carragena

Tais diferenças foram representadas por equação de grau 3 com R^2 de 0,93 e R^2 de 0,81 (Eq 8 e 9) e em gráficos na Figura 5 que mostram o efeito da concentração de carragena no tempo da análise de 0h e 24h sobre o h° .

$$H_{0h} = 0,6124 - 0,1585Car + 0,107Car^2 - 0,0148Car^3 \quad (8)$$

$$H_{24h} = 0,5765 + 0,0271Car - 0,0286Car^2 + 0,0058Car^3 \quad (9)$$

Sendo Y_{H0h} o h° no tempo da análise de 0h, Y_{H24h} o h° tempo da análise de 24h e Car o teor de carragena em percentual.

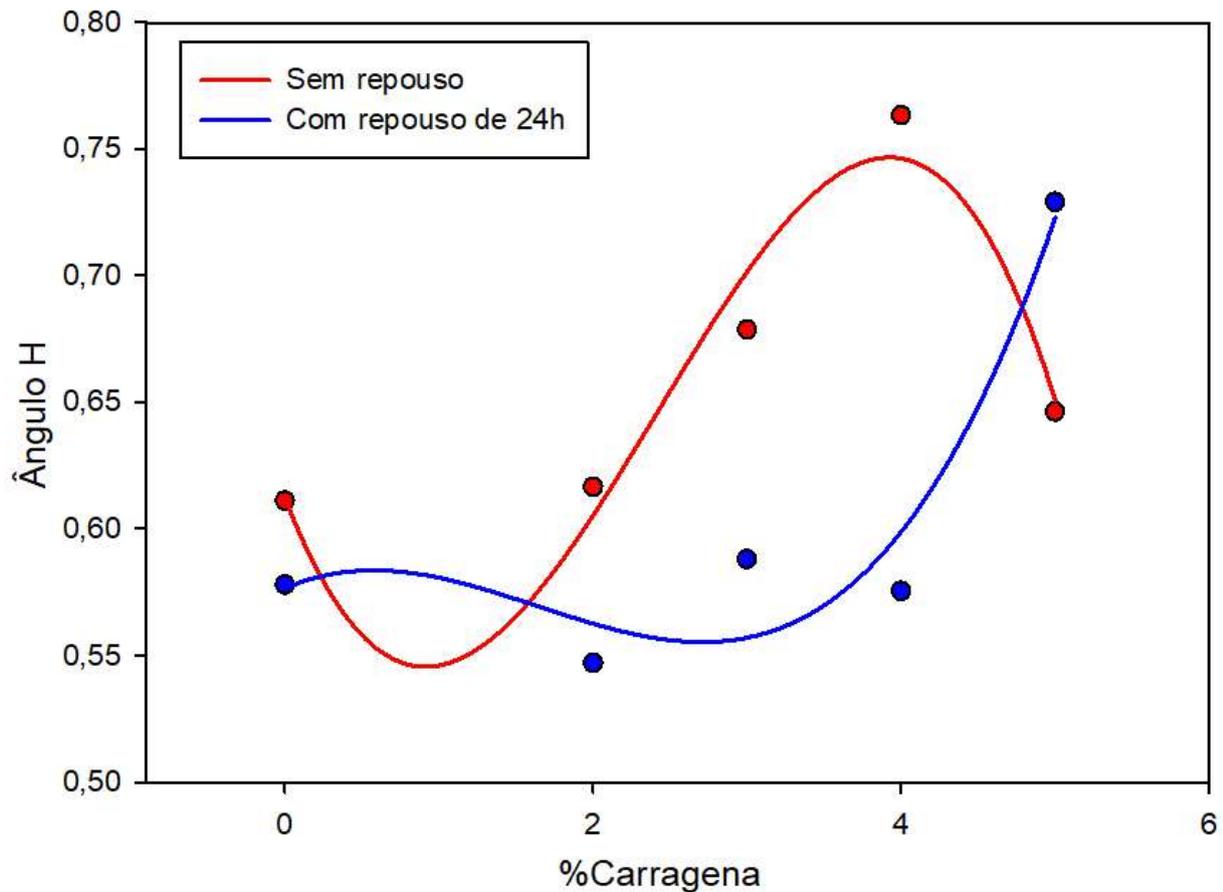


Figura 5 - Efeito do teor de carragena tempo da análise sobre o h° na mistura encapsulante.

Fonte: dados da pesquisa

Vê-se que o h° no tempo da análise de 0h apresenta tendência ao aumento com aumento da concentração de carragena. Após 24h o aumento da concentração leva ao aumento no valor do ângulo H.

Obteve-se valores de luminosidade mínimos que variaram em torno de 40 e 26 no tempo da análise 0h e 24h respectivamente, a cromaticidade mínima e máxima variou entre 6,5 e 9,9 e os valores do ângulo H variaram entre 0,61 a 0,76 demarcando a cor dos tratamentos em 0h e 24h na região avermelhada com luminosidade e saturação baixas. É possível que essa coloração muito clara tenha forte influência dos materiais encapsulantes, que costumam ser brancos (TONON, BRABET e HUBINGER, 2009) e da incorporação de ar, que facilita o espalhamento da luz e pode ter alterado os dados de cor obtidos (ZÍLIO, 2009; CARNEIRO, 2011).

4.2 Tamanho e distribuição das partículas

Observou-se, após a homogeneização da emulsão, a presença de bolhas em todos os tratamentos que podem ser observados nas imagens da Figura 6.

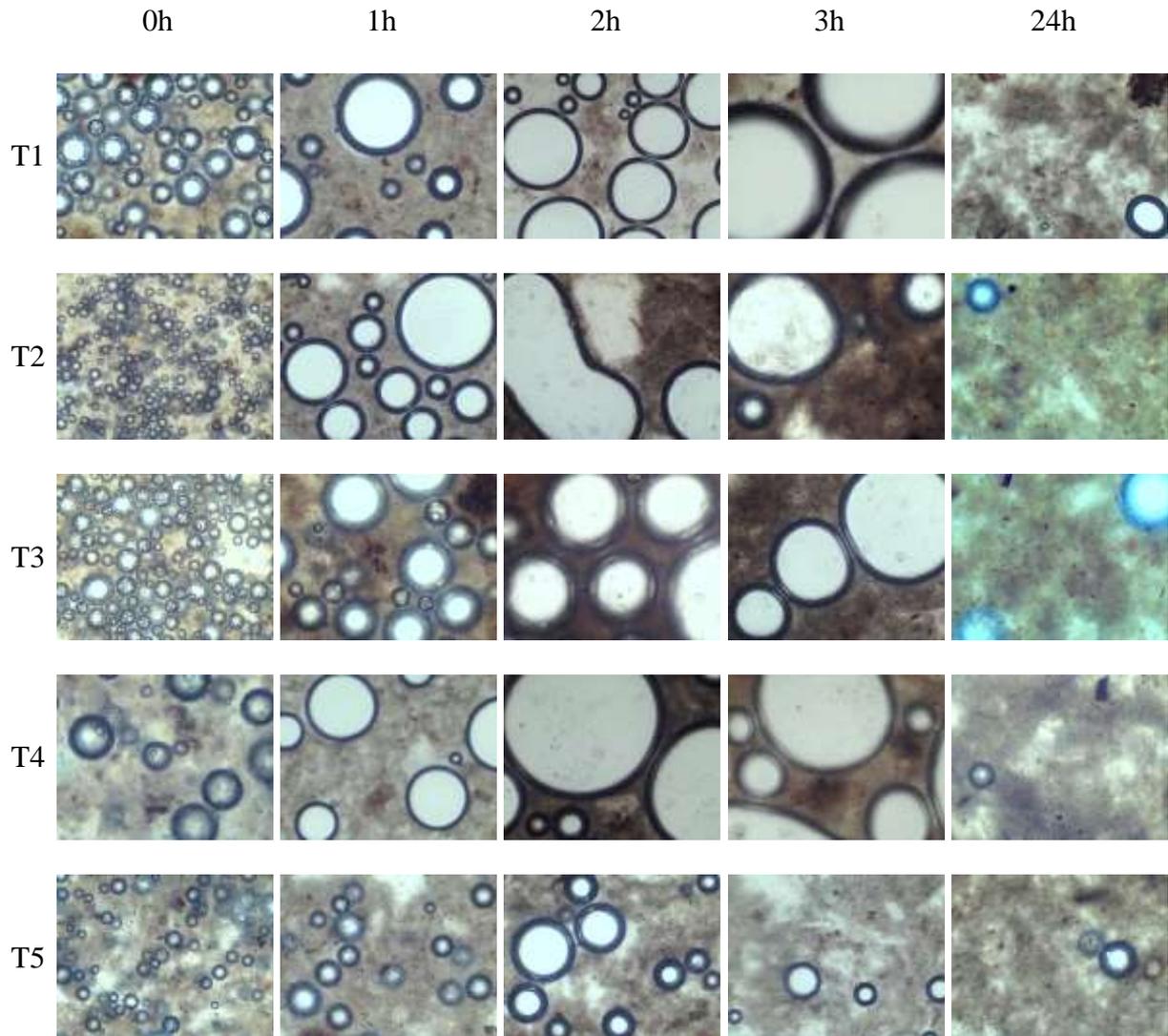


Figura 6 – Bolhas presentes após a homogeneização no tratamentos com e sem adição de carragena em diferentes tempos de captura das imagens com ampliação de 40X.

Legenda: T1=0% carragena, T2=1% de carragena, T3= 3% de carragena, T4= 4% de carragena e T5= 5% de carragena.

Fonte: dados da pesquisa.

Observou-se em todos os tratamentos que imediatamente após a homogeneização há inúmeras bolhas e, à medida que o tempo passa elas crescem e movimentam-se. Dessa maneira com 1h, o número de gotas menores diminui e começa a surgir gotas maiores, e em menor quantidade.

Esse comportamento continua até 3h e parece finalizar após 24h permanecendo apenas algumas gotas de diâmetros menores. Os tratamentos T4 e T5 apresentaram menor quantidade

de gotas desde o primeiro tempo, e não apresentaram crescimento elevado em comparação com os outros.

Vê-se que as bolhas dos tratamentos que contêm carragena em concentrações crescentes não apresentaram estabilidade, como pode ser observado pelos seus desaparecimentos em todos os tratamentos. Isso se dá, possivelmente, por haver formação de interações complexas entre as proteínas do soro de leite e a carragena que diminuem a capacidade das proteínas de formarem filmes e uma película que envolve e estabiliza as bolhas como indicado por Stone e Nickerson, (2012). Além disso, Zheng, et al., (2018) mostraram que a associação da carragena com proteína tornou géis proteicos mais firmes, por tornar as proteínas do soro de leite mais resistente ao desdobraimento, o que pode ser prejudicial ao uso da emulsão em questão como encapsulante.

A movimentação e modificações observadas nas gotas podem ter ocorrido por três outros motivos complementares que ocorrem simultaneamente, o movimento *Browniano*, a maturação de *Ostwald* (FRANZOL e REZENDE, 2015) e a coalescência, que são comuns em sistemas termodinamicamente instáveis devido às repulsões eletrostáticas entre os constituintes das dispersões (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010) e caracterizam-se pelo rompimento do fino filme que recobre gotas próximas forçando a união entre elas e pela dissolução do material de dentro no material de fora fazendo com que a pressão interna aumente e cause o crescimento de algumas partículas em função do desaparecimento de outras (FRANZOL e REZENDE, 2015).

As bolhas apresentaram valores máximos em torno de 645,09 μm ; 711,38 μm ; 642,93 μm ; 638,55 μm ; e 232,78 μm e mínimos 69,75 μm ; 48,65 μm ; 62,87 μm ; 111,96 μm ; e 70,41 μm para os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. Contudo, houve variações no diâmetro em relação ao tempo de captura das imagens com o teor de carragena. No ajuste de curvas por regressão, a equação de Hubbert foi a que apresentou os melhores resultados.

A Tabela 7 mostra as 5 equações obtidas da relação entre o tempo e o teor de carragena na mistura encapsulante. As curvas referentes são mostradas na Figura 7.

Tabela 7 – Equações de Hubbert obtidas, por análise de regressão, relacionando o tempo de captura das imagens, com o diâmetro médio das gotas nos tratamentos

Tratamento	Relação Percentual de carragena	Equação	R ²
T1	0	$Dm = 192 + \frac{4308e^x}{1 + e^{-x}}$	0,93
T2	2	$Dm = \frac{2500e^{\frac{x-2,3}{0,81}}}{1 + e^{-\frac{x-2,3}{1,81}}}$	0,98
T3	3	$Dm = -113 + \frac{2524e^{\frac{x-2,8}{1,1}}}{1 + e^{-\frac{x-2,8}{1,1}}}$	0,98
T4	4	$Dm = 101 + \frac{2348e^{\frac{x-2}{0,4}}}{1 + e^{-\frac{x-2}{0,4}}}$	0,97
T5	5	$Dm = \frac{1068e^{\frac{x-2,4}{0,95}}}{1 + e^{-\frac{x-2,4}{0,95}}}$	0,96

X: Tempo (h).

Dm: Diâmetro médio

Fonte: dados da pesquisa

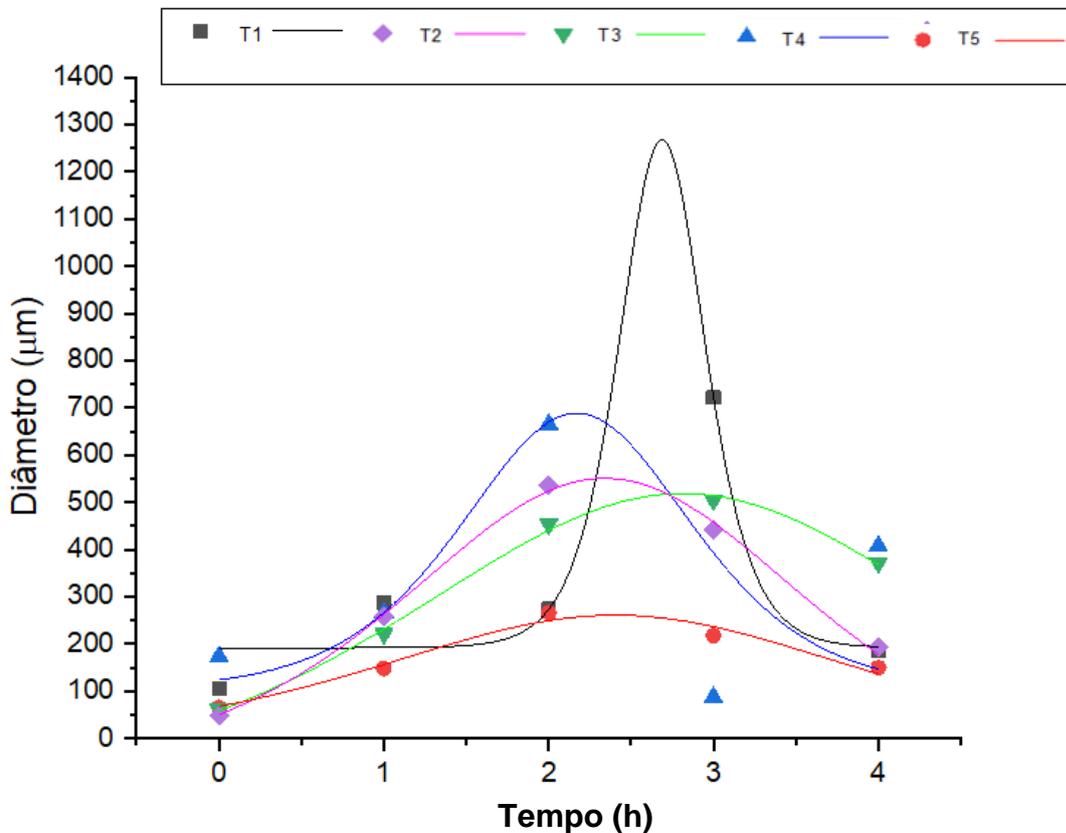


Figura 7 – Relação entre o diâmetro e o tempo da captura de microcápsulas de açúcar com diferentes relações proteína do leite/carragena

Legenda: T1=0% carragena, T2=1% de carragena, T3= 3% de carragena, T4= 4% de carragena e T5= 5% de carragena.

