



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

KRYSTAL CARDOSO SOARES ESTEFAN DE PAULA

**OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PROCESSO DE SECAGEM DO
FRUTO INTEIRO E DO COPRODUTO DE ACEROLA (*Malpighia
emarginata* DC.) EM LEITO DE ESPUMA**

ALEGRE – ES
FEVEREIRO - 2020

KRYSTAL CARDOSO SOARES ESTEFAN DE PAULA

**OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PROCESSO DE SECAGEM DO FRUTO
INTEIRO E DO COPRODUTO DE ACEROLA (*Malpighia emarginata* DC.) EM LEITO
DE ESPUMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Sérgio Henriques Saraiva
Coorientador: Prof. Antônio Manoel Maradini Filho
Coorientador: Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira

ALEGRE – ES
FEVEREIRO - 2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

D278o de Paula, Krystal Cardoso Soares Estefan, 1995-
Otimização das condições do processo de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola (*Malpighia emarginata* DC.) em leito de espuma / Krystal Cardoso Soares Estefan de Paula. - 2020.
134 f. : il.

Orientador: Sérgio Henriques Saraiva.

Coorientadores: Antônio Manoel Maradini Filho, Luciano José Quintão Teixeira.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Desidratação dos alimentos. 2. Frutas. 3. Aproveitamento de resíduos. 4. Compostos bioativos. 5. Vitamina C. 6. Alimentos - Indústria. I. Saraiva, Sérgio Henriques. II. Maradini Filho, Antônio Manoel. III. Teixeira, Luciano José Quintão. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 664

KRYSTAL CARDOSO SOARES ESTEFAN DE PAULA


**" OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DO PROCESSO DE SECAGEM
DO FRUTO INTEIRO E DO COPRODUTO DE ACEROLA (*Malpighia
emarginata* DC) EM LEITO DE ESPUMA "**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

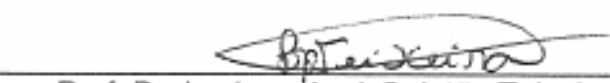
Aprovada em 14 de Fevereiro de 2020.



Prof. Dr. Sérgio Henrique Saraiva
Universidade Federal do Espírito Santo-UFES
Orientador



Prof. Dr. Antonio Manoel Maradini Filho
Universidade Federal do Espírito Santo-UFES
Coorientador



Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira
Universidade Federal do Espírito Santo-UFES
Examinador

Aos meus incríveis pais Alba e Richardson, por todo amor, confiança,
apoio incondicional e por acreditarem em meu potencial,
e ao meu esposo, Pedro, que sempre esteve ao
meu lado dando forças, amor, me fazendo sorrir e
acreditando em mim,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, por ter me concedido saúde, discernimento, proteção e força para vencer todos os obstáculos e ter me permitido concluir mais esta etapa.

À minha amada mãe, Alba, pelo amor, pelo zelo, pelo incentivo, pela confiança e por acreditar no meu potencial. Por todo apoio e respaldo dados a mim, para que eu pudesse crescer academicamente e como pessoa, durante esses dois anos, e também pelos valores morais e educação, pois contribuíram para eu me tornar quem sou.

Ao meu amado pai, Richardson, pelo amor, carinho, confiança e pela atenção. Todo seu respaldo, motivação e incentivo foram essenciais durante esses dois anos. Muito obrigada por toda educação e por sempre ter me ensinado o valor do trabalho e do esforço.

À minha amada irmã, Sol, com a qual tive o privilégio de estudar junto durante a graduação e agora no mestrado, minha eterna gratidão por todo aprendizado, zelo, amizade e pela parceria na busca por nossos sonhos e objetivos, sendo além de parceira nos estudos, minha amiga e companheira nas dificuldades e nas alegrias.

À minha amada avó, Roza, que na sua simplicidade, alegria e com seu brilho nos olhos inconfundível, esteve sempre ao meu lado, com suas orações e apoio.

Ao meu companheiro de todas as horas, e agora esposo, Pedro, por todo amor, compreensão, atenção, auxílio, cumplicidade e por sempre me incentivar a ir além. Você ajudou a tornar essa caminhada mais leve e fácil.

À toda minha família, que sempre me motivou e me acolheu de braços abertos e com muito carinho, quando eu voltava para Guaçuí, em especial à Cláudia, que com suas orações, amor e torcida, foi muito importante nesta etapa.

Ao meu querido orientador, Prof. Dsc. Sérgio Henrique Saraiva, pela sua confiança, disponibilidade sem igual, pelas conversas e desafios, pois com certeza me estimularam a buscar o crescimento e a superação diária. Obrigada por acreditar no meu potencial.

Aos professores Antônio Maradini e Luciano Quintão, pela co-orientação, boa vontade, disponibilidade e pelas considerações e sugestões feitas para melhoria neste trabalho.

Ao Paulo e ao Fábio que, gentilmente e com muita disposição em ajudar, me forneceram toda a acerola utilizada neste trabalho.

Aos alunos de graduação Eniale, Marina, Gustavo e Beatriz, pela atenção e ajuda nas análises e, especialmente, nas inúmeras secagens que pareciam nunca ter fim.

À Samira, Natássia, Priscila, Marcella e Raquel, pelo carinho e por terem me recebido tão bem no início dessa jornada. Em especial agradeço ao Wallaf, pela amizade, apoio e risadas, dentro e fora do mestrado.

À todos amigos do mestrado, Conceição, Jessika, Magno, Alexandre e Thaisa, que nas matérias e nos laboratórios sempre tornaram os dias mais felizes.

Às minhas amigas do coração, Letícy, Daiane e Laísa, que sempre tinham uma palavra de motivação e por termos dividido bons momentos dentro e fora do mestrado. Vocês são muito especiais para mim.

Aos amigos que me acompanham desde a graduação e agora no mestrado, Lucas, Carol e Bruna. Todo o apoio, carinho, incentivo, momentos de diversão e comilança, idas à academia e disposição a ajudar fizeram, e fazem, com que eu continue admirando vocês e queira todos por perto.

À todos os funcionários dos laboratórios de pesquisa e do PCTA, em especial ao Maurício, Leticia, Raphael, Silvana e Eduardo, vocês foram sensacionais e sempre muito atenciosos. Ao Toninho, secretário da pós, por toda a atenção, paciência e disponibilidade em ajudar. À professora Daniela da Silva Oliveira, por todo conhecimento, ajuda e atenção disponibilizados a mim.

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da UFES e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade.

À CAPES pelo apoio financeiro.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta etapa.

Muito Obrigada!!

Grandes são as obras do Senhor,
Aos que o temem deu-lhes o sustento.

Salmo, 110.

BIOGRAFIA

Krystal Cardoso Soares Estefan de Paula, filha de Richardson Adílio Ferreira de Paula e Alba Regina Cardoso Soares Ferreira de Paula, nasceu em Guaçuí, Espírito Santo, em 15 de maio de 1995.

Em março de 2013, ingressou no Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos no Instituto Federal Fluminense *campus* Bom Jesus do Itabapoana, colando grau em maio de 2017. Em agosto do mesmo ano iniciou o curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, nível mestrado na Universidade Federal do Espírito Santo, *campus* Alegre. Em agosto de 2019 iniciou o curso de Pós-Graduação *Latu sensu* em Controle de Qualidade e Segurança de Alimentos, pelo Instituto Federal do Espírito Santo *campus* Piúma.

Em fevereiro de 2020, submeteu-se à defesa da dissertação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das etapas do Capítulo I	16
Figura 2 – Higienização das acerolas.....	17
Figura 3 – Resíduo do despulpamento da acerola (casca, bagaço e semente).....	18
Figura 4 – Fruto inteiro de acerola utilizado para obtenção da EFI antes (I) e após a trituração do mesmo (II), para posterior etapa de formação de espuma.	20
Figura 5 – Formação da espuma do fruto inteiro de acerola (EFI).	21
Figura 6 – Formação da espuma do coproduto de acerola (ECP).	22
Figura 7 – Espuma disposta uniformemente em bandeja.	23
Figura 8 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente densidade, da EFI, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	31
Figura 9 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente densidade, da ECP, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	32
Figura 10 - Gráfico de superfície resposta da variável dependente volume de coalescência, da EFI, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	34
Figura 11 - Gráfico de superfície resposta da variável dependente volume de coalescência, da ECP, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	35
Figura 12 – Curvas de secagem em leito de espuma da espuma do fruto inteiro de acerola, a 60 °C, em diferentes concentrações de agentes.	37
Figura 13 – Curvas de secagem em leito de espuma da espuma do coproduto de acerola, a 60 °C, em diferentes concentrações de agentes.	40
Figura 14 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente tempo de secagem, da EFI, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	44
Figura 15 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente tempo de secagem, da ECP, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	45
Figura 16 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente atividade antioxidante (DPPH), do PCP, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	48

Figura 17 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente vitamina C, do PFI, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	51
Figura 18 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente vitamina C, do PCP, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	52
Figura 19 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente solubilidade, do PFI, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	54
Figura 20 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente solubilidade, do PCP, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	55
Figura 21 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente umidade, do PCP, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	57
Figura 22 - Gráfico de superfície resposta da desejabilidade global, do PFI, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	59
Figura 23 - Gráfico de superfície resposta da desejabilidade global, do PCP, em diferentes concentrações de Emustab [®] (x_1) e maltodextrina (x_2).	61
Figura 24 – Fluxograma das etapas do Capítulo II. PFI: pós do fruto inteiro de acerola; PCP: pós do coproduto de acerola.....	76
Figura 25 – Curvas de secagem em leite de espuma da EFI (espuma do fruto inteiro de acerola) em diferentes níveis de temperatura do ar de secagem.....	81
Figura 26 – Curvas de secagem em leite de espuma da ECP (espuma do coproduto de acerola) em diferentes níveis de temperatura do ar de secagem.....	84
Figura 27 – Tempo de secagem da espuma do fruto inteiro de acerola em diferentes temperaturas do ar de secagem.....	88
Figura 28 – Tempo de secagem do coproduto de acerola em diferentes temperaturas do ar de secagem.....	88
Figura 29 – Atividade antioxidante (ABTS) dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.....	90
Figura 30 – Atividade antioxidante (ABTS) dos pós do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.....	90
Figura 31 - Atividade antioxidante (DPPH) dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.....	92

Figura 32 - Conteúdo fenólico total do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.	93
Figura 33 - Conteúdo fenólico total do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.	93
Figura 34 – Teor de vitamina C dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.....	96
Figura 35 – Teor de vitamina C dos pós do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.....	96
Figura 36 - Solubilidade dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.	98
Figura 37 - Solubilidade dos pós do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.	98
Figura 38 - Umidade dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.	100
Figura 39 - Umidade dos pós do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.	100
Figura 40 – Desejabilidade global em função da temperatura do ar de secagem do processo de secagem do fruto inteiro de acerola em leite de espuma.	102
Figura 41 – Desejabilidade global em função da temperatura do ar de secagem do processo de secagem do coproduto de acerola em leite de espuma.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores das variáveis fixas codificadas (x_1 e x_2) e não codificadas (% m/m Emustab [®] e % m/m Maltodextrina) de acordo com o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).....	19
Tabela 2 – Modelos matemáticos ajustados, com suas respectivas equações.....	24
Tabela 3 – Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente densidade aparente, da EFI e da ECP.	30
Tabela 4 - Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente volume de coalescência, da EFI e da ECP.	33
Tabela 5 - Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) dos modelos testados na secagem da EFI em diferentes concentrações de agentes.	38
Tabela 6 - Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) dos modelos testados na secagem da ECP em diferentes concentrações de agentes.	41
Tabela 7 - Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente tempo de secagem, da EFI e da ECP, em função de diferentes concentrações de agentes.	43
Tabela 8 - Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente vitamina C, dos PFI e dos PCP.	50
Tabela 9 - Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente solubilidade, do PFI e do PCP.....	53
Tabela 10 – Valores mínimos (L), alvos (T) e máximos (U) estabelecidos para as variáveis respostas analisadas na espuma e no pó do fruto inteiro de acerola.....	58
Tabela 11 – Valores mínimos (L), alvos (T) e máximos (U) estabelecidos para as variáveis respostas analisadas na espuma e no pó do coproduto de acerola.....	60
Tabela 12 – Concentrações dos agentes utilizadas para a formação da espuma do fruto inteiro e do coproduto de acerola, na avaliação da influência da temperatura do ar de secagem.....	78

Tabela 13 - Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) dos modelos testados na secagem da EFI em diferentes níveis de temperatura do ar de secagem.	82
Tabela 14 - Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) dos modelos testados na secagem da ECP em diferentes níveis de temperatura do ar de secagem.	85
Tabela 15 – Tempos de secagem das espumas do fruto inteiro de acerola, em diferentes temperaturas do ar de secagem.	86
Tabela 16 – Tempos de secagem das espumas do coproduto de acerola, em diferentes temperaturas do ar de secagem.....	87
Tabela 17 – Valores mínimos (L), alvos (T) e máximos (U) estabelecidos para as variáveis respostas analisadas nos pós do fruto inteiro de acerola.....	101
Tabela 18 – Valores mínimos (L), alvos (T) e máximos (U) estabelecidos para as variáveis respostas analisadas nos pós do coproduto de acerola.....	103

SUMÁRIO

RESUMO.....	xix
ABSTRACT	xxi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Referências bibliográficas	4
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo geral.....	7
2.2. Objetivos específicos.....	7
3.Capítulo I: Otimização das concentrações de agentes espumantes na secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola (Malpighia emarginata DC.) em leito de espuma.....	9
3.1. Resumo	9
3.2. Introdução.....	11
3.3. Objetivos.....	14
3.3.1. Objetivo geral	14
3.3.2. Objetivos específicos.....	14
3.4. Material e métodos	15
3.4.1. Procedimento experimental.....	15
3.4.2. Obtenção da acerola e do resíduo do processamento de acerola	17
3.4.3. Planejamento experimental e análise estatística dos dados	18
3.4.4. Obtenção e caracterização das espumas	20
3.4.4.1. Densidade aparente.....	22
3.4.4.2. Volume coalescido.....	22
3.4.5. Obtenção e caracterização dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola	23
3.4.5.1. Preparo dos extratos dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola.....	25
3.4.5.1.1. Atividade antioxidante - Método ABTS	25
3.4.5.1.2. Atividade antioxidante - Método DPPH	26
3.4.5.1.3. Conteúdo fenólico total	26

3.4.5.2. Vitamina C	27
3.4.5.2.1. Condições cromatográficas	27
3.4.5.2.2. Condições de extração	27
3.4.5.3. Solubilidade	28
3.4.5.4. Teor de umidade.....	28
3.4.6. Técnica de otimização simultânea - Função desejabilidade	29
3.5. Resultados e discussão	30
3.5.1. Influência da concentração dos agentes na formação das espumas do fruto inteiro e do coproduto de acerola	30
3.5.1.1. Densidade aparente das espumas	30
3.5.1.2. Volume de coalescência	32
3.5.2. Cinética e tempo de secagem das espumas do fruto inteiro e do coproduto de acerola.....	35
3.5.2.1. Descrição da cinética de secagem das espumas	35
3.5.2.2. Estimativa do tempo de secagem das espumas	43
3.5.3. Caracterização dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola.....	46
3.5.3.1. Atividade antioxidante	46
3.5.3.1.1. Método ABTS	46
3.5.3.1.2. Método DPPH.....	47
3.5.3.2. Conteúdo fenólico total	49
3.5.3.3. Vitamina C	49
3.5.3.4. Solubilidade	52
3.5.3.5. Umidade.....	55
3.5.4. Otimizações das concentrações dos agentes pela função desejabilidade ...	57
3.5.4.1. Otimização das concentrações dos agentes utilizados no processo de obtenção dos pós do fruto inteiro de acerola.....	57
3.5.4.2. Otimização das concentrações dos agentes utilizados no processo de obtenção dos pós do coproduto de acerola.....	59
3.6. Conclusão	62
3.7. Referências bibliográficas.....	64

4. Capítulo II: Otimização da temperatura do ar de secagem do processo de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola (<i>Malpighia emarginata</i> DC.) em leito de espuma.....	71
4.1. Resumo	71
4.2. Introdução.....	72
4.3. Objetivos.....	74
4.3.1. Objetivo geral	74
4.3.2. Objetivos específicos	74
4.4. Material e métodos	75
4.4.1. Procedimento experimental.....	75
4.4.2. Obtenção da acerola e do coproduto do processamento de acerola	77
4.4.3. Planejamento experimental e análise estatística dos dados	77
4.4.4. Obtenção das espumas.....	78
4.4.5. Obtenção e caracterização dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola.....	78
4.4.6. Técnica de otimização simultânea - Função desejabilidade	79
4.5. Resultados e discussão	79
4.5.1. Cinética e tempo de secagem das espumas do fruto inteiro e do coproduto de acerola desidratadas em diferentes temperaturas do ar de secagem.....	79
4.5.1.1. Descrição da cinética de secagem das espumas.....	79
4.5.1.2. Estimativa do tempo de secagem das espumas	86
4.5.2. Caracterização dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola.....	88
4.5.2.1. Atividade antioxidante.....	88
4.5.2.1.1. Método ABTS	89
4.5.2.1.2. Método DPPH	91
4.5.2.2. Conteúdo fenólico total	92
4.5.2.3. Vitamina C	95
4.5.2.4. Solubilidade	97
4.5.2.5. Umidade.....	99
4.5.3. Otimizações da temperatura do ar de secagem pela função desejabilidade.....	100

4.5.3.1. Otimização da temperatura do ar de secagem no processo de obtenção dos pós do fruto inteiro de acerola.....	100
4.5.3.2. Otimização da temperatura do ar de secagem no processo de obtenção dos pós do coproduto de acerola.....	102
4.6. Conclusão.....	104
4.7. Referências bibliográficas.....	106
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	112

RESUMO

PAULA, Krystal Cardoso Soares Estefan de. **Otimização das condições do processo de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola (*Malpighia emarginata* DC.) em leite de espuma.** 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES. Orientador: Prof. Dr. Sérgio Henriques Saraiva. Coorientador(es): Prof. Dr. Antônio Manoel Maradini Filho e Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira.

O fruto inteiro (FI) e os coprodutos (CP) da acerola (*Malpighia emarginata* DC.) apresentam características nutricionais, tecnológicas e sensoriais que despertaram o interesse em sua utilização pela indústria. Entretanto, a alta perecibilidade dos frutos *in natura* e a subutilização dos coprodutos fazem com que processos, como a secagem em leite de espuma, sejam viáveis para explorar as características do fruto e reduzir o impacto ambiental, causado pelo descarte inadequado destes coprodutos. Logo, objetivou-se com este trabalho otimizar as concentrações de agentes espumantes e a temperatura do ar de secagem do processo de secagem em leite de espuma (LE) do FI e do CP de acerola. O Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) foi empregado para otimizar as concentrações de Emustab[®] (EM) e maltodextrina (MD), que variaram de 0 a 8%. Avaliou-se a influência desses dois fatores nas variáveis resposta das espumas (densidade e volume de coalescência) e dos pós do fruto inteiro (PFI) e do coproduto (PCP) (atividade antioxidante – ABTS e DPPH, conteúdo fenólico total, vitamina C, solubilidade, umidade e tempo de secagem). A função desejabilidade foi utilizada para otimizar simultaneamente as respostas significativas ($p \leq 0,05$) e fornecer as concentrações ótimas dos agentes para o processo de secagem. A partir dessas concentrações, foi investigada também a influência da temperatura do ar de secagem (40, 50, 60, 70 e 80 °C) nas mesmas respostas analisadas na otimização das concentrações dos agentes (exceto densidade e volume de coalescência), as quais foram otimizadas simultaneamente pela desejabilidade para fornecer a temperatura ótima para o processo de secagem dos pós analisados. Além disso, foi descrito a cinética de secagem do PFI e do PCP, ajustando diferentes modelos matemáticos. Para o PFI, valores máximos de vitamina C (vit. C) e de solubilidade (S) e mínimos de densidade (d), volume de coalescência (VC) e de tempo de secagem (ts) foram obtidos a partir de espumas com 3,04% EM e 5,12% MD. Com relação à otimização da temperatura, o PFI deve ser produzido a 74,47 °C para maximizar sua atividade antioxidante (ABTS e DPPH) (AA), conteúdo fenólico (CF), vit. C e S e para minimizar a umidade (Um) e o ts. Para o PCP, valores máximos de AA (DPPH), vit. C e S e mínimos de d, VC, Um e ts foram obtidos a partir de espumas com 7,92% EM e 3,28% MD. Quanto à otimização da temperatura, o PCP deve ser produzido a 79,86 °C para maximizar sua AA (ABTS), CF, vit. C e S e para minimizar a Um e o ts. Nas duas otimizações, o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar descreveu melhor o processo de

secagem de ambos os pós. Portanto, a secagem do PFI utilizando 3,04% EM e 5,12% MD à uma temperatura de 74,47 °C, e a utilização de 7,92% EM e 3,28% MD à uma temperatura de 79,86 °C no processo de secagem do PCP, foram as condições ótimas para a secagem em leito de espuma destes pós.