Fonte: dados da pesquisa

À medida que o teor de carragena aumenta, há uma tendência a diminuição no tamanho das gotas, com exceção do tratamento T4 (com 4% de carragena). O tratamento T5 (5%), apresenta um comportamento mais estável, com diâmetros menores.

Com o passar do tempo, o diâmetro das cápsulas aumenta até atingir um pico e depois começa a diminuir. Embora não tenhamos encontrado na literatura referências para comparar este efeito, ele possivelmente se dá pela incorporação inicial de ar que, ao sair do produto, acaba por forçar a união de cápsulas que, *a posteriori*, se separam novamente, quiçá por ação de forças eletrostáticas. Também se observou que o aumento na quantidade de proteína retardou o tempo do pico e diminuiu o seu valor.

Pelais (2007), observou que o diâmetro médio das gotículas de óleo de polpa de açaí aumentou devido ao alto teor proteico e lipídico. Segundo este autor o açaí forma uma emulsão estável após o despulpamento com pouca repulsão eletrostática entre gotículas em razão da presença de fosfolipídeos e proteínas que são adsorvidos na interface e dão a estabilidade necessária à essa emulsão. Logo a presença de proteína na polpa de açaí pode ter função encapsulante e não ter função estabilizante e a adição de diferentes teores de carragena não contribui para manter a estabilidade das microcápsulas o que foi verificado por meio das variações observadas nos diâmetros em função dos tempos de captura das imagens. Logo, recomenda-se o uso do tratamento que não contém carragena para ser aplicado ao encapsulamento da polpa de açaí.

4.3 Caracterização do pó da polpa de açaí encapsulado

De acordo com os resultados das análises de variância, mostrada nas Tabelas 1 e 2 do anexo 2, a variação do resíduo mineral fixo e da concentração de proteína respectivamente mostraram-se não significativos ($P > 0,05$), assim como todas as interações testadas para a caracterização dos pós obtidos. Portanto, modelos polinomiais foram ajustados apenas ao rendimento, teor de água, A_w , antocianinas, flavonóides, densidade, solubilidade, higroscopicidade e cor.

Percebe-se que tanto o resíduo mineral fixo quanto o teor de proteína não sofrem alterações em todos os tratamentos, pois ambos são parte da constituição química dos compostos envolvidos no processo e não se alteram com as condições de secagem aplicadas. Tais componentes, dependem de novas concentrações, tipos de encapsulante, temperaturas extremamente altas ou condições extremas de pH a ponto de exporem o resíduo mineral fixo e os aminoácidos e alterá-los (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010), como parte do das

temperaturas de entrada, vazões do ar de secagem e do ar comprimido ou outras variáveis não mencionados.

4.3.1 Rendimento

As interações entre a temperatura de entrada (X_1), vazão do ar de secagem (X_2) e vazão do ar comprimido (X_3) mostraram-se não significativas ($P>0,05$) na análise de rendimento como mostram a Tabela 3 do anexo 2.

O rendimento do pó encapsulado foi significativamente ($P<0,05$) afetado pela temperatura de entrada e pela vazão do ar comprimido tendo sido ajustada uma equação polinomial de segunda ordem com R^2 de 0,97 (Eq. 14). Foram obtidos pós com rendimento variando entre 10% a 45% sendo mais adequado o rendimento maior.

$$R = 18,964 - 3,891Te - 3,639V_B + 3,448Te^2 \quad (15)$$

Sendo R rendimento em percentual, Te a temperatura de entrada em graus Celsius e V_B a vazão do ar comprimido em metros cúbicos por segundo.

O rendimento na microencapsulação é uma variável de uso frequente na avaliação da eficiência e dos custos do processo, sendo esperadas percentagens superiores a 50% para que se possa considerar a microencapsulação bem sucedida (MUZAFFAR et al., 2016).

No encapsulamento da polpa de açaí o rendimento máximo ficou abaixo do esperado, mas pode ser alcançado na temperatura de entrada mínima de 150°C e na vazão máxima do ar comprimido de 0,0008 m³/s como pode ser observado na Figura 8.

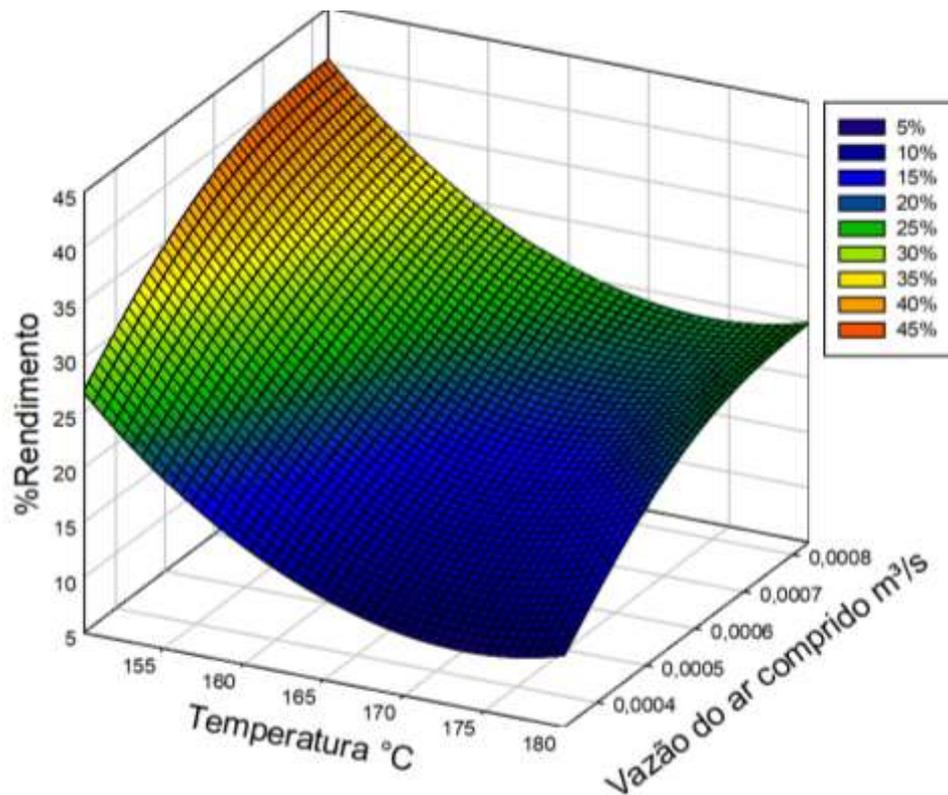


Figura 8: Rendimento do pó de polpa de açaí com a temperatura e a vazão de ar comprimido no processo de secagem por atomização

Fonte: dados da pesquisa.

O maior rendimento foi apresentado por temperaturas mais baixas como mostram os coeficientes $-3,891$ e $+3,448$. Já a vazão do comprimido tem efeito linearmente negativo prejudicando o rendimento do pó, mas a maior vazão de $0,0008 \text{ m}^3/\text{s}$ foi a que apresentou maior rendimento.

Foi mostrado por Keshani et al., (2015), que o rendimento pode diminuir com o aumento da temperatura do ar de secagem, devido ao aquecimento das paredes de aço inoxidável do equipamento, o que favorece a deposição de partículas. Porém vê-se com o termo quadrático dessa equação que as temperaturas mais altas podem reverter a perda por deposição. E ar comprimido percorre a câmara a uma vazão suficiente para arrastar as partículas desde o alimentador até o cone de coleta, fazendo com que as partículas se espalhem mais facilmente pela câmara e se depositem nas paredes antes mesmo da secagem (KESHANI et al., 2015). Embora os valores de rendimento tenham sido baixos em relação aos valores considerados ideais, estes apresentaram equivalência com outros trabalhos que obtiveram valores entre 17% e 35% usando maltodextrina como material de parede. (CHEGINI e GHOBADIAN, 2007; JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017). Estes autores também obtiveram uma relação inversa com o aumento da temperatura do ar de secagem. Os valores de rendimento aqui

encontrados foram superiores aos supracitados provavelmente devido ao uso da proteína do soro de leite, pois há relatos de que ela aumenta a recuperação do pó devido a sua capacidade de formar um filme vítreo em torno das gotículas e reduzir sua colisão e consequentemente a deposição de pó na parede do secador (KESHANI et al., 2015).

Vale ressaltar que estes rendimentos se referem a fabricação de pó a partir de uma certa quantidade de polpa e, embora tais valores sirvam de referência, a quantidade de pó retido na câmara de secagem e em outras partes do secador é alta, em relação a quantidade de pó fabricada. Portanto, em um processo industrial os rendimentos obtidos serão, certamente, maiores que os que foram aqui encontrados.

4.3.2 Teor de água

As interações entre a temperatura de entrada (X_1), vazão do ar de secagem (X_2) e vazão do ar comprimido (X_3) mostraram-se não significativas ($P>0,05$) na análise do teor de água como mostram a Tabela 4 do anexo 2.

O teor de água do pó variou entre 6% e 12% e foi significativamente ($P<0,05$) afetada apenas pela vazão do ar de secagem numa relação linear com R^2 de 0,91 (Eq. 16) fazendo com que o aumento dessa vazão reduza o teor de água do pó em 1,145 vezes, alcançando o menor teor com a menor vazão de $2,5e-5$ m³/s do ar de secagem como está apresentada na Figura 9.

$$Ta = 9,683 - 1,145 V_A \quad (16)$$

Sendo Ta o teor de água em percentual e V_A a vazão do ar de secagem em metros cúbicos por segundo.

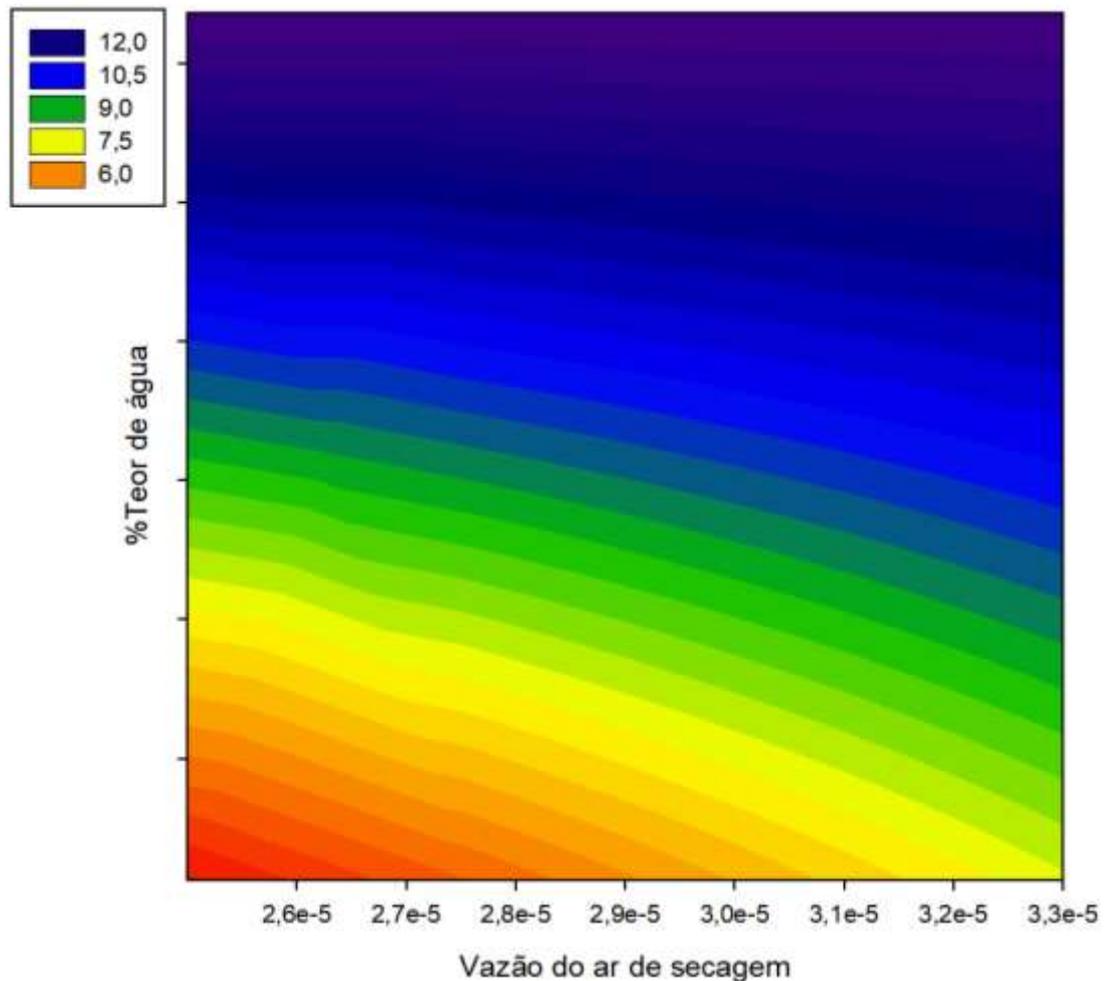


Figura 9. Variação do teor de água do pó da polpa de açaí com a vazão do ar de secagem.

Fonte: dados da pesquisa

O teor de água apresentou uma variação linear com a vazão do ar de secagem. Mostrando que o aumento da vazão do ar de secagem diminuiu o teor de água como mencionado nos trabalhos de Andrea (2011) , Kha et al., (2014); Carvalho, Silva e Hubinger, (2014), Fernandes, Borges e Botrel (2013) que obtiveram teores de umidade variando entre 0,2% e 6,5%. Estes autores justificam a redução do teor de água pelo aumento da temperatura de entrada, porém Balasubramani, Viswanathan e Vairamani, (2012)(Balasubramani, Viswanathan e Vairamani, 2012) observaram que alterações no teor de água podem ocorrer independentemente da ação dessa variável. Logo, o aumento do fluxo do ar de secagem, pode melhorar as taxas de evaporação e diminuir o teor de água das partículas, por facilitar o transporte das moléculas de água que ficariam retidas em camadas mais internas (REZAUL, SHISHIR e CHEN, 2017).

4.3.3 AW

As interações entre a temperatura de entrada (X_1), vazão do ar de secagem (X_2) e vazão do ar comprimido (X_3) mostraram-se não significativas ($P>0,05$) na análise de A_w como mostram a Tabela 5 do anexo 2.

A_w do pó variou entre 0,25 e 0,58 foi significativamente afetada pela temperatura de entrada, pela vazão do ar de secagem e pela vazão do ar comprimido ($p<0,05$) numa relação linear com os três parâmetros (Eq. 16) e R^2 de 0,88. Nota-se que a menor A_w foi alcançada pelo menor valor da vazão do ar comprimido de $0,0004\text{m}^3/\text{s}$ e pelo maior valor da vazão do ar de secagem de $3,3\text{e-}5\text{ m}^3/\text{s}$ que estão representados pelo gráfico da Figura 10.

$$aw = 0,417 + 0,037Te - 0,087V_A - 0,041V_B \quad (17)$$

Sendo aw a atividade de água, Te a temperatura de entrada em graus Celsius, V_A a vazão do ar de secagem e V_B a vazão do ar comprimido ambas em metros cúbicos por segundo.