Palavras-chave: desidratação de alimentos, compostos bioativos, concentração de agentes espumantes, otimização de processos, função desejabilidade.

ABSTRACT

PAULA, Krystal Cardoso Soares Estefan de. **Optimization of the drying process conditions of the whole fruit and by-products of acerola (*Malpighia emarginata* DC.) in foam mat.** 2020. Dissertation (Master in Food Science and Technology) - Federal University of Espírito Santo, Alegre – ES. Advisor: Prof. DSc. Sérgio Henriques Saraiva. Co-Advisors: Prof. DSc. Antônio Manoel Maradini Filho and Prof. DSc. Luciano José Quintão Teixeira.

The whole fruit (WF) and by-products (BP) of the acerola (*Malpighia emarginata* DC.) have nutritional, technological and sensory characteristics that triggered the interest in its use by the industry. However, the high perishability of fresh fruits and the underutilization of by-products make processes, such as foam mat drying, viable to explore the characteristics of the fruit and reduce the environmental impact caused by the inappropriate discard of these by-products. Therefore, this work aimed to optimize the concentrations of foaming agents and the drying air temperature of the foam mat (FM) drying process of WF and BP of acerola. The Central Composite Rotational Design (CCRD) was used to optimize the concentrations of Emustab® (EM) and maltodextrin (MD), which varied from 0 to 8%. The influence of these two factors on the response variables of the foam (density and coalescence volume) and powders of whole fruit (PWF) and by-product (PBP) (antioxidant activity - ABTS and DPPH, total phenolic content, vitamin C, solubility, humidity and drying time) was evaluated. The desirability function was used to simultaneously optimize the significant responses ($p \leq 0.05$) and provide the optimal concentrations of agents for the drying process of the powders. From the definition of these concentrations, the influence of the drying air temperature (40, 50, 60, 70 and 80°C) was investigated on the same responses analyzed in the optimization of agent concentrations (except density and coalescence volume), which were simultaneously optimized by the desirability to provide the optimum temperature for the drying process of the analyzed powders. In addition, the drying kinetics of PWF and PBP were described, adjusting different mathematical models. For the PWF, the maximum values of vitamin C (vit. C) and solubility (S) and the minimum values of density (d), coalescence volume (CV) and drying time (dt) were obtained from foams with 3.04% EM and 5.12% MD. Regarding the optimization of the temperature, the PWF must be produced at 74.47 °C to maximize its antioxidant activity (ABTS and DPPH) (AA), phenolic content (PC), vit. C and S and to minimize humidity (Hm) and dt. For the PBP, the maximum values of AA (DPPH), vit. C and S and the minimum values of d, CV, Hm and dt were obtained from foams with 7.92% EM and 3.28% MD. As for temperature optimization, the PBP must be produced at 79.86 °C to maximize its AA (ABTS), PC, vit. C and S and to minimize Hm and dt. In the optimizations steps, the Midilli, Kucuk and Yapar model best described the drying process of both powders. Therefore, the drying of PWF using 3.04% EM and 5.12% MD at a temperature of 74.47 °C, and the use of

7.92% EM and 3.28% MD at a temperature of 79.86 °C in the drying process of the PBP, were the optimal conditions for drying in foam mat of these powders.

Keywords: food dehydration, bioactive compounds, foaming agents concentration, process optimization, desirability function.

1. INTRODUÇÃO

A acerola (*Malpighia emarginata* DC) é originária da América tropical na região banhada pelo mar das Antilhas (PINO; MARBOT, 2001; JOHNSON, 2003). No Brasil, foi introduzida no estado de Pernambuco pela Universidade Federal Rural de Pernambuco em 1955 e o aumento da sua demanda a partir da década de 1990, no mercado interno e externo, fez com que se tornasse difundida em praticamente todo o território nacional (RITZINGER; RITZINGER, 2011). No entanto, devido às condições locais que possibilitam a produção durante quase todo o ano, a região Nordeste destaca-se como a maior região brasileira produtora da fruta, correspondendo a 70% da produção nacional, seguida da região Sudeste, com 15% (FURLANETO; NASSER, 2015).

No estado do Espírito Santo, para impulsionar a produção da fruta foi criado, em 2010, o “Polo de Fruticultura – Acerola”. Em 2015, foram plantados 114 hectares de acerola no estado, produzindo em torno de 1.094 toneladas da fruta. Em 2018, a produção de acerola, atingiu cerca de 1.200 toneladas, o que representou um aumento de 41,03%, em comparação com o ano anterior (INCAPER, 2018). O município de Alegre, em 2015 e 2016, produziu 80 toneladas em uma área de 5 hectares, com rendimento médio de 16.000 kg de acerola por hectare (INCAPER, 2017).

De acordo com Embrapa (2011), cerca de 41% do volume processado de acerola corresponde ao resíduo (casca, bagaço e semente), que é considerado como custo operacional para as empresas, quando tratado, ou como agente poluente que gera impacto ambiental, quando não tratado. Embora este resíduo seja subutilizado, ele apresenta, assim com o fruto inteiro da acerola, altos níveis de compostos antioxidantes como ácido ascórbico (800-4000 mg/100 g), de minerais como o ferro e o cálcio, além de serem considerados fontes de fibras solúveis e insolúveis (LIMA et al., 2005; SILVA; DUARTE; BARROZO, 2016), o que o torna uma matéria-prima com características de interesse para a indústria de alimentos e para a sociedade, que busca cada vez mais por alimentos nutritivos.

Quando este resíduo é submetido a algum processo de transformação pela indústria, ele pode ser convertido em matéria-prima ou em produtos comerciais para processos secundários e apresentar aplicação tecnológica, o que faz com que passe a ser denominado como coproduto (EVANGELISTA, 2005). Como exemplo de processo que possibilita a transformação dos resíduos agroindustriais, pode-se citar a secagem.

O processo de secagem possibilita a conservação do produto, por meio da transferência da água líquida do alimento para o estado gasoso no ar de secagem a temperaturas abaixo do ponto de ebulição. Além desta finalidade, a secagem é utilizada para reduzir o volume e/ou peso do alimento visando otimizar o seu armazenamento e transporte, evitar a necessidade de condições de refrigeração e congelamento para preservar o alimento, além de ser utilizada no desenvolvimento de produtos alimentícios (BARAT; GRAU, 2016). Dentre os métodos de secagem de alimentos existentes, pode-se citar a secagem em leito de espuma.

A secagem em leito de espuma consiste na formação de uma espuma estável do alimento a ser desidratado e, posteriormente, na secagem desta espuma por meio da passagem de ar quente. Este processo pode ser considerado rápido, não necessitando de grande exposição do alimento ao calor, e vantajoso, pois gera produtos de boa qualidade nutricional e sensorial (FRANCO et al., 2015). Entretanto, a maior dificuldade encontrada é manter a estabilidade da espuma durante todo o processo, pois o rompimento das bolhas de ar pode provocar um aumento da taxa de secagem, o que reduz a qualidade do produto e, também, dificulta a retirada do produto da bandeja (SANKAT; CASTAIGNE, 2004). Para assegurar a estabilidade da espuma, são utilizados agentes espumantes, como o Emustab[®] e a maltodextrina, pois estes reduzem a sua tensão superficial.

O Emustab[®] é um aditivo comercial de baixo custo e que possui em sua composição moléculas que agem como emulsificantes, estabilizante e espessante (ARAÚJO, 2011). A maltodextrina é um carboidrato complexo, produto da hidrólise do amido, e apresenta boa solubilidade, baixo custo e baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos (BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997; GOUBET; QUERE; VOILLEY, 1998; CANO-CHAUCA et al., 2005; OLIVEIRA et al, 2013), além de proporcionar redução no teor de umidade dos pós. Ambos os agentes têm sido

amplamente utilizados em secagens em leito de espuma, sendo testados em diferentes matrizes alimentares, como: acerola (SOARES et al., 2001; COELHO et al., 2019), pequi (PINTO, et a., 2018), beterraba (NG; SULAIMAN, 2018), cereja azeda (ABBASI; AZZISPOUR, 2016), uva (TAVARES et al., 2019) e jambolão (TAVARES et al., 2020).

No entanto, para que esses agentes desempenhem suas funções satisfatoriamente, devem ser utilizados em concentrações adequadas e em condições de secagem que não comprometam sua ação e, conseqüentemente, afetem a qualidade final do produto.

Dentre as condições de secagem que devem ser analisadas, tem-se a temperatura, que é um parâmetro de suma importância para o processo em leito de espuma. À medida que ocorre o seu incremento, a umidade relativa diminui, aumentando a sua capacidade em receber vapor d'água proveniente do alimento. Além disso, a difusividade efetiva da água aumenta, uma vez que o aumento da temperatura eleva o nível da vibração das moléculas de água e, com isso, ocorre a redução no tempo de secagem (GONELI et al., 2008; ARAÚJO et al., 2017). Porém, a aplicação de calor pode provocar a degradação de vários compostos termolábeis (CASARIN et al., 2016; ANANDHARAMAKRISHNAN, 2017; TELES et al., 2017), o que justifica a necessidade de se estudar a influência deste parâmetro nas características do material a ser desidratado.