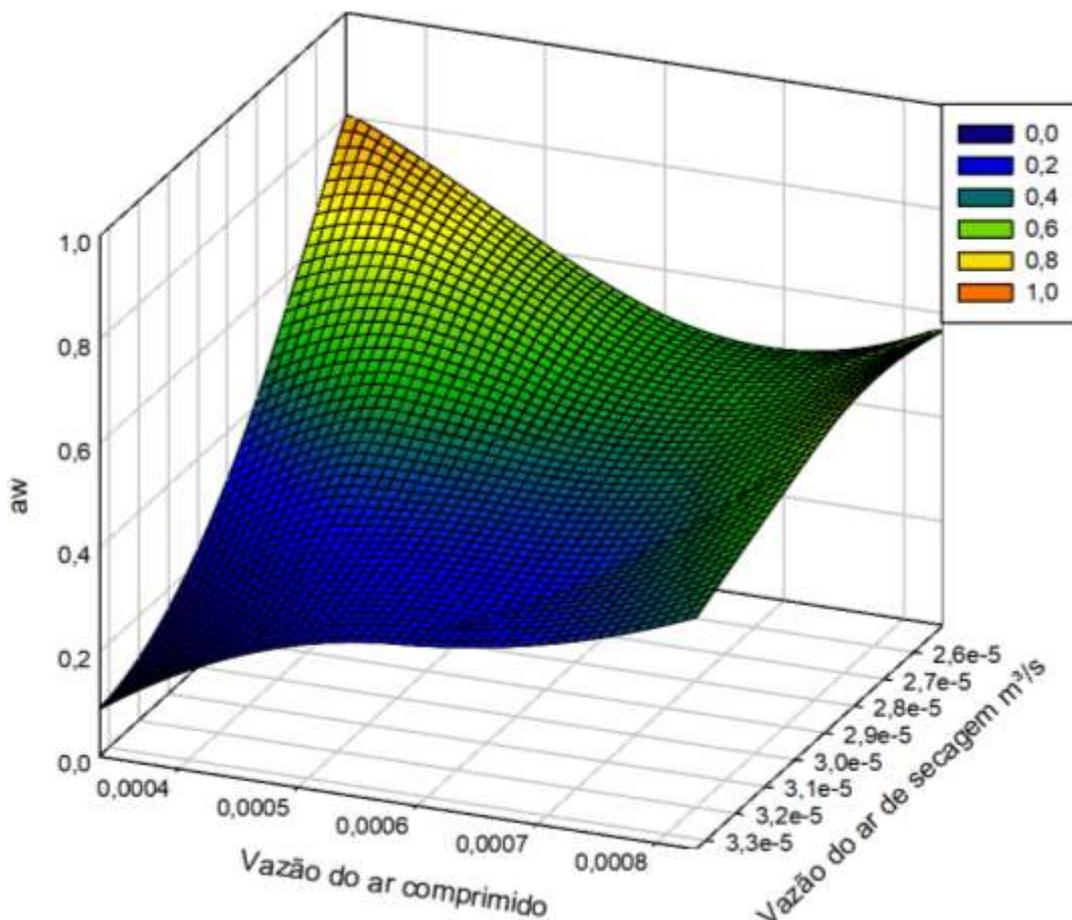


Figura 100 – Variação da A_w com a vazão do ar de secagem e do ar comprimido
Fonte: dados da pesquisa.

Nota-se que o aumento na vazão do ar de secagem e do ar comprimido são as variáveis que mais contribuem para a redução na atividade de água, cujos coeficientes reduzem 0,087 e 0,041 vezes respectivamente. Já a temperatura apresentou menor coeficiente de variação, porém com o efeito inverso pelo apresentado por SHEN e QUEK (2014), como sendo a principal variável na redução da atividade de água de astaxantina encapsulada com mistura de proteínas do leite e fibra solúvel de milho.

Os valores de A_w encontrados nesse trabalho indicam que os produtos em pó, estão imunes ao ataque microbiológico, não devem ter aceleradas reações hidrolíticas, de escurecimento, de oxidação lipídica, de auto oxidação e deve ter reduzidas as atividades enzimáticas (ROCHA et al., 2019).

4.3.4 Antocianinas e flavonoides.

A análise de variância para o teor de antocianinas no açaí encapsulado, mostrou que as interações envolvendo a temperatura de entrada (X_1X_2 e X_1X_3), foram não significativas ($P>0,05$), já a interação entre vazão do ar de secagem e vazão do ar comprimido (X_2X_3) foi significativo com $P<0,05$ como mostra a Tabela 6 do anexo 2.

O teor de antocianinas do pó obtido foi significativamente influenciado ($P<0,05$) pelas três variáveis estudadas, sendo quadrático os termos de temperatura de entrada e vazão do ar comprimido na equação de regressão (Eq. 17) com R^2 de 0,97 e na interação entre as vazões obteve-se os valores ótimos do teor de antocianinas em 0,0006 m³/s da vazão do ar comprimido e em 2,5e-5 m³/s da vazão do ar de secagem representado no gráfico da Figura 11.

$$Ant = 146,835 - 2,179Te - 5,182V_A - 4,278V_B - 9,328V_{AB} - 16,6419Te^2 - 13,371V_B^2 \quad (18)$$

Sendo Ant o teor de antocianinas em mg.100g⁻¹, Te a temperatura de entrada em graus Celsius, V_A a vazão do ar de secagem, V_B a vazão do ar comprimido e V_{AB} a interação entre as vazões do ar de secagem e comprimido ambas metros cúbicos por segundo.

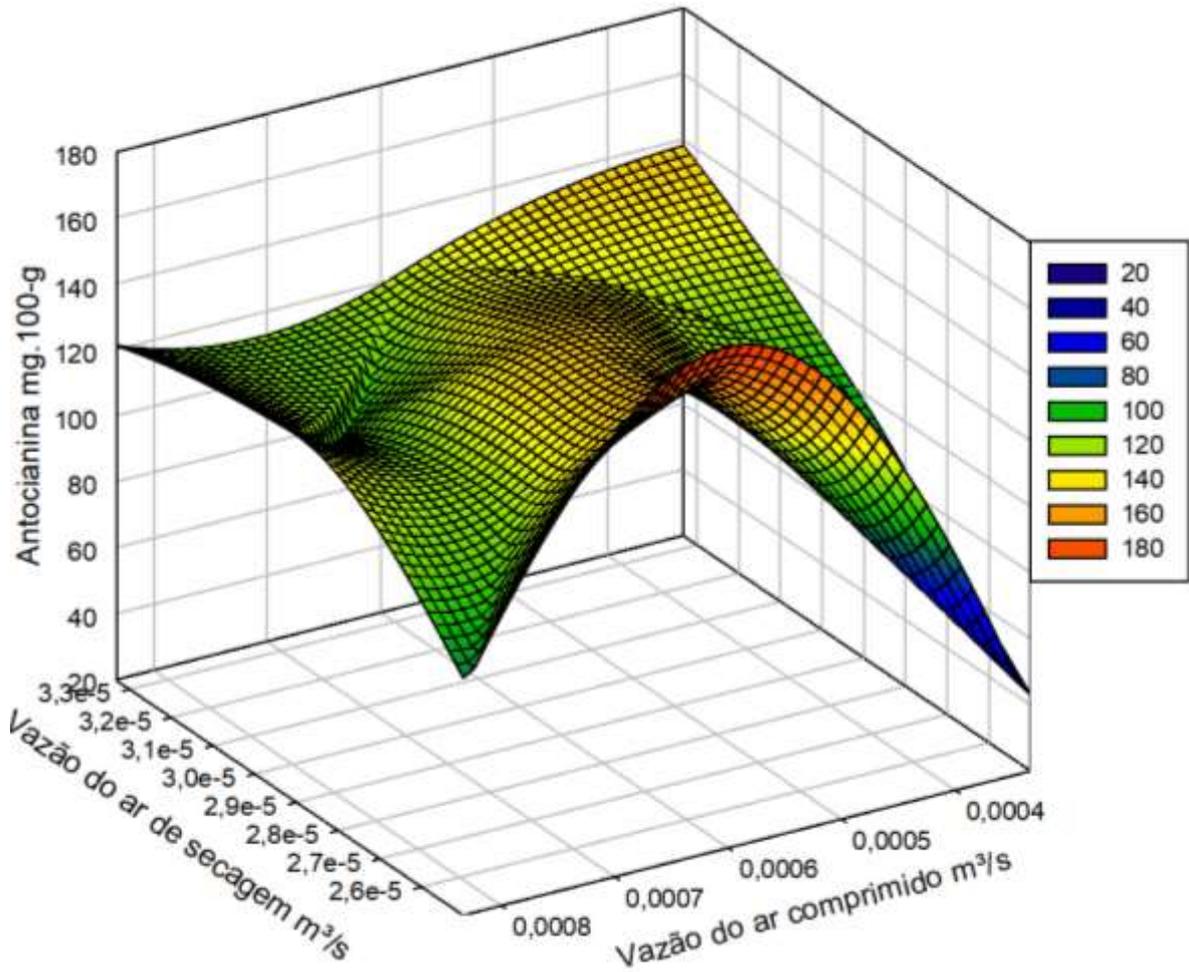


Figura 11 - Variação do teor de antocianinas com a vazão do ar de secagem e do ar comprimido.

Fonte: dados da pesquisa.

A análise de variância para o teor de flavonóides no açaí encapsulado, mostrou que a temperatura de entrada e as interações (X_1 , X_1X_2 e X_1X_3 , X_2X_3), foram não significativas ($P > 0,05$) como mostra a Tabela 7 do anexo 2.

O teor de flavonóides teve sua variação descrita apenas pelos termos quadráticos das vazões do ar de secagem e do ar comprimido na equação de regressão (Eq. 18) ajustada com R^2 de 0,87 representado no gráfico da Figura 12, onde mostra que na interação entre as vazões obteve-se o ótimo teor de flavonóides nos seus valores médios de 0,0006 m³/s da vazão do ar comprimido e 2,9e-5 m³/s da vazão do ar de secagem.

$$Flav = 341,132 + 9,879V_A + 5,956V_B - 47,433V_A^2 - 55,355V_B^2 \quad (19)$$

Sendo *Flav* o teor de flavonóides em mg.100g⁻¹, V_A a vazão do ar de secagem e V_B a vazão do ar comprimido ambas metros cúbicos por segundo.

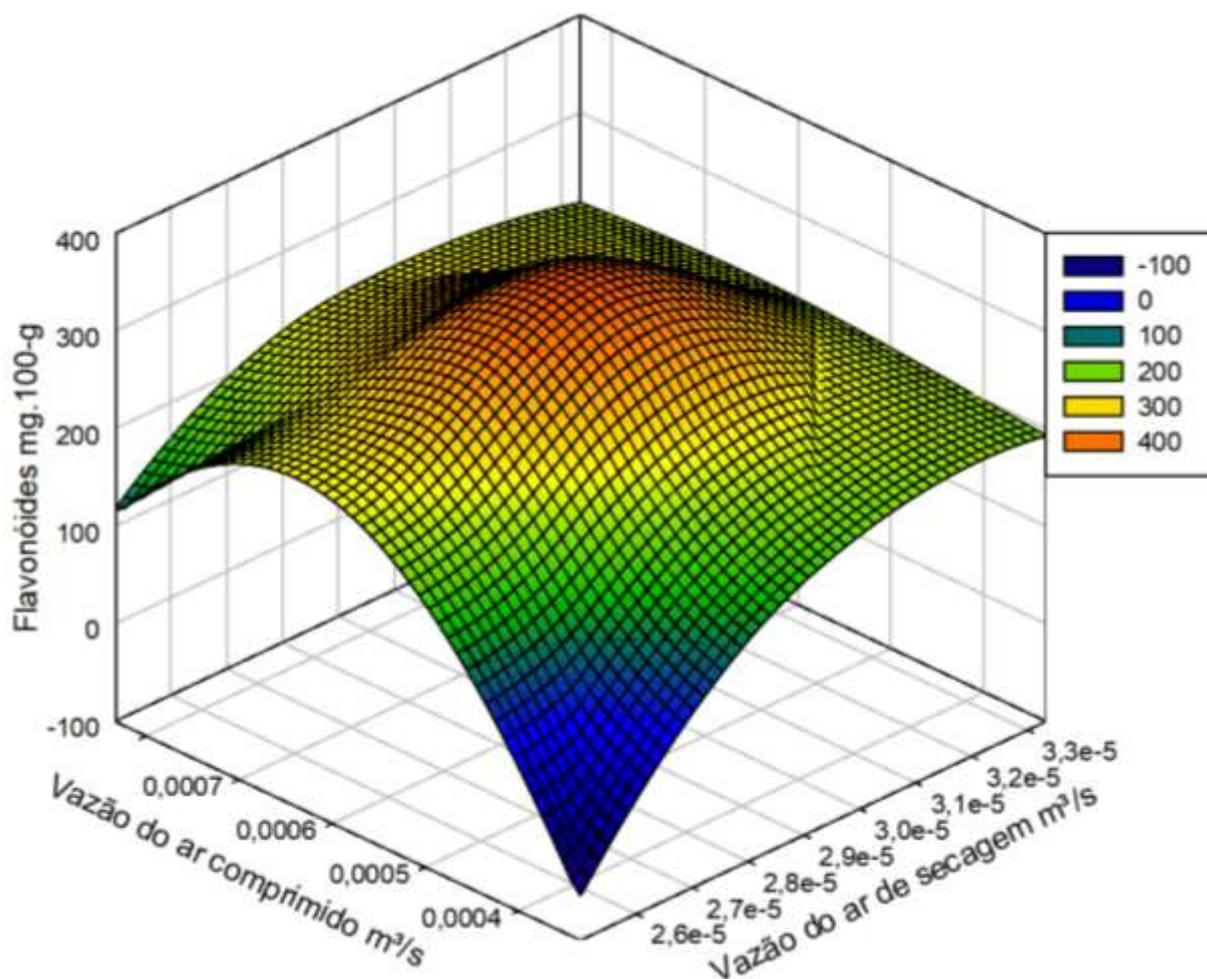


Figura 12 - Variação do teor de flavonóides com a vazão do ar de secagem e do ar comprimido

Fonte: dados da pesquisa.

Sendo que os valores máximos e mínimos das antocianinas foram de $86\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$, $170\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ e os de flavonoides foram de $164\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ e $420\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$.

O aumento de temperatura teve efeito negativo sobre os teores de antocianinas e não apresentou efeito sobre os teores de flavonóides. No caso das antocianinas Tonon, Brabet e Hubinger, (2009) já haviam indicado em seu trabalho com suco de açaí em pó, que a sensibilidade desse pigmento combinada à alta temperatura agravou sua perda. Como podem ser comprovados pelos termos lineares e quadráticos deste fator de $-2,179$ e $-16,641$. Já a respeito dos dois tipos de vazões estudadas, não se encontrou trabalhos que fizessem referência aos flavonóides e a antocianinas, mas vê-se que o intercepto positivo da equação gerada, para ambas as variáveis, indica que os índices desses bioativos no fluido de alimentação são inicialmente alto e que ao longo do processo de pulverização a antocianina altera negativamente guiado pelos três fatores em estudo e aos flavonóides são alterados pela vazão do ar de secagem

com coeficiente linear de 9,879 e quadrático de $-47,433$ indicando que o aumento dessa vazão melhora os índices até certo ponto e cai à índices muito menores. E a vazão do ar comprimido atua de modo análogo, porém a taxa de aumento é menor e de caimento é maior com coeficiente linear de 5,956 e quadrático de $-55,355$ respectivamente.

Os resultados aqui encontrados sugerem que com o uso da proteína do soro de leite aliada a homogeneização adequada, haja melhoria no aprisionamento e proteção das antocianinas e flavonóides mesmo com o aumento da temperatura do ar de entrada. Como foi sugerido por Saénz et al., (2009) a interação entre os compostos bioativos e o material de revestimento pode ser mais importante para proporcionar o melhor aproveitamento desses compostos, do que as condições físicas da secagem, embora estas sejam essenciais para garantir a qualidade geral das microcápsulas formadas.

4.3.5 Densidade aparente

As interações e a vazão do ar comprimido foram não significativas com $P < 0,05$ para compor o modelo ajustado como mostra a Tabela 8 do anexo 2.

A densidade foi significativamente afetada pela temperatura de entrada e pela vazão do ar comprimido ($P < 0,05$) tendo sido ajustada uma equação polinomial de segunda ordem com R^2 de 0,98 (Eq. 19). A Figura 13 mostra a superfície de resposta desta equação onde a maior densidade foi apresentada pelos valores mínimos de temperatura de 150°C e da vazão do ar comprimido em $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Dens = 0,385 - 0,0029Te - 0,00493V_B + 0,023V_B^2 \quad (20)$$

Sendo *Dens* a densidade em cm^3/s , *Te* a temperatura de entrada em graus Celsius e V_B a vazão do ar comprimido em metros cúbicos por segundo.

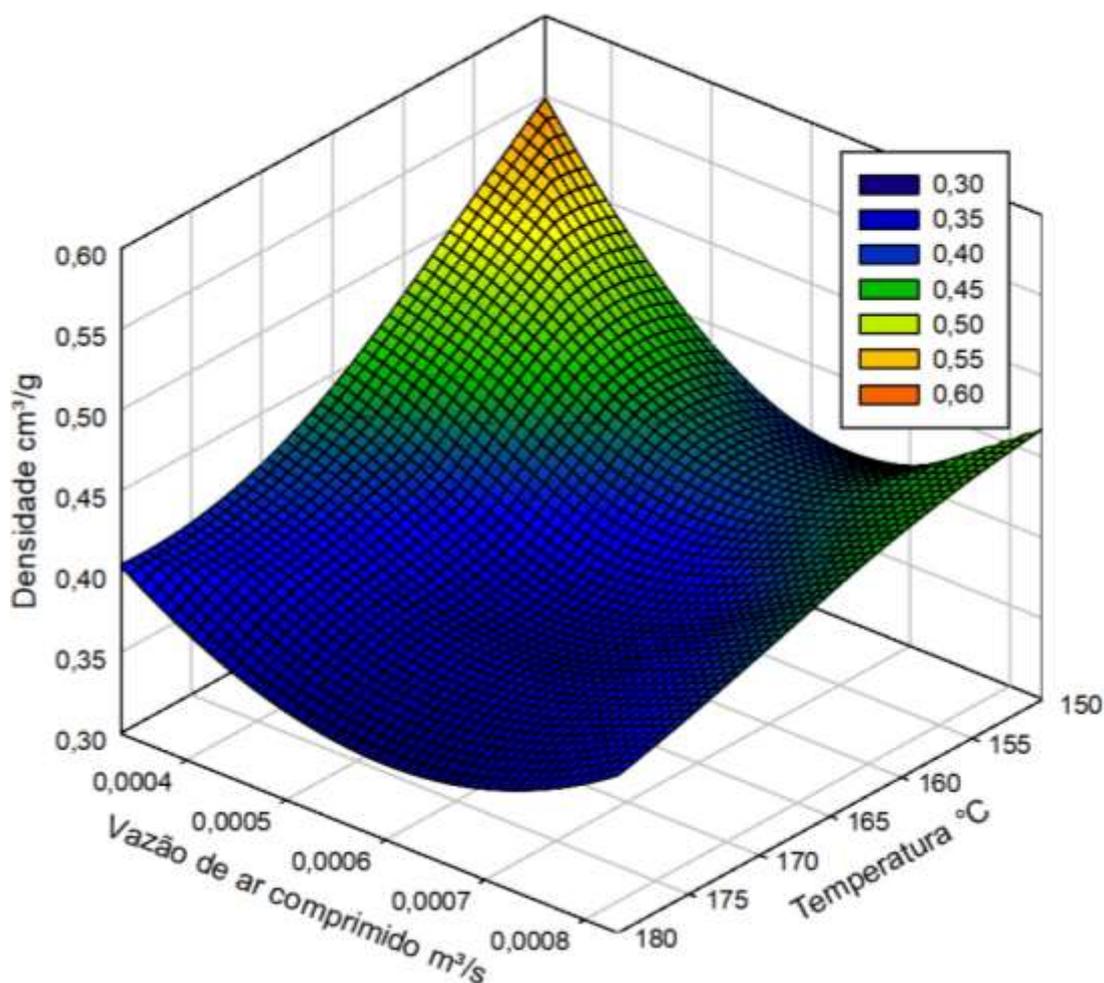


Figura 13 - Variação da densidade com a temperatura e a vazão do ar comprimido
 Fonte: dados da pesquisa.

A densidade variou entre 0,48g/ml e 0,35g/ml com o aumento da temperatura e da vazão do ar de comprimido da mesma maneira como foi reportado por Isabel e Oliveira, (2013), Kha et al., (2014), Rezaul, Shishir e Chen, (2017).

A ação da temperatura sobre a densidade tem a ver com a estrutura das partículas que são formadas em diferentes temperaturas. Logo, cápsulas mais densas são resultado de temperaturas mais baixas que retardam a secagem e dificultam a liberação de moléculas de água. As cápsulas menos densas são resultantes de temperaturas mais altas que favorecem a evaporação causando expansão da gota durante a liberação das moléculas de água e cujas dimensões tornam-se fixas e as partículas mais porosas e fragmentadas. (FERNANDES, BORGES e BOTREL, 2013). O ar comprimido atua aumentando a densidade em 0,023 vezes ao quadrado tornando as partículas mais compactas, com menor penetração de oxigênio e tornando o pó mais apropriado ao armazenamento. Além disso, outras variáveis poderiam ter

atuado nas variações da densidade do pó, já que esta é uma propriedade que depende da composição química, como teor de água, carboidratos, proteínas, gorduras e resíduo mineral fixo (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017). Assim, deve-se também levar em consideração a densidade do material de parede na compreensão global da densidade do pó gerado.

4.3.6 Solubilidade

A análise de variância para o teor de solubilidade no açaí encapsulado, mostrou que a temperatura de entrada e as interações (X_1 , X_1X_2 , X_1X_3 e X_2X_3), foram não significativas ($P > 0,05$) como mostra a Tabela 9 do anexo 2.

A solubilidade do açaí encapsulado foi significativamente afetada pela vazão do ar de secagem ($P < 0,05$). Para esta variável ajustou-se uma equação polinomial de segunda ordem com R^2 de 0,85 (Eq 20). A Figura 14 mostra a curva obtida com esta equação e os valores ótimos de solubilidade como resultado da maior vazão do ar de secagem de $3,3e-5 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Sol = 88,615 + 2,918V_A - 1,713V_A^2 \quad (21)$$

Sendo Sol a solubilidade em percentual e V_A a vazão do ar de secagem em metros cúbicos por segundo.

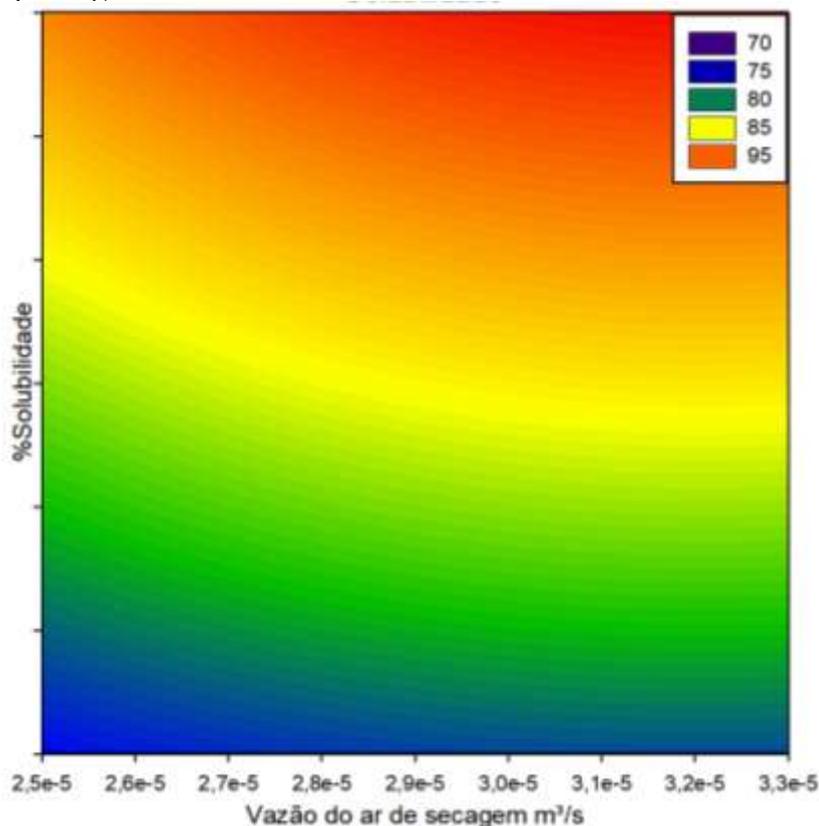


Figura 14 - Variação da solubilidade com a vazão do ar de secagem
Fonte: dados da pesquisa

O aumento da vazão do ar de secagem contribui para melhorar a solubilidade do pó, como mostra o fator quadrático da equação de $-1,713^2$, porém existe um limite máximo para garantir que a solubilidade não diminua. Os valores encontrados variaram de 78% a 93% também reportado por Cano-Chauca et al. (2005) que encontraram valores acima de 90% no suco de manga. Isabel e Oliveira, (2013), Kha et al., (2014), Rocha et al., (2019) afirmam que a solubilidade é uma propriedade afetada pelas temperaturas de entrada, porém não foi possível um ajuste de regressão cuja contribuição da temperatura fosse significativa, como pode ser observado no modelo gerado (Eq. 20).

Os valores de solubilidade encontrados neste trabalho pode ser considerado adequado de acordo com Cristina et al., (2016), por apresentar alta diluição. Relacionam-se a alta solubilidade às condições físicas e químicas da secagem como tipos e polaridade de agentes encapsulantes e vazão do ar de secagem (ROCHA et al., 2019). De acordo com Schong e Famelart (2017), a alta solubilidade encontrada pode ter grande influência das proteínas do soro de leite que são de alto grau de solubilidade em água.

4.3.7 Higroscopicidade

A análise de variância para a higroscopicidade no açaí encapsulado, mostrou que apenas a interação da temperatura e o ar de secagem (X_1X_2), foram não significativas ($P>0,05$) como mostra a Tabela 10.

Os resultados da higroscopicidade variaram de 2,9 a 10,3g/100g e as três variáveis investigadas foram significativas com $P<0,05$ para compor o modelo polinomial de segunda ordem com R^2 0,91 (Eq. 21).

$$Hig = 8,030 - 0,304Te + 1,572V_A + 0,354V_B - 0,796V_{TB} - 0,735V_{AB} - 0,721V_B^2 \quad (21)$$

Sendo *Hig* a higroscopicidade em percentual, *Te* a temperatura de entrada em graus Celsius, V_A a vazão do ar de secagem, V_B a vazão do ar comprimido ambas metros cúbicos por segundo, V_{TB} a interação vazão do ar comprimido com a temperatura e V_{BA} a interação da vazão do ar comprimido com o ar secagem. Como podem ser observadas nas Figuras 15.a) e 15.b).

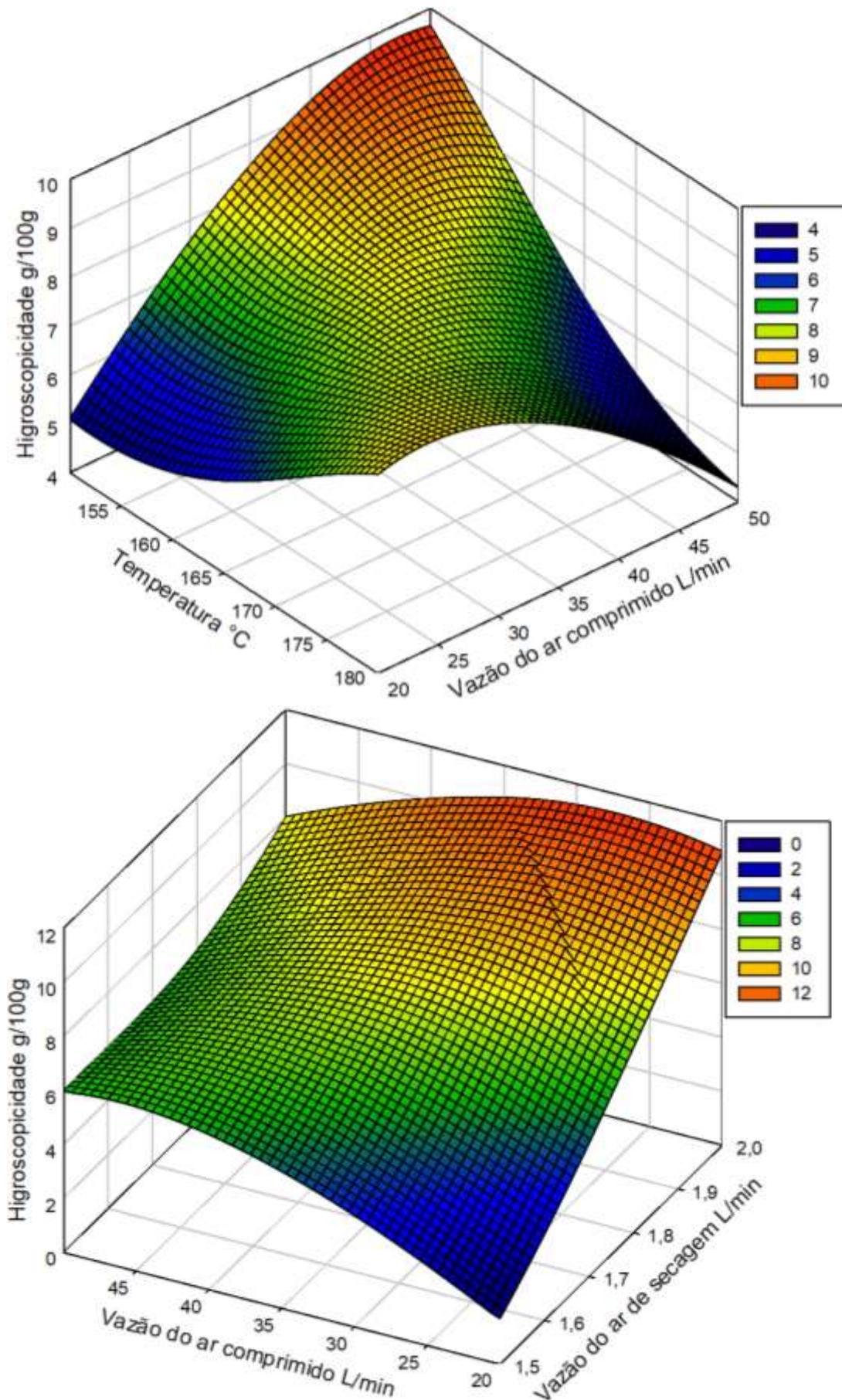


Figura 15 – Interações envolvendo a vazão do ar comprimido na variação da higroscopicidade. a) interação da vazão do ar comprimido com a temperatura de entrada. b) interação entre a vazão do ar comprimido e a do ar de secagem.

Fonte: dados da pesquisa.

Vê-se com a equação 21 que a temperatura tem uma relação linear com a higroscopicidade, reduzindo-a em 0,304 vezes e 0,796 vezes na interação com a vazão do ar comprimido, conferindo uma menor higroscopicidade com a temperatura de entrada de 150°C. Já a vazão do ar de secagem ajuda a vazão do ar comprimido a reduzir 0,735 vezes a higroscopicidade, mas sua contribuição maior é 1,572 vezes com o efeito inverso apresentando a higroscopicidade ótima em 2,5e-5 m³/s. Algo semelhante ocorre com a vazão do ar comprimido, porém em proporção menor, pois seu coeficiente principal é 0,354 e além disso em um determinado ponto esse efeito é revertido com o termo quadrático deste fator de -0,721, podendo então conferir o valor ótimo de higroscopicidade em tanto em 0,0004 m³/s quanto em 0,0008 m³/s na interação com a temperatura de entrada e de 0,0004m³/s na interação da vazão do ar de secagem.