Os pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola obtidos em leito de espuma resultam em um material com características distintas da polpa líquida, geralmente utilizada neste método de secagem, tornando indispensável a análise das suas propriedades químicas e físico-químicas, para que suas características sejam reconhecidas e exploradas, bem como é necessário a otimização das condições do processo.

Neste contexto, o estudo sobre a utilização do fruto inteiro e dos coprodutos de acerola, desidratados em leito de espuma, é de grande relevância, visto que estes produtos dispõem de características de interesse, agregam valor à fruta e aos seus coprodutos e podem apresentar potencial de aplicação em produtos alimentícios.

1.1. Referências bibliográficas

ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. *LWT - Food Science and Technology*, v. 68, p. 105-110, may, 2016.

ANANDHARAMAKRISHNAN, C. **Handbook of drying for dairy products**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. 344p.

ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. N.; TEIXEIRA, L. S. Q. Foam-mat drying kinetics for acerola and adjustment of the mathematical models. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-9, 2017.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5ª ed., atualizada e ampliada. Viçosa: Editora UFV, 2011, 601p.

BARAT, J. M.; GRAU, R. **Drying: Principles and types**. Encyclopedia of Food and Health, p. 456-461, 2016.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, New York, v. 15, p. 671-684, 1997.

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

CASARIN, F.; MENDES, C. E.; LOPES, T. J.; MOURA, N. F. Planejamento experimental do processo de secagem da amora-preta (*Rubus* sp.) para a produção de farinha enriquecida com compostos bioativos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 19, p. 1-9, 2016.

COELHO, B. E. S.; TORRES, G. S.; NETO, A. F.; COELHO, C. L. Estudo da estabilidade da espuma da polpa de acerola para secagem pelo método foam-mat drying. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mandioca e Fruticultura: Acerola**. 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura>>. Acesso em: 31 jan. 2020.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Atheneu, 2005. 652p.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, S. N.; MASSON, M. L. Foam mat drying of yacon juice: Experimental analysis and computer simulation. **Journal of Food Engineering**, v. 158, p. 48-57, 2015.

FURLANETO, F. P. B; NASSER, M. D. Panorama da cultura da acerola no Estado de

São Paulo. **Revista Pesquisa e Tecnologia**, São Paulo, v. 12, n. 1, p.1-6, 2015.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; SANTOS, E. S. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 33, n. 2, p. 148-155, 2008.

GOUBET, I.; LE QUERE, L. J.; VOILLEY, J. A. Retention of aroma compounds by carbohydrates: influence of their physiochemical characteristics and of their physical state. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 1981-1990, 1998.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Boletim da Conjuntura Agropecuária Capixaba**. Vitória – ES, ano IV, n. 14, jun., 2018. Disponível em: <<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/123456789/3211/1/BRT-Boletim-julho-2018.pdf>> . Acesso em: 31 jan. 2020.

INCAPER. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Polos de Fruticultura - Acerola**. 2017. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/fruticultura-acerola>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

JOHNSON, P. D. Acerola (*Malpighia glabra* L., *M. puniceifolia* L., *M. emarginata* D.C.): agriculture, production and nutrition. **World Review of Nutrition and Dietetics**, v. 91, p. 67-75, 2003.

LIMA C. L. A. G.; MÉLO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; PRAZERES, F. G.; MUSSER, R. S.; LIMA, D. E. E. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. **Food Chemistry**, v. 90, n. 4, p. 565-568, 2005.

NG, M. L.; SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT – Food Science and Technology**, v. 88, p. 80–86, fev., 2018.

OLIVEIRA, M. I. S.; TONON, R. V.; NOGUEIRA, R. I.; CABRAL, L. M. C. Stability of spray-dried strawberry pulp produced with different carrier agentes. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 4, oct.-dec., 2013.

RITZINGER, R.; RITZINGER, C. H. S. P. Cultivo tropical de fruteiras: acerola. **Informe Agropecuário**, v. 32, p. 17-25, 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54086/1/Acerola-RITZINGER-Rogério.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2020.

PINO, J. A.; MARBOT, R. Volatile flavor constituents of acerola (*Malpighia glabra* DC.) fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 5880–5882, 2001.

PINTO, M. R. M. R.; PAULA, D. A. ALVES, A. I.; RODRIGUES, M. Z.; VIEIRA, E. N. R.; FONTES, E. A. F.; RAMOS, A. M. Encapsulation of carotenoid extracts from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) by emulsification (O/W) and foam-mat drying. **Powder**

Technology, v. 339, p. 939-946, nov., 2018.

SANKAT, C. K.; CASTAIGNE, F. Foaming and drying behavior of ripe bananas. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 37, n. 1, p. 517-525, 2004.

SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Dehydration of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue in a new designed rotary dryer: Effect of process variables on main bioactive compounds. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, p. 62-70, 2016.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA JUNIOR, A.; FILHO, M. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pelo processo foam-mat. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

TAVARES, I. M. C.; CASTILHOS, M. B. M.; MAURO, M. A.; RAMOS, A. M.; SOUZA, R. T.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; GOMES, E.; DA-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. BRS Violeta (BRS Rúbea × IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 298, n. 15, p. 1-11, nov., 2019.

TAVARES, I. M. C.; SUMERE, B. R.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; DA-SILVA, R.; LAGO-VANZELA, E. S. Storage stability of the phenolic compounds, color and antioxidant activity of jambolan juice powder obtained by foam mat drying. **Food Research International**, v. 128, feb., 2020.

TELES, A. S. C.; CHÁVEZ, D. W. H.; GOMES, F. S.; CABRAL, L. M. C.; TONON, R. V. Effect of temperature on the degradation of bioactive compounds of *Pinot Noir* grape pomace during drying. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, nov., 2017.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Otimizar as condições de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola (*Malpighia emarginata* DC.) em leite de espuma.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito de diferentes concentrações de Emustab[®] e maltodextrina na formação de espuma do fruto inteiro e do coproduto de acerola e nos seus respectivos pós, obtidos em leite de espuma.
- Descrever a cinética de secagem das espumas, do fruto inteiro e do coproduto de acerola, obtidas com as diferentes concentrações de Emustab[®] e maltodextrina, por meio do ajuste de modelos matemáticos.
- Caracterizar química e físico-quimicamente os pós obtidos das diferentes concentrações de agentes testadas.
- Otimizar as variáveis respostas, simultaneamente, para obter as concentrações ótimas de Emustab[®] e maltodextrina para o processo de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola em leite de espuma.
- Avaliar o efeito de diferentes temperaturas (40, 50, 60, 70 e 80 °C) do ar de secagem no processo de secagem em leite de espuma do fruto inteiro e do coproduto de acerola.
- Descrever a cinética de secagem das espumas do fruto inteiro e do coproduto de acerola secas em diferentes temperaturas, por meio do ajuste de modelos matemáticos.

- Caracterizar química e físico-quimicamente os pós obtidos nas diferentes temperaturas do ar de secagem.
- Otimizar as variáveis respostas, simultaneamente, para obter a temperatura ótima do processo de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola em leite de espuma.

3. Capítulo I: Otimização das concentrações de agentes espumantes na secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola (*Malpighia emarginata* DC.) em leite de espuma

3.1. Resumo

A acerola (*Malpighia emarginata* DC.) se destaca pelas suas características nutricionais, tecnológicas e sensoriais. Os coprodutos (CP), gerados do despulpamento da fruta, são importantes para as funções fisiológicas e são passíveis de aproveitamento na alimentação humana, uma vez que apresentam atividade antioxidante e possuem teores satisfatórios de fibras, compostos fenólicos e vitamina C, por exemplo. Entretanto, a alta perecibilidade dos frutos *in natura* e a subutilização dos coprodutos fazem com que processos, como a secagem em leite de espuma, sejam viáveis para explorar as características do fruto e reduzir o impacto ambiental, causado pelo descarte inadequado destes coprodutos. Diante do exposto, objetivou-se otimizar as concentrações de Emustab[®] (EM) e de maltodextrina (MD) do processo de secagem em leite de espuma (LE) do fruto inteiro (FI) e do CP de acerola. Foi empregado o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), variando as concentrações de 0 a 8%, e avaliou-se a influência desses dois fatores nas variáveis resposta das espumas (densidade e volume de coalescência) e dos pós do fruto inteiro (PFI) e do coproduto (PCP) de acerola (atividade antioxidante – ABTS e DPPH, conteúdo fenólico total, vitamina C, solubilidade, umidade e tempo de secagem). A função desejabilidade foi utilizada para otimizar simultaneamente as respostas significativas ($p \leq 0,05$) e fornecer as concentrações ótimas dos agentes para os processos de secagem. Para descrever a cinética de secagem do PFI e do PCP, foram ajustados os modelos de Lewis, Page, Henderson e Pabis e Midilli, Kucuk e Yapar. Para o PFI, as respostas atividade antioxidante (ABTS e DPPH) (AA), conteúdo fenólico total (CF) e umidade (Um) não foram influenciadas ($p > 0,05$) pelas concentrações testadas dos agentes. Maiores teores de EM acarretaram em PFI com menor densidade (d) e volume de coalescência (VC), enquanto que pós com maior concentração de MD favoreceram a redução do tempo de secagem (ts) e o aumento de vitamina C (vit. C) e solubilidade (S). Para maximizar o teor de vit. C e de S e minimizar a d, o VC e o ts no PFI, a desejabilidade máxima obtida foi de 0,6197, que correspondeu a 3,04% EM e 5,12% MD. Para o PCP, as respostas AA (ABTS) e CF não foram influenciadas ($p > 0,05$) pelas concentrações dos agentes. Observou-se que altos teores de EM acarretaram em menores valores de d e vit. C, e proporcionaram maior AA (DPPH). A MD em concentrações médias reduziu a d e aumentou a AA (DPPH), enquanto que em concentrações maiores tendeu a aumentar S dos PCP. Para maximizar a AA, S e vit. C e minimizar a Um e o ts, a desejabilidade máxima obtida foi de 0,0095, que correspondeu a 7,92% EM e 3,28% MD. O modelo de Midilli, Kucuk e Yapar foi o que melhor descreveu os processos de secagem de ambos os pós. Deste modo, as concentrações ótimas para o processo de secagem em LE do PFI foram de 3,04% EM e 5,12% MD e do PCP foram de 7,92% EM e 3,28% MD.

Palavras-chave: Emustab[®], maltodextrina, compostos bioativos, otimização de processos, função desejabilidade.

3.2. Introdução

A acerola (*Malpighia emarginata* DC.) é uma fruta tropical de elevado valor econômico e nutricional, em virtude do seu alto teor de vitamina C e de outros compostos bioativos (MERCALI et al., 2012). Entretanto, boa parte da colheita é desperdiçada, haja vista que a maior parte da produção é consumida *in natura* e esta forma de consumo da fruta é considerada limitada, uma vez que é um fruto pequeno, com sementes relativamente grandes e altamente perecível (MERCALI et al., 2012; NÓBREGA, 2012).

Industrialmente, a acerola é processada na forma de polpa, suco, geleia e compota, por exemplo. Apesar dos méritos potenciais, o processamento da fruta gera uma quantidade elevada de resíduos (subprodutos), que implicam em perdas de matéria-prima e impactos a níveis econômicos, ambientais e sociais (BORTOLOTTI et al., 2013). Embora sejam subutilizados, os resíduos possuem altas concentrações de compostos bioativos e alto potencial para uso como suplementação alimentar (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2017, 2018).

Entretanto, esses resíduos podem conter mais de 80% de água, o que limita seu armazenamento, transporte e vida útil (BRANCO et al., 2016). Com isso, faz-se necessária a aplicação de tecnologias adequadas para que esses resíduos sejam transformados em matérias-primas ou em produtos comerciais para outros processos industriais e, assim, seus benefícios sejam explorados (PELIZER; PONTIERI; MORAES, 2007). Quando os mesmos sofrem algum processo de transformação pela indústria para posterior aplicação, são chamados de coprodutos (EVANGELISTA, 2005).

Dentre os processos que promovem essas transformações, pode-se citar a secagem. Utilizada tradicionalmente na conservação de alimentos, a secagem é responsável por reduzir a disponibilidade de água para reações de deterioração, aumentar a estabilidade microbiológica do alimento e reduzir a massa e o volume do produto (RAJKUMAR et al., 2007; CELMA et al., 2011; CASARIN et al., 2016). Além disso, ajuda a preservar os nutrientes, os compostos biologicamente ativos e as

propriedades antioxidantes da fruta e a possibilitar o surgimento de novos produtos para os consumidores (MARTÍNEZ et al., 2012; SOGI; SIDDIQ; DOLAN, 2015).

A secagem em leite de espuma representa um dos métodos disponíveis, na qual alimentos líquidos ou semi-sólidos são convertidos em uma espuma estável, que por sua vez é espalhada em bandejas de secagem para ser seca e moída, obtendo um pó (DE FREITAS et al., 2018). Tempos curtos de secagem e baixas temperaturas de processo podem ser utilizados, dependendo da matriz alimentar, uma vez que o aumento da área de superfície resposta ao ar quente propicia uma evaporação mais rápida e, conseqüentemente, temperaturas menores podem ser utilizadas sem alterar a estrutura do alimento durante o processo (RONCHETI, 2014; DE FREITAS et al., 2018).

Para que essa estrutura se mantenha estável no processo e a espuma tenha boa capacidade de expansão, utilizam-se agentes para reduzir a tensão superficial entre o líquido e a fase gasosa (BAG et al., 2011; BENKOVIĆ et al., 2019). A maltodextrina e o Emustab[®] são exemplos de agentes espumantes utilizados para facilitar a formação e a estabilização das espumas.

A maltodextrina apresenta boa solubilidade em água, baixo custo e baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos (BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997; GOUBET; QUERE; VOILLEY, 1998; CANO-CHAUCA et al., 2005), além de proporcionar redução no teor de umidade de pós, uma vez que sua adição implica em um aumento do conteúdo de sólidos e, conseqüentemente, uma redução na quantidade total de umidade para ser evaporada (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007; FAZAELI et al., 2012).

O Emustab[®] é um aditivo comercial de baixo custo e que tem em sua composição moléculas que agem como estabilizante, espessante e emulsificantes (ARAÚJO, 2011; GURGEL, 2014). No estudo realizado por Araújo et al. (2017), foi observado que, em secagem de polpa de acerola em leite de espuma, o Emustab[®] (4%) proporcionou estabilidade à espuma, não sendo observada coalescência, além de ter conferido uma densidade suficientemente baixa. Entretanto, em algumas matrizes alimentares, como morango, este agente não foi capaz de produzir espuma estável (RONCHETI, 2014). Com isso, o alimento a ser desidratado deve ser levado em consideração no momento da definição das condições do processo, bem como deve

ser otimizada as concentrações dos agentes, visando garantir o melhor desempenho da secagem.

Uma das ferramentas de otimização mais utilizadas na indústria é o método desejabilidade (ZHANG; JIANG; GUO, 2009). Este método é adequado para avaliar um conjunto de respostas, simultaneamente, e que possibilita a determinação do conjunto de condições mais desejável para as propriedades estudadas, levando em consideração o tipo de otimização que se deseja para a resposta (maximizar, normalizar ou minimizar), os valores desejados (limites de especificação) e as respectivas importâncias de cada resposta (PAIVA, 2008).

Logo, processos como o de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola, em leite de espuma, podem se beneficiar deste método, uma vez que podem ser definidas as concentrações ótimas dos agentes e, assim, potencializar as características químicas e físico-químicas de interesse de seus respectivos pós.

3.3. Objetivos

3.3.1. Objetivo geral

Otimizar as concentrações de diferentes agentes espumantes na secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola em leite de espuma.

3.3.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito das concentrações de Emustab[®] e de maltodextrina sobre as propriedades físicas da espuma e químicas e físico-químicas dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola obtidos por secagem por leite de espuma.
- Descrever a cinética de secagem das espumas, do fruto inteiro e do coproduto de acerola, obtidas com as diferentes concentrações de Emustab[®] e maltodextrina, por meio do ajuste de modelos matemáticos.
- Obter as concentrações otimizadas de Emustab[®] e maltodextrina, consideradas ótimas para o processo de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola em leite de espuma.

3.4. Material e métodos

Todos os experimentos foram realizados no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, *Campus Alegre* (CCAUE-UFES), nos laboratórios de Operações Unitárias e Química de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos.

3.4.1. Procedimento experimental

Na Figura 1 é apresentado o fluxograma metodológico das etapas realizadas no Capítulo I.

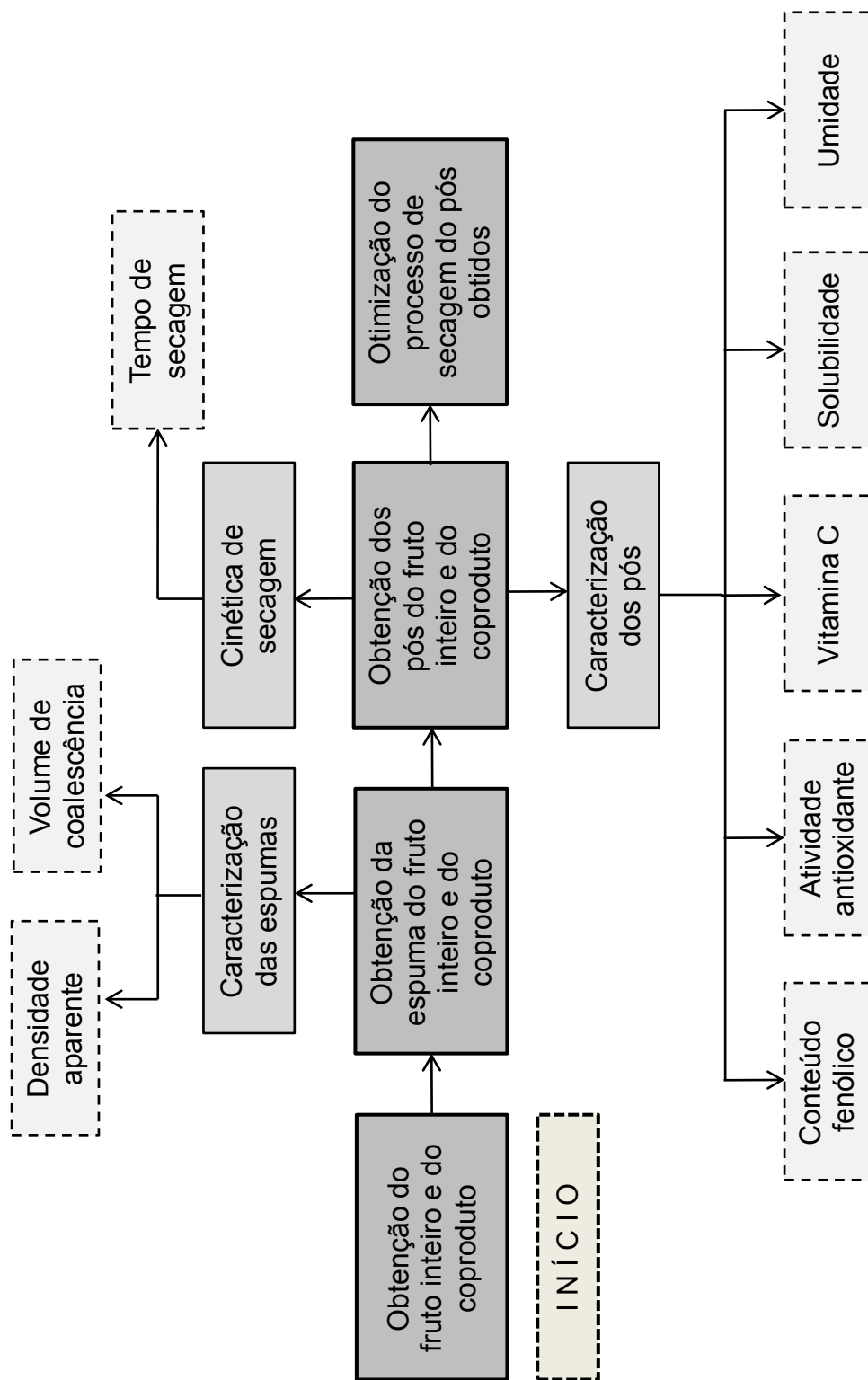


Figura 1 - Fluxograma das etapas do Capítulo I

Fonte: A autora.