Diferente do que encontrado neste trabalho, outras variáveis são apontadas como principal influência na higroscopicidade dos materiais encapsulados como o próprio agente encapsulante, (YAMASHITA ET AL., 2017; ROCHA ET AL., 2019) ou mesmo a temperatura de entrada (TONON, BRABET e HUBINGER, 2009) e há também quem afirme que nem mesmo a temperatura de entrada seja significativa para esta representação (BOTREL et al., 2012).

De maneira global, nota-se que a higroscopicidade é um atributo que pode variar sob diferentes condições de secagem, sendo um resultado específico de cada processo aplicado para a produção de pó.

4.3.8 Cor

A análise de variância para a luminosidade da cor no açaí encapsulado, mostrou que as interações (X_1X_2 e X_1X_3 , X_2X_3), foram não significativas ($P>0,05$) como mostra a Tabela 11 do anexo 2.

Os resultados da luminosidade variaram de 61 a 69 sendo a temperatura de entrada único parâmetro de secagem significativo para expressar a variação da luminosidade com $P<0,05$ compondo o modelo polinomial de segunda ordem com R^2 0,88 (Eq. 22) representado no gráfico da Figura 16.

$$L = 65,646 + 1,464Te - 2,082Te^2 \quad (22)$$

Sendo L a luminosidade da cor e Te a temperatura de entrada em graus Celsius.

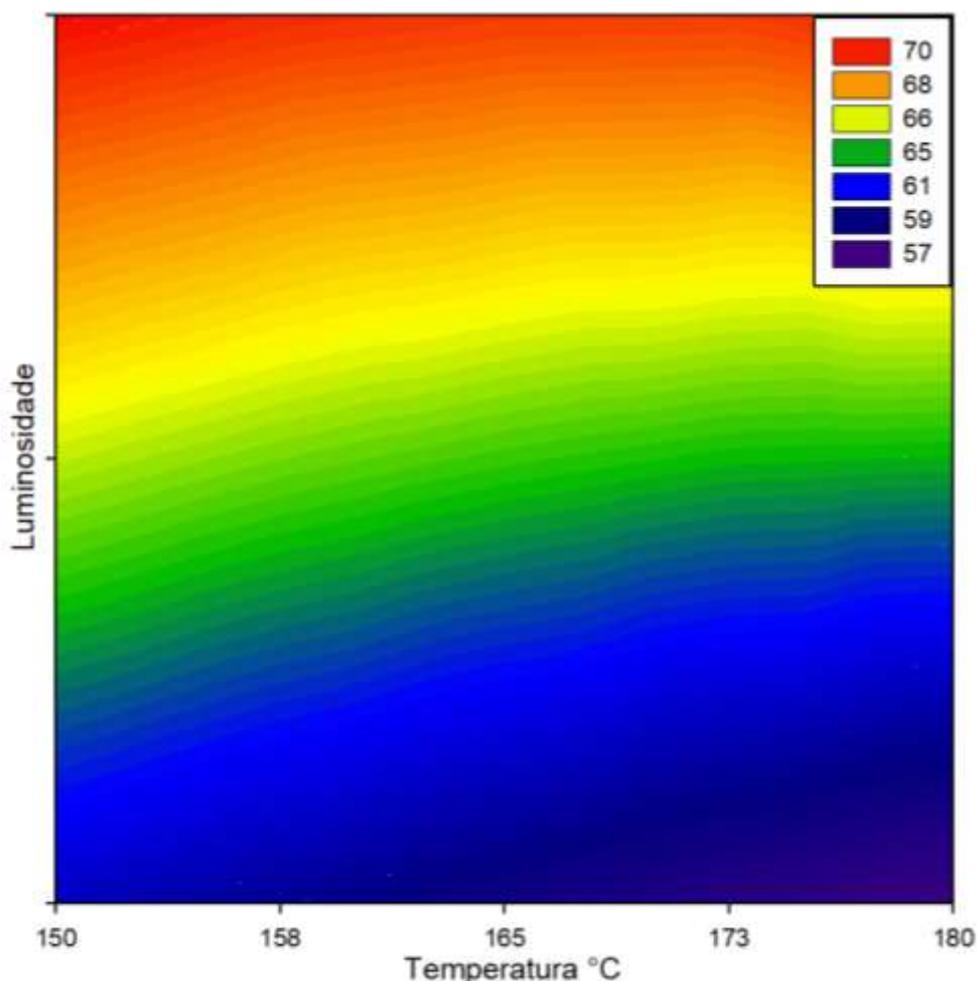


Figura 16 - Variação da luminosidade com a temperatura de entrada.

Fonte: dados da pesquisa.

Vê-se com a equação 22 que a temperatura é um fator quadrático cujos coeficientes são de 1,464 e $-2,082^2$ mostrando que em determinado ponto a luminosidade para de aumentar e começa a diminuir como pode ser observado no figura acima, apresentado maiores luminosidades na temperatura de entrada de 180°C. Tonon, Brabet e Hubinger, (2009) na produção de suco de açaí em pó diz que o aumento da temperatura diminui o valor desse parâmetro, sendo consequência da queima dos açucares presentes no meio, mas acrescenta que a concentração do material de parede proporciona efeito contrário, da mesma maneira que Muzaffar et al., (2016) na atomização do suco de romã, ambos afirmam que a cor esbranquiçada do material encapsulante é o principal responsável para aumentar o valor da luminosidade. Não foi encontrado trabalhos em que a temperatura contribuísse para o aumento da luminosidade, porém sabe-se que reações de escurecimento não enzimático ocorrem apenas em altas temperaturas como é o caso da reação de Maillard típica entre aminoácidos (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010), logo é possível que o material proteico usado como

encapsulante tenha protegido o pó de escurecimentos indesejáveis nas temperaturas abaixo do valor máximo estudado.

A análise de variância para a cromaticidade no açaí encapsulado, mostrou que as interações (X_1X_2 e X_1X_3, X_2X_3), foram não significativas ($P>0,05$) como mostra a Tabela 12 do anexo 2.

Logo, a cromaticidade variou com os três parâmetros estudados de acordo com uma equação quadrática com R^2 de 0,97 (Eq. 23) representada pelo gráfico da Figura 17.

$$C = -8,679 + 0,016Te - 0,223V_A + 0,183V_B - 0,283Te^2 - 0,321V_A^2 \quad (23)$$

Sendo C a cromaticidade, Te a temperatura de entrada em graus Celsius, V_A a vazão do ar de secagem, V_B a vazão do ar comprimido ambas metros cúbicos por segundos.

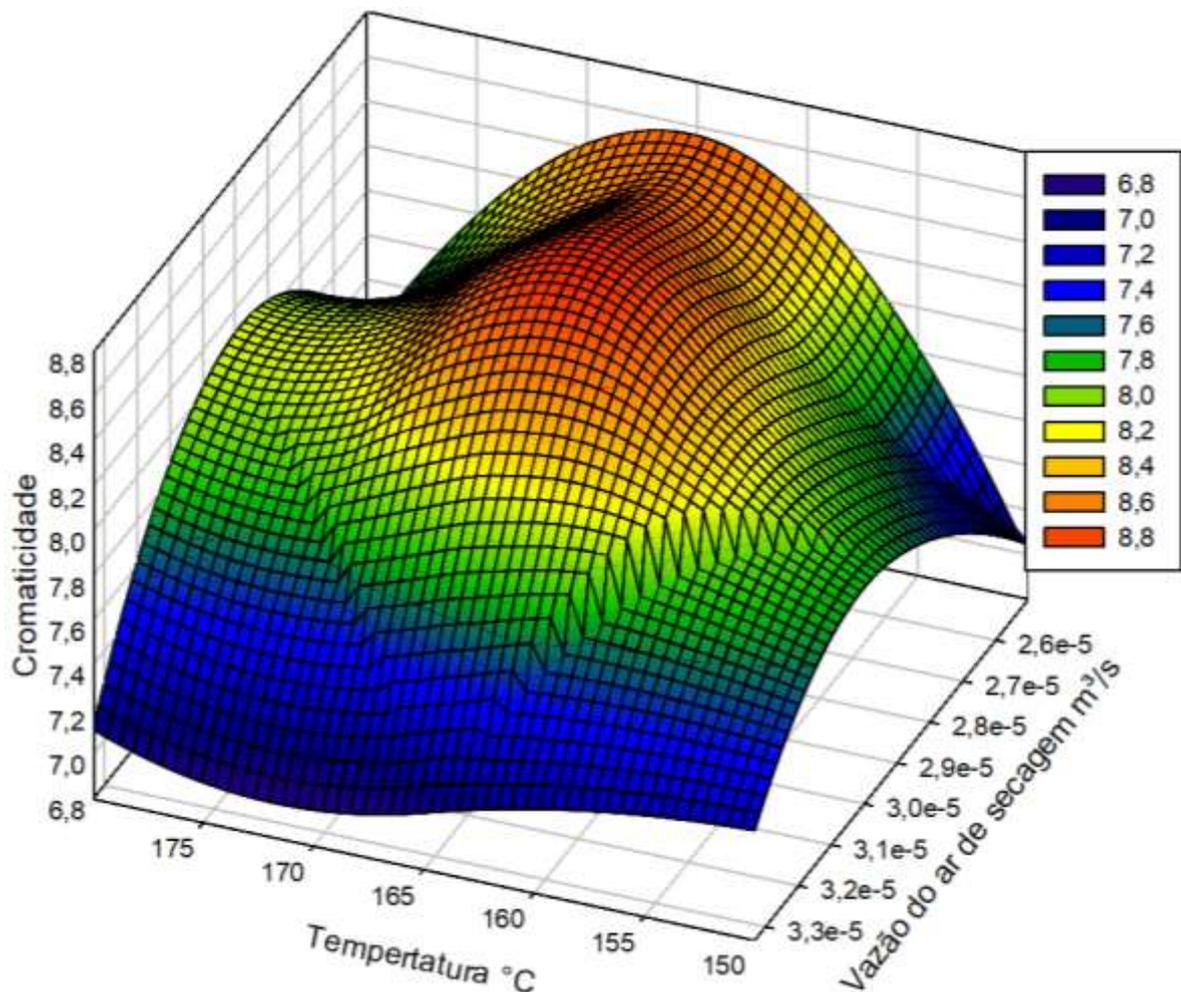


Figura 17 - Variação da cromaticidade com a temperatura de entrada, vazão do ar de secagem. Fonte: dados da pesquisa.

Vê-se com a equação 23 que tanto a temperatura, quanto a vazão do ar de secagem são fatores quadráticos na equação cujos coeficientes indicam que a cromaticidade para de aumentar até temperatura de entrada média de 165°C e começa a reduzir, sendo esta a temperatura ótima, porém a vazão do ar de secagem age diminuindo esse valor e passa a reduzi-lo ainda mais após um certo ponto, apresentando o valor ótimo em 2,9e-5 m³/s. Apenas a vazão do ar comprimido faz com haja elevação nos valores da cromaticidade. Para Tonon, Brabet e Hubinger, (2009) este parâmetro da cor não apresentou tendência de variação em diferentes temperaturas, mas diminuiu com o aumento da concentração de material de parede. Já Rocha, et al., (2019) não apresenta relação entre as variáveis de secagem e este parâmetro, mas indica que proteínas usadas como agente encapsulante pode evitar variações na cromaticidade do pó obtido por pulverização, mantendo-o com a coloração mais próxima da cor de origem. Logo, além das condições de secagem aplicadas é possível que as proteínas do soro de leite na concentração usada, também tenha influenciado neste parâmetro, ajudando a manter a variação apenas entre 6,8 e 8,8.

A análise de variância para o ângulo H da cor no açaí encapsulado, mostrou que a temperatura de entrada e as interações (X_1 , X_1X_2 e X_1X_3 , X_2X_3), foram não significativas ($P>0,05$) como mostra a Tabela 13 do anexo 2.

Logo, o ângulo H variou com as vazões do ar de secagem e comprimido de acordo com uma equação linear com R² de 0,92 (Eq. 23) representada pelo gráfico da Figura 18 onde mostra o maior h° nos valores mínimos de 2,5e-5 m³/s e 0,0004 m³/s das vazões do ar de secagem e do ar comprimido respectivamente.

$$h^{\circ} = 0,605 - 0,032V_A - 0,032V_B \quad (25)$$

Sendo H o ângulo H da cor V_A a vazão do ar de secagem, V_B a vazão do ar comprimido ambas metros cúbicos por segundo.

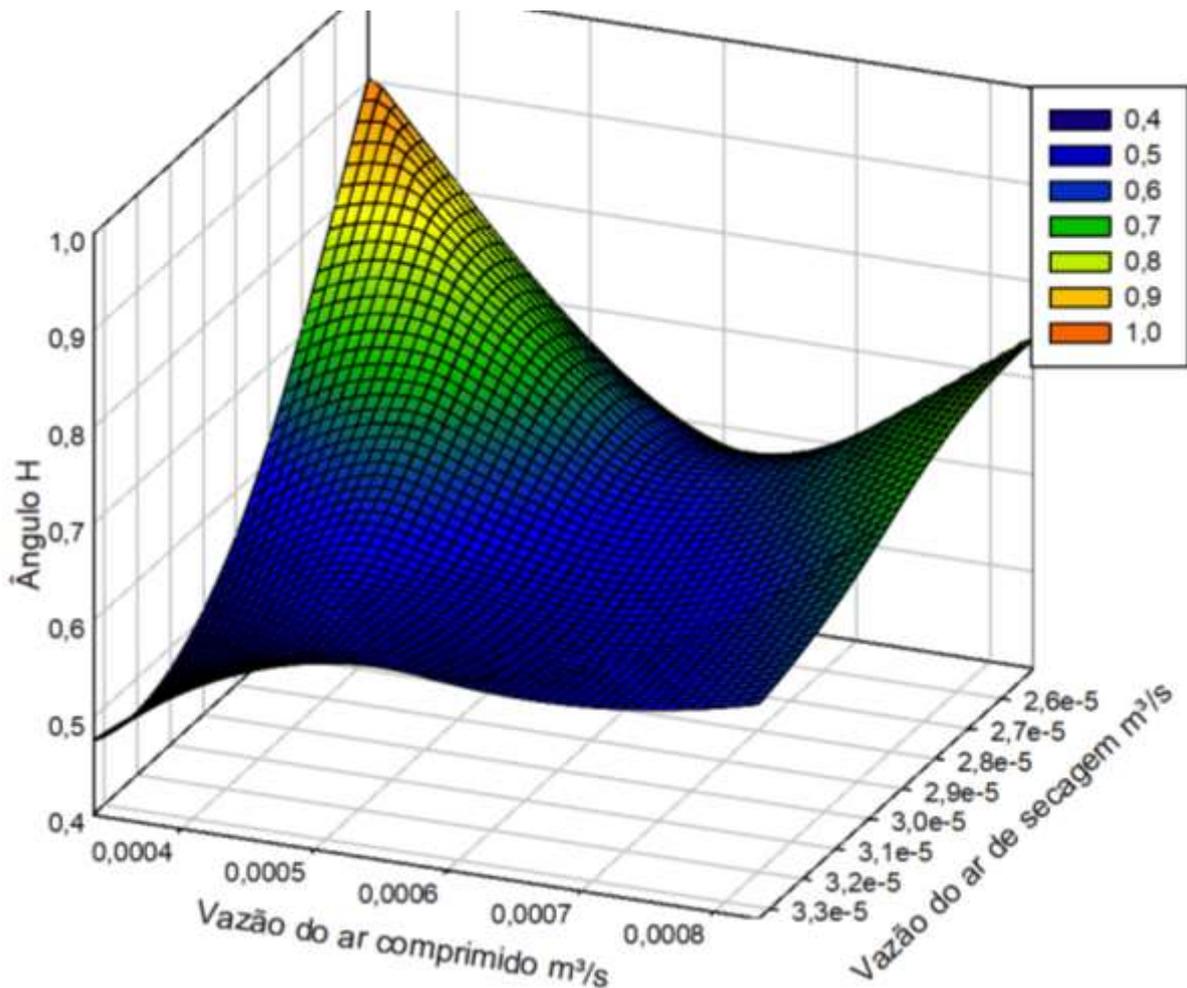


Figura 188 - Variação do h° com as vazões do ar de secagem e do ar comprimido.
Fonte: dados da pesquisa.

O h° apresentou valores entre 0,52 e 0,73 indicando coloração avermelhada dos tratamentos, que variou em função das vazões do ar de secagem e do ar comprimido cujos coeficientes indicam redução do valor em 0,032 vezes. Dentre os parâmetros de secagem apenas o aumento na temperatura de entrada foi indicada por Tonon, Brabet e Hubinger, (2009) como fator de variação e eles citam também o aumento da concentração do material encapsulante como um outro fator de variação, ambos elevando o valor do h° .

Vê-se que a cor, embora tenha sido afetada pelos parâmetros físicos da secagem, diversos estudos têm apontado que o tipo e a concentração do material de parede também são decisivos na expressão da cor observada após a pulverização, pois o encapsulante costuma ter coloração clara que eleva o valor de L e C ao passo que o encapsulado, rico em pigmentos com valores de H específicos, tem efeito inverso. Logo haverá uma combinação de ambos na expressão da luminosidade, cromaticidade e h° , como comentado por Muzaffar et al., 2016 e Rocha et al., (2019).

4.4 SÍNTESE DO PROCESSO DA OTIMIZAÇÃO

Os parâmetros do processo apresentaram uma faixa ótima de valores favoráveis para atingir o máximo de rendimento, antocianinas, flavonóides, densidade, solubilidade e os parâmetros de cor e valores mínimos do teor de água, Aw e higroscopicidade. Logo foram ajustados nove modelos de regressão e as respectivas superfícies de resposta que apresentam a otimização das condições de secagem por pulverização do açaí com proteínas do soro de leite como mostra a Tabela 8 incluindo os parâmetros mais significativos em cada modelo.

Tabela 8 – Modelos obtidos para variáveis estudadas.

Variável otimizada	Equação	Parâmetro de secagem de maior relevância	R ²
Rendimento	$R = 18,964 - 3,891Te - 3,639V_B + 3,448Te^2$	Te	0,97
Teor de água	$Ta = 9,683 - 1,145 V_A$	V_A	0,91
Aw	$aw = 0,417 + 0,037Te_1 - 0,087V_A - 0,041V_B$	V_A	0,88
Teor de antocianinas	$Ant = 146,835 - 2,179Te - 5,182V_A - 4,278V_B - 9,328V_{AB} - 16,6419Te^2 - 13,371V_B^2$	V_B	0,97
Teor de flavonóides	$Flav = 341,132 + 9,879V_A + 5,956V_B - 47,433V_A^2 - 55,355V_B^2$	V_A	0,87
Densidade	$Dens = 0,385 - 0,0029Te - 0,00493V_B + 0,023V_B^2$	V_B	0,98
Solubilidade	$Sol = 88,615 + 2,918V_A - 1,713V_A^2$	V_A	0,85
Higroscopicidade	$Hig = 8,030 - 0,304Te + 1,572V_A + 0,354V_B - 0,796V_{TB} - 0,735V_{AB} - 0,721V_B^2$	V_B	0,91
Luminosidade	$L = 65,646 + 1,464Te - 2,082Te^2$	Te	0,88
Cromaticidade	$C = -8,679 + 0,016Te - 0,223V_A + 0,183V_B - 0,283Te^2 - 0,321V_A^2$	V_A	0,97
h°	$H = 0,605 - 0,032V_A - 0,032V_B$	V_A e V_B	0,92

Te a temperatura de entrada em graus Celsius, V_A a vazão do ar de secagem em metros cúbicos por segundo, V_B a vazão do ar comprimido em metros cúbicos por segundo.

Fonte: dados da pesquisa

O aumento da temperatura de entrada resultou em melhoria no estudo da cor por favorecer o aumento da luminosidade e cromaticidade. Os demais resultados ótimos obtidos com a variação da temperatura de entrada estão relacionados ao seu valor mínimo como no caso do rendimento, da densidade e da higroscopicidade que apresentaram os melhores resultados nas temperaturas de entrada variando de 150 a 165°C. Kha *et al.*, (2014) reportam que nessa temperatura é possível obter valores ótimos de variáveis como teor de água e solubilidade, porém ambas apresentaram modelos cuja variação da temperatura de entrada não foi significativa. O aumento na vazão do ar de secagem foi significativo para a obtenção do melhor valor de Aw, do teor de flavonóides e da luminosidade. As demais variáveis estudadas são melhoradas com a redução dessa variável como mostrado por Perrone *et al.*, (2013) onde apresentam valores ótimos do teor de água e de Aw em função da menor vazão do ar de secagem em torno de 2,5E-05 m³/s. O aumento na vazão do ar comprimido contribuiu para melhorar o rendimento e Aw como foi reportado por Chaul *et al.*, (2017) com 0,0004m³/s como valor ótimo e até um limite médio, favorecendo a obtenção dos valores ótimos do teor de antocianinas e flavonóides. Já densidade e o h° da cor são favorecidos pela redução desse parâmetro, mas Souza *et al.*, (2009) mostraram efeito inverso em relação a densidade que apresentou valor ótimo de 0,0003 m³/s.

Os valores ótimos de cada uma das variáveis estudadas e os respectivos valores otimizados dos parâmetros da secagem por pulverização estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Valores otimizados das variáveis estudadas em função dos valores ótimos dos parâmetros de secagem.

Variável otimizada	Valores ótimos			
	Valores preditos pelo modelo	Parâmetro de secagem		
		<i>Te</i>	<i>V_A</i>	<i>V_B</i>
Rendimento	43,71%	150	2,92E-05*	0,000583
Teor de água	7,69%	165*	2,92E-05	0,000583*
Aw	0,28	165	2,92E-05	0,000583
Teor de antocianinas	171,08 mg.100g ⁻¹	165	2,5E-05	0,000583
Teor de flavonóides	420,11 mg.100g ⁻¹ .	165*	2,92E-05	0,000583
Densidade	0,484 g/mL	157,5	2,7E-05*	0,000458
Solubilidade	92,86%	165*	2,92E-05	0,000583*
Higroscopicidade	2,91%	157,5	2,7E-05	0,000458
Luminosidade	69,930	172,5	3,12E-05*	0,000458*
Cromaticidade	8,900	165	2,92E-05	0,000333
h°	1,123	165*	2,92E-05	0,000583

*valores não significativos para o modelo, *Te* a temperatura de entrada em graus Celsius, *V_A* a vazão do ar de secagem em metros cúbicos por segundo, *V_B* a vazão do ar comprimido em metros cúbicos por segundo.

Fonte: dados da pesquisa

Pode-se dizer que o encapsulamento proteico do açaí, nas condições aplicadas, deve ser considerado como processo otimizado se o produto resultante apresentar maior valor possível de rendimento, teores de antocianinas e flavonóides, densidade, solubilidade e maiores valores dos parâmetros de cor e menor teor de água, Aw e higroscopicidade. Dessa forma, os intervalos investigados convergem a otimização para intervalos menores temperaturas de entrada que variando entre 150 a 165°C, vazões do ar de secagem entre 2,5e-5 e 2,9e-5 m³/s e vazões do ar comprimido variando de 0,0004 a 0,0006m³/s. Porém as vazões do ar de secagem e do ar comprimido apresentaram maiores influências nos modelos gerados em detrimento da temperatura de entrada embora esta seja mencionada como mais importante em trabalhos semelhantes realizados com outros produtos.

V CONCLUSÕES

Verificou-se que aumento no teor da carragena, eleva o teor de sólidos solúveis e pH. A cor foi alterada por meio dos seus parâmetros pelo tempo da análise nas cinco concentrações de carragena e pelo teor de carragena apenas com o tempo da análise de 0h para luminosidade, apenas em 24h para o h° e ambos os tempos para cromaticidade. Certificou-se também que a adição de diferentes teores de carragena não contribui para manter a estabilidade das microcápsulas verificados por meio das variações observadas nos diâmetros em função do tempo de captura das imagens.

Constatou-se que, das propriedades tecnológicas do pó estudadas, apenas o resíduo mineral fixo e teor proteico não foram alterados pelas condições físicas da secagem, não sendo possível ajuste de regressão para essas propriedades. Porém as demais propriedades apresentaram diferentes modelos de regressão que representaram as alterações ocorridas em relação a temperatura de entrada, vazão do ar de secagem e vazão do ar comprimido. Dessa forma, o aumento da temperatura de entrada foi relevante para melhorar o rendimento, a densidade, a higroscopicidade aliada a vazão do ar comprimido, causou pequena redução da atividade de água, melhorou a cor por meio do aumento da luminosidade e cromaticidade, porém temperaturas muito altas causaram escurecimento e redução na cromaticidade do pó, assim como aos teores de antocianinas. Entretanto percebeu-se que o aumento na temperatura não causou alterações no teor de água, de flavonóides e solubilidade. A respeito do aumento na vazão do ar de secagem, constatou-se que houve favorecimento na remoção de água das partículas reduzindo a umidade do pó, melhorando a solubilidade, a higroscopicidade quando aliado ao aumento da vazão do ar comprimido. Também houve melhora no teor de flavonóides até certo ponto, porém o aumento constante levou a perdas ainda maiores como o que ocorreu com os teores de antocianinas e com a cor por favorecer o escurecimento e redução da cromaticidade e do h° , mas sem alterações no rendimento, A_w e densidade. Já o aumento da vazão do ar comprimido provocou perdas de rendimento do pó e teor de antocianinas, mas auxiliou na redução da atividade de água, o teor de flavonóides até certo ponto, porque o aumento extremo pode causar grande redução, mas melhorou a densidade e a cor por meio da elevação do cromaticidade. Porém não provoca alterações na solubilidade e na higroscopicidade.

Vale ressaltar que houve perdas das antocianinas em relação aos três parâmetros estudados. Os flavonóides não foram prejudicados com o aumento da temperatura de entrada e

foram favorecidos até certo ponto do aumento da vazão do ar de secagem e do ar comprimido. As vazões do ar de secagem e do ar comprimido apresentaram maiores influências nos modelos gerados em detrimento da temperatura de entrada, embora esta seja mencionada como mais importante em trabalhos semelhantes realizados com outros produtos. O encapsulamento proteico do açaí, foi otimizado em intervalos dos parâmetros estudados resultando em maiores valores possíveis de rendimento, teores de antocianinas e flavonóides, densidade, solubilidade e dos parâmetros de cor e menores valores possíveis do teor de água, A_w e higroscopicidade. Dessa forma, a otimização foi alcançada dentro de um intervalo menor que o testado sendo ajustados os modelos de regressão que descreveram o comportamento das variáveis dependentes em função das temperaturas de entrada e das vazões do ar de secagem e comprimido.

VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, A. B. de N. Especificações Técnicas de cores de acordo com o sistema de notação Munsell - **Especificação. Brasil**. 2016.

AÇAÍ DA BAHIA, A fábrica. Disponível em:
<<https://acaidabahiaoriginal.com.br/category/fabrica/> > Acesso em: 27 de Junho de 2019.

ALEXANDRE, D.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculos. *Ciência e tecnologia de Alimentos*, v. 24, n. 01, p. 114-119, 2004.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of Analysis**. 20. ed. Gaithersburg: Maryland, 2016.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos: Teoria e prática**. 3^a ed. Organizado por UFV. Viçosa-MG. 2006.

AUGUSTO, F. E REZENDE, M. Whey and proteins: Composition e Ativity Funtional, **Ciências Biológicas e Saúde**, v. 12, n. 2, p. 31–38. 2010.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulation: applications to food technology. **Alimentos e Nutrição, Araraquara**, v.16, n.1, p.89-97, 2005.

BALASUBRAMANI, P., VISWANATHAN, R. E VAIRAMANI, M. Response surface optimisation of process variables for microencapsulation of garlic (*Allium sativum L.*) oleoresin by spray drying, **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 3, p. 205–213. 2012

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V.; JULIANO, P. Compression and compaction characteristics of selected food powders. **Advances in Food Nutrition and Research**, v. 49, n. 6, p. 233- 307. 2005.

BARDI AND LEIGH YAXLEY. **How General is the Hubbert Curve**. Proceedings of the 4th ASPO Workshop, Lisbon 2005

BERNAUD, F. S. R; FUNCHAL C. Atividade antioxidante do açaí. **Nutrição Brasil**, 2011.

BISPO, N. G. **Uma análise estrutural e regional de culturas agrícolas por mesorregiões do estado da Bahia entre 2001 e 2010 com base no modelo shift and share**. Dissertação de Mestrado em Economia. Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia. Salvador – Bahia, 184p. 2012.

BORGES, P. R. S., TAVARES, E. G., GUIMARÃES, I. C., ROCHA, R. DE P. ARAUJO, A. B. S., NUNES, E. E. VILAS BOAS, E.V. B. Obtaining a protocol for extraction of phenolics from açaí fruit pulp through Plackett-Burman design and response surface methodology, **Food Chemistry**, v. 210, p. 189–199. 2016.

BOTREL, D. A., BORGES, S. V. E., FERNANDES., R. V. B., VIANA, A. D. Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil, **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 2289–2296. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Instrução nº 37 de 08 de outubro de 2018. Regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpas de frutas.** Diário Oficial da União, Brasília, v. 194, seção 1, p. 28-48, 2018.

CAI, Y., e CORKE, H. Production and properties of spray-dried amaranthus betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65,1248 e 1252. 2000.

CANO-CHAUCA, M., STRINGHETA, P. C., RAMOS, A. M., CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, 420 e 428. 2005.

CARMONA, P. A. O. **Secagem por atomização e microencapsulação de óleo de laranja: estudo das propriedades da emulsão e do tipo de material de parede sobre as características do pó**, Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Alimentos., p. 154. 2011.

CARNEIRO, H. C. F; TONON, R. V; GROSSO, C. R. F; HUBINGER, M. D. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 4, p. 443–451. 2013.

CARNEIRO, H. C. F. **Microencapsulação de óleo de linhaça por spray drying: influência da utilização de diferentes combinações de materiais de parede.** Dissertação de mestrado em engenharia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 2011.

CARVALHO, A. G. S., SILVA, V. M. E HUBINGER, M. D. Microencapsulation by spray drying of emulsification of green coffee oil with two-layered membranes, **FRIN**. v. 61, p. 236–245. 2014.

CHAUL, L. T; CONCEIC, E. C; BARA, T. M. F; PAULA, J. R; COUTO, R. Engineering spray-dried rosemary extracts with improved physicochemical properties: a design of experiments issue. **Revista Brasileira de farmacognosia**, v. 27, p. 236–244. 2017.

CHEGINI, G. R. E GHOBADIAN, B. “ffect of Spray-Drying Conditions on Physical Properties of Orange Juice Powder Effect of Spray-Drying Conditions on Physical Properties of Orange Juice Powder, **Drying Technology**, v. 3937, p. 1532–2300. 2007.

COHEN, K. O. OLIVEIRA, R. A. M. CHISTÉ, R. C. OLIVEIRA, M. S. P. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. p.1980-6841. 2009.

CRISTINA, E. LACERDA, Q. MARIA, V. CALADO, A. MONTEIRO, M. VANESSA, P. GUEDES, A. PERRONE, D. Starch, inulin and maltodextrin as encapsulating agents affect the quality and stability of jussara pulp microparticles, **Carbohydrate Polymers**. v. 151, p. 500–510. 2016.

DAWSON, P. L. E ACTON, J. C. Impact of proteins on food color. Second Edi, Proteins. **Food Processing**. Ed. 2ª. 2018.

DIAS, J. C. P.; AMATO NETO, V.; LUNA, E. J. A. Mecanismos alternativos de transmissão do *Trypanosoma cruzi* no Brasil e sugestões para sua prevenção. *Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 44, n. 03, p. 375-379, 2011.

EDRIS, A. E., KALEMBA, D., ADAMIEC, J., PIA, M. Microencapsulation of *Nigella sativa* oleoresin by spray drying for food and nutraceutical applications, **Food Chemistry**, v. 204, p. 326–333. 2016.