3.4.2. Obtenção da acerola e do resíduo do processamento de acerola

A acerola (*Malpighia emarginata* DC.) foi obtida de uma empresa produtora de polpa de fruta no município de Alegre, Espírito Santo, Brasil, em estágio de plena maturação, e posteriormente foi direcionada para o CCAE-UFES, onde ocorreu as etapas de seleção das frutas, higienização (hipoclorito de sódio a 100 ppm/15 minutos) (Figura 2) e armazenamento do material selecionado, já porcionado, em freezer horizontal, até o momento da sua utilização.



Figura 2 – Higienização das acerolas.

Fonte: A autora.

As acerolas utilizadas na sua forma inteira, para serem desidratadas, foram previamente descongeladas sob refrigeração, sendo que este processo de descongelamento ocorreu separadamente em cada nova secagem.

Os resíduos do processamento da acerola (casca, bagaço e semente) (Figura 3) foram obtidos a partir do despulpamento da fruta, previamente descongelada sob refrigeração, em cada nova secagem.



Figura 3 – Resíduo do despulpamento da acerola (casca, bagaço e semente).

Fonte: A autora.

3.4.3. Planejamento experimental e análise estatística dos dados

Para auxiliar no processo de produção da espuma do fruto inteiro (EFI) e da espuma do coproduto (ECP) de acerola, após a realização de testes laboratoriais, foram selecionados os agentes espumantes Emustab[®] e maltodextrina.

Foi realizado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) a fim de otimizar as concentrações dos agentes espumantes adicionados no fruto inteiro (FI) e no coproduto (CP) de acerola para a produção das espumas.

Para duas variáveis fixas (Emustab[®] e maltodextrina), este delineamento gera quatro pontos fatoriais, quatro pontos axiais e um ponto central, totalizando 9 tratamentos. Como o ponto central foi realizado em três repetições, foram executados 11 experimentos, conforme Tabela 1. Uma vez que o DCCR consistiu de dois fatores, foi atribuído um valor $\alpha = 1,41$ (TEÓFILO; FERREIRA, 2006).

Tabela 1 - Valores das variáveis fixas codificadas (x_1 e x_2) e não codificadas (% m/m Emustab[®] e % m/m Maltodextrina) de acordo com o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

Tratamento	x_1	x_2	Emustab (%)	Maltodextrina (%)
1	-1	-1	1,17	1,17
2	1	-1	6,83	1,17
3	-1	1	1,17	6,83
4	1	1	6,83	6,83
5	-1,41	0	0	4
6	1,41	0	8	4
7	0	-1,41	4	0
8	0	1,41	4	8
9	0	0	4	4
10	0	0	4	4
11	0	0	4	4

As condições ótimas do experimento tinham por objetivo maximizar as variáveis atividade antioxidante (ABTS e DPPH) (AA), conteúdo fenólico total (CF), vitamina C (vit. C) e solubilidade (S) e minimizar as variáveis volume de coalescência (VC), densidade aparente (d), umidade (Um) e tempo de secagem (ts).

Com base nas restrições citadas anteriormente para os valores máximos e mínimos de cada variável, foi utilizada a técnica de otimização simultânea por meio da função desejabilidade, com auxílio do software Excel. Esta técnica tem a finalidade de encontrar os valores operacionais ótimos que irão satisfazer simultaneamente os requisitos necessários às diferentes variáveis resposta para, assim, otimizar as concentrações dos agentes espumantes (DERRINGER; SUICH, 1980).

Para cada tratamento foram realizadas as análises de VC e d nas espumas, assim como foi avaliada a cinética de secagem da EFI e da ECP, à temperatura de 60 °C, empregando o software SigmaPlot, versão 11.0. Após a secagem destas espumas, os pós obtidos foram caracterizados através das análises de AA, CF, vit. C, S e Um.

A caracterização física das espumas, em três repetições, e química e físico-

química dos pós, em duplicata, foi conduzida empregando o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) da regressão e da falta de ajuste, ao nível de 5% de significância, e representados em gráficos de superfície resposta, com auxílio do software Statistica, versão 10.0.

3.4.4. Obtenção e caracterização das espumas

Duas espumas distintas foram produzidas e caracterizadas: espuma do fruto inteiro de acerola (EFI) e espuma do coproduto de acerola (ECP). O processo de obtenção das mesmas contou com algumas especificações, que são descritas a seguir.

Para a obtenção da EFI, inicialmente os frutos inteiros foram despulpados em juicer para promover a separação da polpa e do resíduo e, posteriormente, ambas as partes foram trituradas em liquidificador obtendo uma mistura homogênea e com partículas sólidas menores (Figura 4 – I e II).

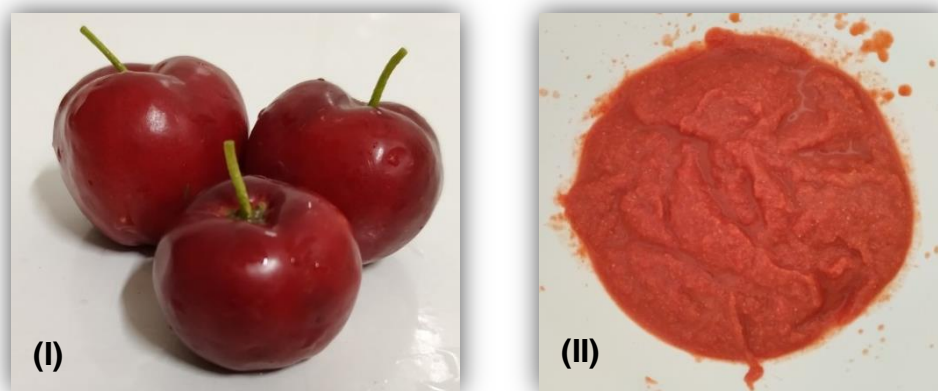


Figura 4 – Fruto inteiro de acerola utilizado para obtenção da EFI antes (I) e após a trituração do mesmo (II), para posterior etapa de formação de espuma.

Fonte: A autora.

Esta etapa inicial foi executada para facilitar a etapa seguinte de formação da espuma, uma vez que a acerola inteira não incorpora bem aos agentes espumantes durante a agitação em batedeira por apresentar partículas sólidas maiores (sementes) que dificultam a obtenção da espuma. Posteriormente, o material triturado foi direcionado para uma batedeira (Figura 5), sendo agitados junto aos agentes

espumantes (Emustab[®] e maltodextrina) nas proporções delineadas pelo DCCR (Tabela 1). A agitação ocorreu durante 20 minutos, onde os cinco minutos iniciais foram conduzidos em velocidade mínima e os 15 minutos restantes em velocidade máxima.



Figura 5 – Formação inicial da espuma do fruto inteiro de acerola (EFI).

Fonte: A autora.

Para a obtenção da ECP (Figura 6), foram utilizadas as proporções delineadas pelo mesmo DCCR da EFI (Tabela 1), e seguiu-se o mesmo procedimento de agitação descrito acima, porém, foi utilizado o coproduto de acerola com adição de água destilada, na proporção de 1:2,5 (coproduto:água destilada), para auxiliar no processo de formação da espuma. Tal proporção foi escolhida mediante testes preliminares, até que se conseguisse uma espuma aceitável, uma vez que somente o coproduto e os agentes não permitem a formação da mesma.



Figura 6 – Formação da espuma do coproduto de acerola (ECP).

Fonte: A autora.

A caracterização de ambas as espumas foi realizada em três repetições e em duplicatas, avaliando a densidade aparente e o índice de coalescência.

3.4.4.1. Densidade aparente

Foi determinada pela pesagem da espuma em uma proveta graduada de 1 L, tarada previamente. Posteriormente, foi calculada a razão entre a massa da espuma e o volume da proveta, conforme Equação 1 (ARAÚJO et al., 2017).

$$\text{Densidade aparente (g/mL)} = \frac{m_{\text{espuma}}}{V_{\text{proveta}}} \quad (1)$$

3.4.4.2. Volume coalescido

Foi determinado por meio da metodologia proposta por Araújo et al. (2017), com modificações. Inicialmente, com auxílio de uma régua, uma proveta de 1 L foi milimetrada para se saber quanto aquele volume (1 L) correspondia em altura (Alt) (mm). Posteriormente, a espuma foi disposta na proveta e, após três horas (25 °C), foi

aferida a altura do líquido coalescido (ALC) (mm) com a régua.

O volume coalescido (mL) e o seu percentual foram calculados de acordo com a Equação 2 e 3, respectivamente.

$$\text{Volume coalescido (mL)} = \frac{V_{\text{proveta (mL)}} * \text{ALC (mm)}}{\text{Alt}_{\text{proveta (mm)}}} \quad (2)$$

$$\text{Volume coalescido (\%)} = \frac{V_{\text{coalescido (mL)}}}{V_{\text{proveta (mL)}}} * 100 \quad (3)$$

3.4.5. Obtenção e caracterização dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola

Para obtenção dos pós, a EFI e a ECP foram espalhadas uniformemente em bandejas de aço inox com dimensões 50 cm comprimento x 40 cm largura x 1 cm altura, conforme Figura 7, e colocadas em um secador de bandejas com circulação forçada de ar, com velocidade média de 1,5 m/s.



Figura 7 – Espuma disposta uniformemente em bandeja.

Fonte: A autora.

A cinética de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola foi realizada para cada um dos 11 experimentos, a 60 °C, por meio do registro da massa das amostras em intervalos de 15 minutos durante a primeira hora, de 30 minutos durante a segunda e a terceira hora e de 60 minutos até a obtenção de massa constante (ARAÚJO et al., 2017). A temperatura do ar de secagem foi de 60 °C uma vez que é considerado um valor intermediário.