ENCINA, C., VERGARA, C., GIMÉNEZ, B., OYARZÚN-AMPUERO, F., ROBERT, P., Conventional spray-drying and future trends for the microencapsulation of fish oil, **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 46–60. 2016.

ESTRADA, E., DELGADO, EJ, E SIMÓN-MANSO, Y. **Modelando a Solubilidade em Água de Compostos Orgânicos Ambientalmente Importantes**. Termodinâmica, solubilidade e questões ambientais, v. 17–31. 2007.

EVANGELISTA, J. Informações gerais sobre o açaí. **Tecnologia de Alimentos**. p.577-584. FIEAM. Federação das Indústrias do Estado do Amazonas, 2013.

FARIA, M.; OLIVEIRA, L. B. D.; COSTA, F. E. C. Determinação da qualidade microbiológica de polpas de açaí congeladas comercializadas na cidade de Pouso Alegre-MG. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, v. 23, n. 02, p. 243-249, 2012.

FAVARO-TRINDADE, C.S.; PINHO, S.C.; ROCHA, G.A. Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.11, p.103-112, 2008.

FENNEMA, O. R., DAMODARAN, S. E PARK, K. L. Química de Alimentos de Fennema. 4ª ed. Organizado por artmed. Porto Alegre - RS. 2010.

FERNANDES, R. V. DE B., BORGES, S. V. E BOTREL, D. A. Influence of spray drying operating conditions on microencapsulated rosemary essential oil properties, **Food Science and Technology**, 33. 2013.

FRANCIS, F.G. Analysis of Anthocyanins. **In: Anthocyanins as Food colors** (P. Markakis ed.), p 182-208. Academic Press, N.Y. 1982.

FRANZOL, A; REZENDE, M. C. Estabilidade de emulsões: um estudo de caso envolvendo emulsionantes aniônico, catiônico e não-iônico. **Polímeros** v.25, São Carlos – SP. 2015.

FULEKI, T.; FRANCIS, F. J.; Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. **Journal of Food Science**; v. 33, n.1, p. 72. 1968.

GETACHEW, A.T., CHUN, B. S. Optimization of coffee oil flavor encapsulation using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**. 2016.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of secagem por spray in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v.40, n.9, p.1107-1121, 2007.

GONZÁLEZ, R; OLIVARES, C. J; GUERRERO, R; A., HUEZO, R; ME, CARTER, V; ALONSO, E. E. P. C. Encapsulação por spray-dried de óleo essencial de chia (*Salvia hispanica* L.) em matrizes de polissacarídeos concentrados de proteína de soro de leite. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, 102–109. 2012.

GRIZOTTO, R. K; BRUNS, R. E; AGUIRRE, J. M; BATISTA; G. Otimização via metodologia de superfície de respostas dos parâmetros tecnológicos para produção de fruta estruturada e desidratada a partir de polpa concentrada de mamão. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 25, n. 1: 158-164, 2005.

GUICHARD, E. Flavour retention and release from protein solutions. **Biotechnology Advances**, v.24, p.226-229, 2006.

HARAGUCHI, F. K. ABREU, W. C. PAULA, H. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Rev. Nutr.**, Campinas, v. 19, n. 4:479-488, 2006.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. SIDRA, Agencia de notícias IBGE, 2016.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: Junho, 2017.

ISABEL, M. E OLIVEIRA, S. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores Stability of spray-dried strawberry pulp produced with different carrier agents, **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, 16, p. 310–318. 2013.

JAFARI, S. M., GHALENOEI, M. G. DEHNAD, D. Influência da secagem por atomização no índice de solubilidade em água, densidade aparente e teor de antocianinas do suco de romã em pó, **Dryer Techlogy**, v. 311, p. 59–65. 2017.

JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; HE, Y.; BHANDARI, B. Encapsulation efficiency of food flavors and oils during spray drying. **Drying Technology**, v.26, n.7, p.816-835, 2008.

JAYASUNDERA, M. E ADHIKARI, BENU P, RAJU AGHIKARI, P. A. The Effect of Food-Grade Low-Molecular-Weight Surfactants and Sodium Caseinate on Spray Drying of Sugar-Rich Foods, **Food Biophysics**, v.5, p. 128–137. 2010.

JAYASUNDERA, M.; ADHIKARI, B.; ALDRED, P.; GHANDI, A. Surface modification of spray dried food and emulsion powders with surface-active proteins: A review. **Journal of Food Engineering**, v.93, p.266-277, 2009.

JEAN LAHERRERE. **Multi-Hubbert Modeling**. July, 1997. Disponível em <http://www.hubbertpeak.com/laherrere/multihub.htm> visitado em 16/07/2018.

KANG, J., LI, Z., WU, T., JENSEN, G. S., SCHAUSS, A. G. WU, X. Anti-oxidant capacities of flavonoid compounds isolated from açai pulp (*Euterpe oleracea Mart.*), **Food Chemistry**, v. 122, n. 3, p. 610–617. 2010.

KANG, J., XIE, C. LI, Z., NAGARAJAN, S., SCHAUSS, A. G. WU, T. WU, X. Flavonoids from açai (*Euterpe oleracea Mart.*) pulp and their antioxidant and anti-inflammatory activities. **Food Chemistry. Barking**, v. 128, p. 152-157, 2011.

KANG, J., THAKALI, K. M., XIE, C., KONDO, M., TONG, Y. OU, B., JENSEN, G., MEDINA, M. B., SCHAUSS, A.G. WU, X. Bioactivities of açai (*Euterpe precatoria Mart.*) fruit pulp, superior antioxidant and anti-inflammatory properties to *Euterpe oleracea Mart.*, **Food Chemistry**, v. 133, n. 3, p. 671–677. 2012.

KESHANI, S., RAMLI, W., DAUD, W., NOUROUZI, M. M., NAMVAR, F. Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling, **Journal of Food Engineering**, v.146, p. 152–162. 2015.

KHA T. C; NGUYEN, M. H; ROACH P. D; STATHOPOULOS C. E. Microencapsulation of Gac oil: Optimisation of spray drying conditions using response surface methodology. **Powder Technology** 2014.

KILARA, A. E VAGHELA, MN. **Proteínas de soro**. Proteínas no Processamento de Alimentos, 93–126. 2018.

KO, W. C; CHANG, C. K; WANG, H. J; WANG, S. J; HSIEH, C. W. Process optimization of microencapsulation of curcumin in c-polyglutamic acid using response surface methodology. **Food Chemistry**. 2015.

LAURENTI, E. e GARCIA, S. Eficiência de materiais encapsulantes naturais e comerciais na liberação controlada de probiótico encapsulado Efficiency of natural and commercial encapsulating materials, **Brazilian Journal of Food Technol J. Food Technol**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 107–115. 2013.

LÖNNERDAL B. Nutritional and physiologic significance of human milk proteins. **Am J Clin Nutr.**; v. 77, n.6 :1537-43. 2003.

MACIEL V. B. V.; FRANCO T. T. C. M. P. **Sistemas Inteligentes de Embalagens Utilizando Filmes de Quitosana como Indicador Colorimétrico de Temperatura**. Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP. Campinas – SP, 2012.

MATTA, L. M. **Retenção do óleo de pequi em micropartículas de concentrado proteico de soro de leite e maltodextrina.**, Dissertação de mestrado em ciência e tecnologia de Alimentos. Universidade federal de goiás escola de agronomia e engenharia de alimentos. 2013.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açai (*Euterpe oleracea Mart*) liofilizada. **Acta Amaz**, v. 38, n. 02, p. 311-316, 2008.

MINOLTA, K. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation, **Japan: AJFIPK. Konica Minolta Sensing, INC**, p. 62. 2007.

MOLINA, B.; SIMÕES, F; LEAL, LEANDRO; VINICIUS, M. **Obtenção de indicadores de pH coloridos**. UNESP – Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente. 2010.

MONDIM, A. F. S. **Metodologias de superfície de resposta: uma investigação no âmbito da indústria cerâmica e do vidro**. Dissertação de Mestrado em Estatística, Matemática e Computação. Universidade Aberta – Pt, 2014.

MONTGOMERY, D.C; RUNGER, G.C.; HUBELE, N. F. **Estatística aplicada à engenharia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2003.

MOREIRA, GERMANO ÉDER GADELHA. **Obtenção e caracterização de extrato microencapsulado de resíduo agroindustrial de acerola**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio do Norte, Natal, 2007.

MÜLLER, M. W; RODRIGUES, A. C. G. **Sistemas agroflorestais com cacaueteiro**. Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueteiro, Edition: 2a, Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueteira (CEPLAC).1-21. Itabuna, Ba 2012.

MUZAFFAR, K., WANI, S. A., DINKARRAO, B. V., KUMAR, P. Determination of production efficiency, color, glass transition, and sticky point temperature of spray-dried pomegranate juice powder, **Cogent Food & Agriculture**, v. 15, n. 1, p. 2–7. 2016.

NEVES, L. T. B. C., CAMPOS, D. C. S., MENDES, J. K., Qualidade de frutos processados artesanalmente de açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) e bacaba (*Oenocarpus bacaba Mart.*) **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 3, p. 729–738. 2015.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C.; GARCIA, W. S. A dinâmica do mercado de açaí fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009. *Ceres*, v. 60, n. 03, p. 324-331, 2013.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIREDO, F. J. C.; MÜLLER, A. A. Açaí. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, (Sistemas de Produção, 4). 2006.

OLIVEIRA, A. P. V., FRASSON, K., YAMASHITA, F., BENASSI, M. T. Medida instrumental de cor em sobremesas lácteas de chocolate: uma técnica de baixo custo e versátil utilizando câmara digital”, **Brazilian Journal of Food Technol**, v. 6, n.2, p. 191–196. 2003.

OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O.; MÜLLER, C. H. Cultivo do açaizeiro para produção de frutos. Belém: EMBRAPA, 18p. (Circular Técnica, 26). 2002.

OLIVEIRA, M. S. P.; FARIAS NETO, J. T.; QUEIROZ, J. A. L. Cultivo e manejo do açaizeiro para produção de frutos. In: ENCONTRO AMAZÔNICO DE AGRÁRIAS, 6., Belém. Anais... Belém: UFRA, 2014. 20p

PACHECO-PALENCIA. L.A.; HAWKEN. P.; TALCOTT, S.T. Juice matrix composition and ascorbic acid fortification effects on the phytochemical, antioxidant and pigment stability of açaí (*Euterpe oleracea Mart.*). **Food Chemistry**. Barking, v. 105. p. 28-35. 2007.

PARÁ. Lei nº. 6.413, de 29 de novembro de 2001. Torna o açaí a bebida símbolo do estado. Belém: Assembleia Legislativa, 2001.

- PELAIS, C. A. N., **Estudo dos fatores que influenciam na estabilidade da emulsão do açaí**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Belém-PA, 2007.
- PEREIRA, L. J. B. E GARCIA-ROJAS, E. E. Multiple emulsions: formation and application in microencapsulation of bioactive componentes. **Ciência Rural**, v.45, p. 155–162. 2015.
- PERRONE, Í. T. et al. Influência das condições de operação em *spray dryer* piloto sobre a umidade e a atividade de água do leite em pó integral. **Rev. Inst. Laticínios Cândido Tostes**, v.68, n.393, p. 5–9. 2013.
- POMPEU, D. R.; BARATA, V. C. P.; ROGEZ, H. Impacto da refrigeração sobre variáveis de qualidade dos frutos do açaizeiro (*Euterpe oleracea*). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 20, n. 01, p. 141-148, 2009.
- PORTINHO, J.A; Zimmermann, L. M; Bruck, M. R. Efeitos Benéficos do Açaí. **International Journal of Nutrology**, v.5, n.1, p. 15-20, jan./abr. 2012.
- QUEIROZ, J. A. L.; MELÉM JUNIOR, N. J. Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de açaí (*Euterpe oleracea Mart.*). **Bras. Frutic.**, v. 23, n. 02, p. 460-462, 2001.
- RAJABI, H; GHORBANI, M; JAFARI, S. M; MAHOONAK, A. S; RAJABZADEH, G. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. **Food Hydrocolloids**. Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran. 2015.
- RÉ, M.I. Microencapsulação: em busca de produtos “inteligentes”. **Ciência Hoje**, v.27, n.162, p.24-29, 2000.
- REZAUL, M., SHISHIR, I. E CHEN, W. Trends in Food Science & Technology Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices, **Trends in Food Science & Technology**. v.65, p. 49–67. 2017.
- ROCHA, J. DE C. G. BARROS, F. A. R., ÍTALO T. P. KÉLLEN V. W. C., TAVARES, G. M. STEPHANI, R. STRINGHETA, P. C. Microencapsulação por atomização da mistura de extratos fenólicos”, **Powder Technology**, v.343, p. 317–325. 2019.
- RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. Campinas, SP: Casa do pão editora, 2005.
- SAÉNZ, C., TAPIA, S., CHÁVEZ, J., ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*), **Food Chemistry**, v. 114, n. 2, p. 616–622. 2009.
- SANTANA A. A; OLIVEIRA, R. A; KUROZAWA, L. E; Park, K. J. Microencapsulation of pequi pulp by spray drying: use of modified starches as encapsulating agent. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.34, n.5, p. 980-991, 2014.

SANTANA, A. A. ET AL. CANO-HIGUITA, D. M; OLIVEIRA, R. A; TELIS, V. R. N., Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying”, **Food Chemistry**, v.212, p. 1–9. 2016.

SANTANA. A.C.; CARVALHO. D.F.; MENDES, FAT. **Organização e competitividade das empresas de polpas de frutas no Estado do Para: 1995 a 2004**. Umana. 2006.

SANTOS, F. G. Preparação de micro/nanopartículas de poliuretano Biodegradável carreadoras de óleo de açaí e A – tocoferol. **Dissertação para a obtenção do título de mestre em engenharia e tecnologia de materiais**. Porto Alegre, 2014.

SCHAUSS, A.G. et al. Antioxidant capacity and other bioactivities of the freeze-dried Amazonian palm berry, *Euterpe oleracea Mart* (Açaí), **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.54, p 8604-8610. 2006b.

SCHAUSS, A.G. et al. Phytochemical and nutrient composition of the freeze-dried Amazonian palm berry, *Euterpe oleracea Mart*. (Açaí). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 54, p. 8598-8603, 2006a.

SCHONG, E. E FAMELART, M. Dry heating of whey proteins, **Food Research International**, p. 31–44. 2017.

SCHRODER, A; BERTON-CARABIN, C; VENEMA; P. CORNACCHIA, L. Interfacial properties of whey protein and whey protein hydrolysates. **Food Hydrocolloids** v.73 129-140, 2017.

SHEN, Q. E QUEK, S. Y. Microencapsulation of astaxanthin with blends of milk protein and fiber by spray drying, **Journal of Food Engineering**. v.123, p. 165–171. 2014.

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. **Journal of Food Engineering**, v. 117. 538–544. 2013.

SILVA. I.M., SANTANA. A.C.; REIS, M.S. Análise dos retornos sociais oriundos da adoção tecnológica na cultura de açaí no Estado do Pará. **Amazonia: Ciencia; Desenvolvimento**. Manaus, v. 2, n. 3, 2006.

SOLVAL, K. M., SUNDARARAJAN, S., ALFARO, L., SATHIVEL, S. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology”, **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, n.1, p. 287–293. 2012.

SOOTTITANTAWAT, A.; TAKAYAMA, K.; OKAMURA, K.; MURANAKA, D.; YOSHII, H.; FURUTA, T.; OHKAWARA, M.; LINKO, P. Microencapsulation of lmenthol by spray drying and its release characteristic caseinato de sódio. **Innovative Food Science; Emerging Technologies**, v.6, p.163-170, 2005.

SOUZA, A. S; BORGES, S. V; MAGALHÃES, N. F; RICARDO, H. V; CEREDA, M. P; DAIUTO, E. R. Influence of spray drying conditions on the physical properties of dried pulp tomato. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 291–294. 2009.