A partir dos dados obtidos, foram ajustados os modelos de Lewis (1921), Page (1949), Henderson e Pabis (1962) e Midilli, Kucuk e Yapar (2002), de acordo com as equações apresentadas na Tabela 2, onde t é o tempo de secagem (minutos) e k , n , a e b são parâmetros dos modelos. Para essa finalidade, foi determinada a razão de umidade experimental (RU), conforme Equação 4.

$$RU = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (4)$$

em que X_t é o teor de água, em base seca, em qualquer instante de tempo, X_e é o teor de água na condição de equilíbrio e X_0 é o teor de água inicial.

Tabela 2 – Modelos matemáticos ajustados, com suas respectivas equações.

Modelos para ajuste	Equação
Lewis	$RU = e^{-kt}$
Page	$RU = e^{-kt^n}$
Henderson e Pabis	$RU = ae^{-kt}$
Midilli	$RU = ae^{-kt^n} + bt$

Os modelos de curva de secagem foram ajustados por meio da análise de regressão não linear, utilizando a técnica de minimização da soma de quadrados dos desvios. Posteriormente, os modelos ajustados foram comparados pelo coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajd}) e pelo erro padrão da regressão (S).

Para a caracterização dos pós do fruto inteiro (PFI) e do coproduto (PCP) de acerola, foram realizadas, em duplicata, as análises de atividade antioxidante (ABTS e

DPPH), conteúdo fenólico total, solubilidade e umidade, e em uma única replicata a análise de vitamina C.

3.4.5.1. Preparo dos extratos dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola

Os extratos hidroalcoólicos dos pós foram obtidos conforme metodologia descrita por Bloor (2001) e Caetano et al. (2009), com adaptações, a partir da adição de 10 mL de etanol 80 % (v/v) a 1,0 g de pó. Esse material foi agitado com auxílio da barra magnética a 200 rpm por 20 minutos e, posteriormente, filtrado à vácuo para, assim, os extratos serem armazenados em vidro âmbar, sob refrigeração, até sua utilização.

Os extratos obtidos do PFI e do PCP foram utilizados para a realização das análises de atividade antioxidante (ABTS e DPPH) e de compostos fenólicos total.

3.4.5.1.1. Atividade antioxidante - Método ABTS

A solução radical de ABTS (ácido-2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6- sulfônico)) foi produzida por reação de 7 mmol/L de solução estoque de ABTS com 2,45 mmol/L de persulfato de potássio e deixada em repouso, no escuro, durante 16 horas antes da sua utilização. No momento da análise, a solução de ABTS foi diluída com álcool 80% para ajustar a absorvância da mistura para 0,700 ($\pm 0,02$), em comprimento de onda de 734 nm. Ao extrato dos pós (0,5 mL) (item 3.4.5.1) foram adicionados 3,5 mL do radical ABTS e, após agitar os tubos e decorrer 6 minutos de repouso, foi feita a medição da absorvância em um espectrofotômetro (Termo Fisher Scientific, EVO300 PC, EUA). Os extratos dos PFI e dos PCP foram diluídos na proporção de 1:500 e de 1:100, respectivamente. O Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) foi utilizado como padrão antioxidante (0 - 150 mg/L) e os resultados foram expressos, em base seca, em equivalentes de Trolox ($\mu\text{mol Trolox/g}$) (RE et al., 1999).

3.4.5.1.2. Atividade antioxidante - Método DPPH

A capacidade antioxidante também foi medida pelo ensaio de descoloração com DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl), de acordo com Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995) e Bravo et al. (2013), com adaptações. A absorbância da solução etanólica de DPPH 1 mM foi ajustada, com álcool 80%, para 0,700 ($\pm 0,02$) em comprimento de onda de 515 nm. Ao extrato dos pós (0,5 mL) (item 3.4.5.1) foram adicionados 3,5 mL da solução de radical DPPH. As leituras foram realizadas em um espectrofotômetro (Termo Fisher Scientific, EVO300 PC, EUA) a cada 5 minutos, a 515 nm, até que as amostras atingissem valores constantes de absorbância (variação $\leq 0,01$). Os extratos dos PFI e dos PCP foram diluídos na proporção de 1:500 e de 1:100, respectivamente. Os resultados foram expressos, em base seca, em equivalente de Trolox ($\mu\text{mol Trolox/g}$).

3.4.5.1.3. Conteúdo fenólico total

Foi determinado utilizando o ensaio com reagente Folin-Ciocalteu. Os extratos dos PFI e dos PCP (item 3.4.5.1.) foram diluídos na proporção de 1:50 e de 1:10, respectivamente. Posteriormente, uma alíquota de 0,6 mL de cada extrato dos pós foi misturada com 3,0 mL de reagente de Folin-Ciocalteu diluído (1:10 v/v). Após 3 minutos de repouso no escuro, foram adicionados 2,4 mL de uma solução saturada de Na_2CO_3 . Após 1 hora de reação, a absorbância foi lida a 760 nm em um espectrofotômetro (Termo Fisher Scientific, EVO300 PC, EUA) (SINGLETON; ROSSI, 1965). O conteúdo fenólico total foi determinado utilizando uma curva padrão de ácido gálico (0-150 mg/L). Os resultados foram expressos, em base seca, em mg de equivalente de ácido gálico por grama de amostra.

3.4.5.2. Vitamina C

A vitamina C dos pós foi quantificada pelo método de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), seguindo as condições cromatográficas e de extração otimizadas por Campos (2006), com modificações.

3.4.5.2.1. Condições cromatográficas

Foi utilizado o equipamento CLAE Shimadzu (Shimadzu Prominence), usando coluna de fase reversa C18 Slim-pack VP-ODS Shimadzu (250 mm x 4,6 mm DI), com detector UV/visível Shimadzu (modelo SPD-20A). Os extratos dos pós foram filtrados em unidades filtrantes de 0,45 µm e as fases móveis foram filtradas em membrana de 0,22 µm. As condições de análise utilizadas foram:

- Fase móvel (em eluição isocrática): 1 mM de NaH₂PO₄ e 1 mM de EDTA, em pH 3,0 ajustado com H₃PO₄.
- Fluxo de injeção: 1 mL/min.
- Volume de injeção de 30 µL.
- Temperatura da coluna: 40 °C.
- Comprimento de onda: de 272 nm.
- Tempo de corrida: 7 minutos.

Os compostos de interesse foram identificados por comparação com o tempo de retenção do padrão comercial de ácido ascórbico P.A. (Cinética Reagentes & Soluções, Brasil). A quantificação foi realizada pela construção de curvas de calibração do padrão analítico de ácido ascórbico (0,003 – 12 mg/L; R² = 0,9993).

3.4.5.2.2. Condições de extração

Ao abrigo de luz, foram pesados cerca de 0,3 g do PFI e 1,0 g do PCP. As amostras foram colocadas em um almofariz junto com aproximadamente 15 mL de solução extratora (3% de ácido metafosfórico, 8% de ácido acético, 0,3 N de ácido sulfúrico e 1 mM de EDTA) e, com auxílio de um pistilo, foi macerada por 5 minutos. O

material foi então filtrado a vácuo em funil de büchner, utilizando-se papel de filtro, que foi lavado com 5 mL de água ultra pura. O material filtrado foi volumado para 25 mL, com água ultrapura, e, posteriormente, o extrato foi centrifugado a uma velocidade de 1789 g por 30 minutos. O sobrenadante foi armazenado em vidro âmbar a 5 °C até o momento da análise por CLAE. Antes da injeção, o material foi novamente filtrado utilizando-se unidades filtrantes de 0,45 µm.

3.4.5.3. Solubilidade

De acordo com a metodologia proposta por Eastman e Moore (1984) e adaptada por Cano-Chauca et al. (2005), com modificações, foi adicionado 0,5 g de amostra em 50 mL de água destilada sob agitação de 2000 rpm, em agitador magnético, durante 5 minutos. A solução foi colocada em tubos de ensaio apropriados e centrifugada a 3000 rpm por 5 minutos em centrífuga. Foi transferida para uma placa de Petri uma alíquota de 25 mL do sobrenadante, seguindo de secagem imediata em estufa a 105 °C até peso constante.

A solubilidade (%) foi calculada pela diferença entre a massa final do sobrenadante seco e a massa inicial da amostra, conforme Equação 5.

$$\text{Solubilidade (\%)} = \left(\frac{m_f * 2}{m_i} \right) * 100 \quad (5)$$

em que m_f é a massa da alíquota do sobrenadante (25 mL), obtida após a secagem (g), e m_i corresponde à massa inicial da amostra, em base seca, que foi incorporada a 50 mL de água destilada (g).

3.4.5.4. Teor de umidade

O teor de umidade dos pós foi determinado em estufa a 105 °C até peso constante (IAL, 2008).

3.4.6. Técnica de otimização simultânea - Função desejabilidade

A técnica de desejabilidade, proposta por Derringer e Suich (1980), foi utilizada para avaliar simultaneamente as diferentes variáveis resposta e encontrar os valores operacionais ótimos das variáveis independentes do experimento.

Inicialmente, foram especificados valores numéricos limites que determinam a importância da função para encontrar o valor médio desejado. Desta forma, cada variável resposta, y_i , foi convertida em uma função desejabilidade individual, d_i , que varia em uma faixa de $0 \leq d_i \leq 1$.

Para as variáveis que devem ser maximizadas foi utilizada a Equação 6, enquanto que para as variáveis a serem minimizadas foi utilizada a Equação 7.

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i < L_i \\ \left(\frac{y_i - L_i}{T_i - L_i}\right)^{r_i} & L_i \leq \hat{y}_i \leq T_i \\ 1 & \hat{y}_i > T_i \end{cases} \quad (6)$$

$$d_i = \begin{cases} 1 & \hat{y}_i < T_i \\ \left(\frac{U_i - y_i}{U_i - T_i}\right)^{r_i} & T_i \leq \hat{y}_i \leq U_i \\ 0 & \hat{y}_i > U_i \end{cases} \quad (7)$$

em que L_i é o valor mínimo admissível, U_i é o valor máximo admissível e T_i é o valor alvo (ótimo). Estes valores foram definidos após a obtenção dos resultados experimentais.