STONE, A. K. E NICKERSON, M. T. Formation and functionality of whey protein isolate e (kappa-, iota-, and lambda-type) carrageenan electrostatic complexes, **Food hydrocolloids**, n. v. 27(2), p. 271–277. 2012.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Aplicação da secagem por atomização para a obtenção de produtos funcionais com alto valor agregado a partir do açaí. **Inclusão Social**, v. 06, n. 02, p. 70-76, 2013.

TONON, R. V; GROSSO, C.R.F; HUBINGER, M. D. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. **Faculty of Food Engineering**, University of Campinas, P.O. Box 6121, 13083-862, Campinas, SP, Brazil. 2011.

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

VASCONCELOS, M. A. M.; GALEÃO, R. R.; CARVALHO, A. V.; NASCIMENTO, V. **Práticas de colheita e manuseio do Açaí**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 18 p. (Documentos, 251).

VEIGA, R. S. **Eugenol microencapsulado em carragena combinada com proteínas do leite, do farelo de arroz e albumina sérica bovina por atomização**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 114 f. 2016.

VIEIRA, J. **Fundamentos da Colorimetria**, p. 19–58. 2011.

WALSTRA, P. The role of proteins in stabilization of emulsions. In KAUSHIK, V.; ROOS, Y.H.O. Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic–sucrose– gelatin systems. **Journal of Food Engineering**, v.40, p.1381-1391, 2007.

YAMASHITA, C., MI, M., CHUNG, S., ROBERTA, C., MAYER, M. CRISTINA, I. MORAES, F. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus spp.*) by-product extract by freeze-drying, **LWT - Food Science and Technology**. p. 256–262. 2017.

YAÑEZ, J., J. SALAZAR, L. CHAIRES, J. JIMENEZ, M. MARQUEZ Y E. RAMOS. Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. **Revista Avance y Perspectiva 21**: 313-319 – 2002.

ZHENG, H. BEAMER, S.K. MATAK, K. E. JACZYNSKI, J. Effect of κ -carrageenan on gelation and gel characteristics of Antarctic krill (*Euphausia superba*) protein isolated with isoelectric solubilization/precipitation, **Food Chemistry**. 2018.

ZÍLIO, S. C. Óptica Moderna, IFSC-USP, p. 300. 2009.

VII ANEXO I – ANOVA DO EFEITO DA CARRAGENA

Tabela 10 – Anova para Teste de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação aos Sólidos Solúveis

FV	GL	SQ	QM	F	P
Teor de carragena	4	7,826	1,956	22,020	<,0001
Tempo da análise	1	0,034	0,034	0,380	0,552
Interação	4	0,789	0,197	2,220	0,133
Resíduo	10	0,888	0,066		
Total	19	9,536			

Tabela 11 – Anova da interação entre o teor de carragena e tempo da análise e significância dos fatores em relação ao pH.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Teor de carragena	4	0,163	0,041	4,02	0,033
Tempo da análise	1	0,097	0,097	9,53	0,015
Interação	4	0,069	0,017	1,72	0,221
Resíduo	10	0,101	0,101		
Total	19	0,431			

Tabela 12 – Anova de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação a luminosidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Teor de carragena	4	71,723	17,931	21,42	0,0001
Tempo da análise	1	719,040	719,040	859,15	0,0001
Interação	4	50,319	12,580	15,03	0,0003
Resíduo	10	8,369	0,837		
Total	19	849,452			

Tabela 13 – Anova da interação entre o tempo da análise e cada uma das concentrações de carragena sob luminosidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Teor de carragena	4	71,723	17,9308	21,42	0,0001
Tempo da análise (0%)	1	156,7504	156,7504	187,29	0,0001
Tempo da análise (2%)	1	241,336	241,336	288,36	0,0001
Tempo da análise (3%)	1	181,037	181,037	216,31	0,0001
Tempo da análise (4%)	1	153,512	153,512	183,43	0,0001
Tempo da análise (5%)	1	36,724	36,724	43,88	0,0001
Resíduo	10	8,369	0,83692		
Total	19	849,452			

Tabela 14 – Anova para o efeito da interação entre o teor de carragena e os dois tempos da análise sob luminosidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Tempo da análise	1	719,040	719,0403	859,150	0,0001
Teor de carragena (0h)	4	113,434	28,358	187,290	0,0001
Teor de carragena (24h)	4	8,608	2,152	288,360	0,1029
Resíduo	10	8,369	0,837		
Total	19	849,452			

Tabela 15 – Anova para teste de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação a cromaticidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Teor de carragena	4	5,939	1,485	95,45	<,0001
Tempo da análise	1	9,842	9,842	632,73	<,0001
Interação	4	10,779	2,695	173,23	<,0001
Resíduo	10	0,155	0,155		
Total	19	26,715			

Tabela 16 – Anova para testar o efeito da interação entre o tempo da análise e cada uma das concentrações de carragena sob cromaticidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Teor de carragena	4	5,939	1,485	95,45	<,0001
Tempo da análise (0%)	1	4,862	4,862	312,57	<,0001
Tempo da análise(2%)	1	3,920	3,920	252,03	<,0001
Tempo da análise(3%)	1	5,760	5,760	370,30	<,0001
Tempo da análise(4%)	1	3,783	3,783	243,20	<,0001
Tempo da análise(5%)	1	2,295	2,295	147,56	<,0001
Resíduo	10	0,155	0,155		
Total	19	26,715			

Tabela 17 – Anova para testar o efeito da interação entre o teor de carragena e os dois tempos da análise sob cromaticidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Tempo da análise	1	9,8420	9,842	632,73	<,0001
Teor de carragena (0h)	4	13,463	3,366	216,37	<,0001
Teor de carragena (24h)	4	3,255	0,814	52,31	<,0001
Resíduo	10	0,155	0,155		
Total	19	26,715			

Tabela 18 – Anova para Teste de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação ao h° da cor.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Teor de carragena	4	0,031	0,008	31,51	<,0001
Tempo da análise	1	0,020	0,020	81,00	<,0001
Interação	4	0,040	0,010	40,49	<,0001
Resíduo	10	0,002	0,092		
Total	19	0,093			

Tabela 19 – Anova para testar o efeito da interação entre o tempo da análise e cada uma das concentrações de carragena sob o h°.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Teor de carragena	4	0,031	0,008	31,51	<,0001
Tempo da análise (0%)	1	0,001	0,001	03,67	0,0843
Tempo da análise (2%)	1	0,005	0,005	20,00	0,0012
Tempo da análise (3%)	1	0,008	0,008	33,06	0,0002
Tempo da análise (4%)	1	0,040	0,040	163,27	<,0001
Tempo da análise (5%)	1	0,006	0,006	22,96	
Resíduo	10	0,002	0,092		
Total	19	0,093			

Tabela 20 – Anova para Teste de interação entre o teor de carragena e o tempo da análise e significância dos fatores em relação ao h° da cor.

FV	GL	SQ	QM	F	P
Tempo da análise	1	0,020	0,020	81,00	<,0001
Teor de carragena (0h)	4	0,032	0,008	32,92	<,0001
Teor de carragena (24h)		0,038	0,009	39,08	<,0001
Resíduo	10	0,002	0,092		
Total	19	0,093			

VIII ANEXO II – ANOVA DAS ANÁLISES DO PÓ

Tabela 21 – Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação ao resíduo mineral fixo.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	0,397	0,397	1,460	0,251
X ₂	1	0,055	0,055	0,200	0,662
X ₃	1	0,086	0,086	0,310	0,585
X ₁ X ₂	1	0,074	0,074	0,270	0,611
X ₁ X ₃	1	0,054	0,054	0,200	0,664
X ₂ X ₃	1	0,009	0,009	0,030	0,862
Resíduo	12	1,511	0,168		
Total	18	3,942			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 22 – Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação ao teor de proteína.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	97,264	97,264	3,090	0,104
X ₂	1	9,065	9,065	0,290	0,601
X ₃	1	31,971	31,971	1,020	0,333
X ₁ X ₂	1	7,483	7,483	0,240	0,635
X ₁ X ₃	1	15,532	15,532	0,490	0,496
X ₂ X ₃	1	120,769	120,769	3,840	0,074
Resíduo	12	372,450	41,383		
Total	18	659,705			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 23 – Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação ao rendimento.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	236,360	236,360	31,900	0,005
X ₂	1	5,877	5,877	0,790	0,424
X ₃	1	180,271	180,271	24,330	0,008
X ₁ X ₂	1	18,770	18,770	2,530	0,187
X ₁ X ₃	1	19,332	19,332	2,610	0,182
X ₂ X ₃	1	0,287	0,287	0,040	0,854
X ₁ X ₁	1	186,300	186,300	25,140	0,007
X ₂ X ₂	1	7,196	7,196	0,970	0,380
X ₃ X ₃	1	29,515	29,515	3,980	0,117
Resíduo	4	29,637	7,409		
Total	18	1111,309			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 24 – Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a Aw.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	3,136	3,136	3,050	0,155
X ₂	1	17,893	17,893	17,430	0,014
X ₃	1	4,291	4,291	4,180	0,110
X ₁ X ₂	1	0,228	0,228	0,220	0,662
X ₁ X ₃	1	1,077	1,077	1,050	0,364
X ₂ X ₃	1	1,064	1,064	1,040	0,366
X ₁ X ₁	1	1,140	1,140	1,110	0,351
X ₂ X ₂	1	0,982	0,982	0,960	0,383
X ₃ X ₃	1	0,767	0,767	0,750	0,436
Resíduo	4	4,107	1,027		
Total	18	47,453			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 25- Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a Aw.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	0,018	0,018	2,780	0,171
X ₂	1	0,103	0,103	15,700	0,017
X ₃	1	0,023	0,023	3,470	0,136
X ₁ X ₂	1	0,001	0,001	0,230	0,658
X ₁ X ₃	1	0,009	0,009	1,340	0,311
X ₂ X ₃	1	0,013	0,013	1,970	0,233
X ₁ X ₁	1	0,003	0,003	0,420	0,553
X ₂ X ₂	1	0,002	0,002	0,300	0,613
X ₃ X ₃	1	0,005	0,005	0,810	0,419
Resíduo	4	0,026	0,007		
Total	18	0,226			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 26- Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação aos teores de Antocianinas.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	39,737	39,737	0,490	0,521
X ₂	1	469,730	469,730	5,830	0,073
X ₃	1	213,372	213,372	2,650	0,179
X ₁ X ₂	1	0,003	0,003	0,000	0,996
X ₁ X ₃	1	175,491	175,491	2,180	0,214
X ₂ X ₃	1	2474,206	2474,206	30,680	0,005
X ₁ X ₁	1	4,459	4,459	0,060	0,826
X ₂ X ₂	1	2281,754	2281,754	28,300	0,006
X ₃ X ₃	1	39,737	39,737	0,490	0,521
Resíduo	4	322,545	80,636		
Total	18	9755,965			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 27- Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação aos Flavonóides.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	4754,930	4754,930	1,310	0,316
X ₂	1	1068,930	1068,930	0,290	0,616
X ₃	1	6664,845	6664,845	1,840	0,247
X ₁ X ₂	1	3039,115	3039,115	0,840	0,412
X ₁ X ₃	1	1017,411	1017,411	0,280	0,624
X ₂ X ₃	1	1685,192	1685,192	0,460	0,533
X ₁ X ₁	1	0,371	0,371	0,000	0,992
X ₂ X ₂	1	18411,397	18411,397	5,080	0,087
X ₃ X ₃	1	45716,786	45716,786	12,610	0,024
Resíduo	4	14505,021	3626,255		
Total	18	111576,616			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 28- Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a densidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	0,00788	0,00788	93,00000	0,00060
X ₂	1	0,00054	0,00054	6,40000	0,06470
X ₃	1	0,00033	0,00033	3,92000	0,11890
X ₁ X ₂	1	0,00130	0,00130	15,35000	0,01730
X ₁ X ₃	1	0,00039	0,00039	4,63000	0,09780
X ₂ X ₃	1	0,00001	0,00001	0,15000	0,72040
X ₁ X ₁	1	0,00005	0,00005	0,57000	0,49120
X ₂ X ₂	1	0,00103	0,00103	12,20000	0,02510
X ₃ X ₃	1	0,00662	0,00662	78,16000	0,00090
Resíduo	4	0,00034	0,00008		
Total	18	0,02233			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 29 - Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a solubilidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	0,065	0,065	0,010	0,945
X ₂	1	116,200	116,200	9,670	0,036
X ₃	1	0,331	0,331	0,030	0,876
X ₁ X ₂	1	1,861	1,861	0,150	0,714
X ₁ X ₃	1	3,145	3,145	0,260	0,636
X ₂ X ₃	1	13,153	13,153	1,100	0,354
X ₁ X ₁	1	5,206	5,206	0,430	0,546
X ₂ X ₂	1	46,046	46,046	3,830	0,122
X ₃ X ₃	1	0,069	0,069	0,010	0,943
Resíduo	4	48,048	12,012		
Total	18	312,711			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 30- Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a higroscopicidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	1,261	1,261	0,950	0,385
X ₂	1	33,704	33,704	25,360	0,007
X ₃	1	1,710	1,710	1,290	0,320
X ₁ X ₂	1	0,638	0,638	0,480	0,526
X ₁ X ₃	1	5,063	5,063	3,810	0,123
X ₂ X ₃	1	4,325	4,325	3,250	0,146
X ₁ X ₁	1	0,011	0,011	0,010	0,933
X ₂ X ₂	1	0,007	0,007	0,010	0,947
X ₃ X ₃	1	7,766	7,766	5,840	0,073
Resíduo	4	5,316	1,329		
Total	18	62,420			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 31- Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação a luminosidade.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	29,246	29,246	4,830	0,093
X ₂	1	2,428	2,428	0,400	0,561
X ₃	1	7,490	7,490	1,240	0,329
X ₁ X ₂	1	3,726	3,726	0,610	0,477
X ₁ X ₃	1	0,168	0,168	0,030	0,876
X ₂ X ₃	1	0,934	0,934	0,150	0,715
X ₁ X ₁	1	61,263	61,263	10,110	0,034
X ₂ X ₂	1	21,511	21,511	3,550	0,133
X ₃ X ₃	1	2,514	2,514	0,410	0,555
Resíduo	4	24,240	6,060		
Total	18	205,048			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 32- Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação aos Flavonóides.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	0,004	0,004	0,130	0,738
X ₂	1	0,677	0,677	23,840	0,008
X ₃	1	0,457	0,457	16,090	0,016
X ₁ X ₂	1	0,068	0,068	2,390	0,197
X ₁ X ₃	1	0,130	0,130	4,590	0,099
X ₂ X ₃	1	0,013	0,013	0,460	0,535
X ₁ X ₁	1	0,831	0,831	29,270	0,006
X ₂ X ₂	1	1,433	1,433	50,500	0,002
X ₃ X ₃	1	0,032	0,032	1,140	0,345
Resíduo	4	0,114	0,028		
Total	18	4,363			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido

Tabela 33- Anova para testar a significância dos parâmetros e suas interações em relação aos Flavonóides.

FV	GL	SQ	QM	F	P
X ₁	1	0,0002	0,0002	0,1400	0,7233
X ₂	1	0,0137	0,0137	9,9500	0,0344
X ₃	1	0,0140	0,0140	10,1700	0,0332
X ₁ X ₂	1	0,0001	0,0001	0,0600	0,8136
X ₁ X ₃	1	0,0043	0,0043	3,1300	0,1514
X ₂ X ₃	1	0,0020	0,0020	1,4200	0,2990
X ₁ X ₁	1	0,0020	0,0020	1,4400	0,2965
X ₂ X ₂	1	0,0011	0,0011	0,8100	0,4182
X ₃ X ₃	1	0,0058	0,0058	4,2400	0,1087
Resíduo	4	0,0055	0,0014		
Total	18	0,0781			

Legenda: X₁ = Temperatura, X₂ = Vazão do ar de secagem e X₃ = Vazão do ar comprimido