O valor da desejabilidade global, D , foi obtido por meio dos valores das N desejabilidades individuais (d_i), sendo calculado pela Equação 8.

$$D = \left(\prod_{i=1}^N d_i\right)^{1/N} \quad (8)$$

A condição ótima foi aquela que obteve maior valor de desejabilidade global (D).

3.5. Resultados e discussão

Primeiramente, foi estudada a influência da concentração dos agentes na formação das espumas, na cinética de secagem dos tratamentos e, por fim, nas características dos pós obtidos. De modo geral, não foi encontrado, na base consultada, trabalhos científicos que estudassem a aplicação da secagem em leito de espuma em coprodutos alimentícios e em frutos inteiros, como é proposto neste trabalho, uma vez que este método é utilizado amplamente na secagem de alimentos líquidos ou semi-sólidos, como polpas e purês.

3.5.1. Influência da concentração dos agentes na formação das espumas do fruto inteiro e do coproduto de acerola

3.5.1.1. Densidade aparente das espumas

Os modelos ajustados para a variável densidade aparente da espuma do fruto inteiro (EFI) e da espuma do coproduto (ECP) de acerola, bem como seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente densidade aparente, da EFI e da ECP.

Espuma	Modelo ajustado	R^2
Espuma do fruto inteiro (EFI)	$\hat{Y} = 0,2529 - 0,2387 x_1 + 0,1631 x_1^2 + 0,0041 x_2 + 0,0599 x_2^2 + 0,0069 x_1 x_2$	0,9363
Espuma do coproduto (ECP)	$\hat{Y} = 0,3495 - 0,2744 x_1 + 0,1784 x_1^2 + 0,0334 x_2 + 0,0629 x_2^2 + 0,0165 x_1 x_2$	0,9440

A densidade, tanto da EFI quanto da ECP, foi influenciada significativamente ($p \leq 0,05$) pelas concentrações dos agentes Emustab[®] e maltodextrina. Embora a falta de ajuste dos modelos tenha sido significativa ($p \leq 0,05$), para ambas as espumas, os mesmos foram considerados satisfatórios, uma vez que a variável dependente foi

influenciada pelas variáveis independentes e obtiveram valores elevados de coeficiente de determinação.

Nas Figuras 8 e 9 são apresentadas as superfícies de resposta da densidade da EFI e da ECP, respectivamente, onde representam o comportamento dessa variável em relação aos teores de agentes utilizados na formação das espumas.

Para a EFI, foi possível observar que menores valores de densidade podem ser obtidos com maiores teores de Emustab[®] e menores de maltodextrina. Para esta espuma, dentro da região estudada, o modelo prevê um valor mínimo de densidade de 0,1653 g/mL, que ocorreu em $x_1 = 0,7333$ e $x_2 = -0,0765$, os quais correspondem a 6,07% de Emustab[®] e 3,78% de maltodextrina, respectivamente.

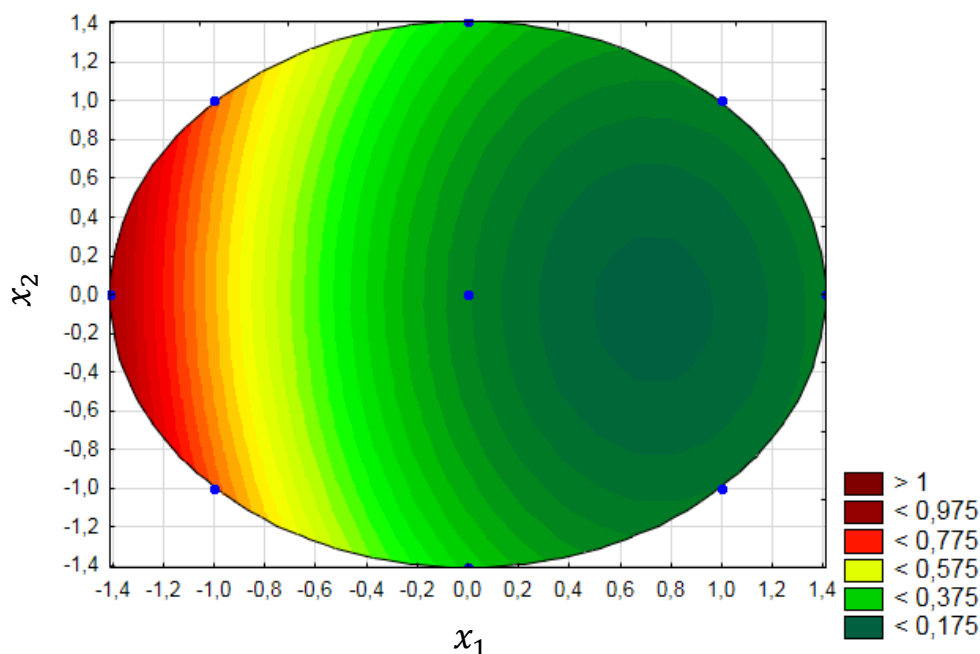


Figura 8 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente densidade, da EFI, em diferentes concentrações de Emustab[®] (x_1) e maltodextrina (x_2).

Para a ECP, nota-se que menores valores de densidade podem ser obtidos com elevados teores de Emustab[®] e teores médios de maltodextrina. Para esta espuma, dentro da região estudada, o valor mínimo previsto pelo modelo foi de 0,2423 g/mL, que ocorreu em $x_1 = 0,7614$ e $x_2 = 0,1661$, os quais correspondem a 6,15% de Emustab[®] e 4,47% de maltodextrina, respectivamente.

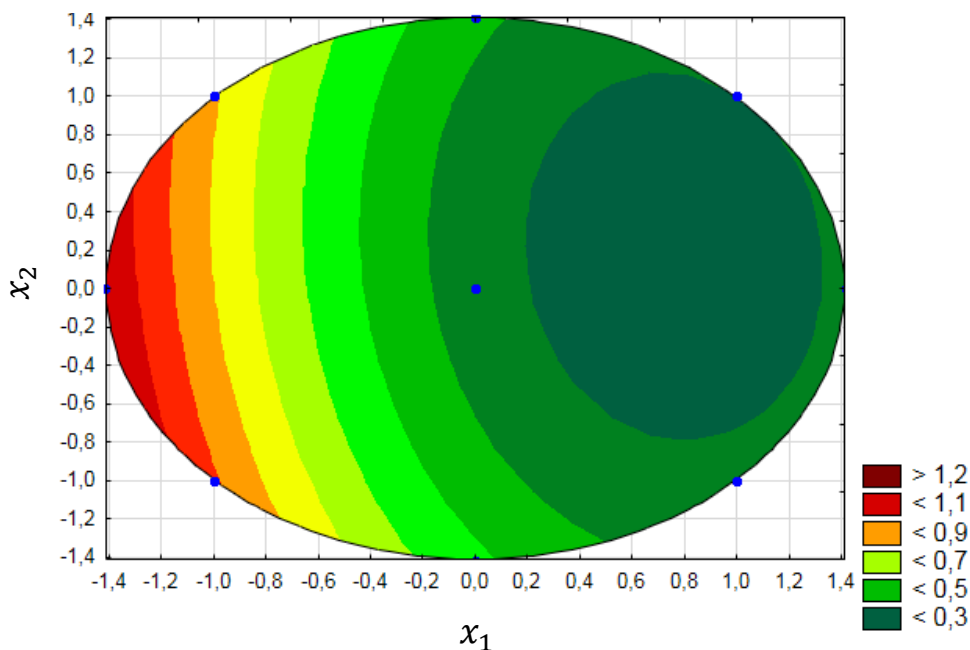


Figura 9 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente densidade, da ECP, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

Os valores mínimos previstos pelos modelos (0,1653 e 0,2423, para EFI e ECP, respectivamente) se encontram dentro do intervalo ideal de densidade de espuma para pós, que vai de 0,1 a 0,6 g/mL (VAN ARSDEL; COPLEY, 1964).

Quanto menor a densidade, mais ar é incorporado no interior da estrutura, fazendo com que ocorra uma expansão do volume da espuma, a qual pode acelerar o movimento de remoção de água durante a secagem uma vez que aumenta a área de superfície do ar de secagem e, conseqüentemente, pode afetar positivamente a estabilidade e a eficiência do processo (NG; SULAIMAN, 2018; DEGHANNYA et al., 2018). Além disso, a incorporação de agentes espumantes aumenta a dispersibilidade do produto em pó na água o que é importante para muitas aplicações comerciais (GHARSALLAOUI et al., 2007).

3.5.1.2. Volume de coalescência

Os modelos ajustados para a variável volume de coalescência da EFI e da ECP, bem como seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), são apresentados na

Tabela 4.

Tabela 4 - Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente volume de coalescência, da EFI e da ECP.

Espuma	Modelo ajustado	R^2
Espuma do fruto inteiro (EFI)	$\hat{Y} = 5,2934 - 0,1114 x_1 - 1,4090 x_1^2 + 0,0233 x_2 + 1,7595 x_2^2 - 0,4428 x_1 x_2$	0,8015
Espuma do coproduto (ECP)	$\hat{Y} = 1,1085 + 0,1412 x_1 + 0,0850 x_1^2 + 0,1552 x_2 + 0,6398 x_2^2 + 0,5717 x_1 x_2$	0,6449

As concentrações dos agentes exerceram influência significativa ($p \leq 0,05$) no volume de coalescência da EFI e da ECP. Embora a falta de ajuste dos modelos tenha sido significativa ($p \leq 0,05$), para ambas as espumas, os mesmos foram considerados satisfatórios, pois a variável dependente foi influenciada pelas concentrações dos agentes e porque obtiveram valores aceitáveis de coeficiente de determinação.

Ao observar a Figura 10, nota-se que percentuais menores de volume de coalescência são obtidos quando valores médios de maltodextrina são associados a valores mínimos ou máximos de Emustab[®] para produzirem a EFI. Para esta espuma, dentro da região estudada, o modelo prevê um valor mínimo de volume de coalescência de 2,34%, que ocorreu em $x_1 = 1,4142$ e $x_2 = 0$, os quais correspondem a 8,00% de Emustab[®] e 4,00% de maltodextrina, respectivamente.

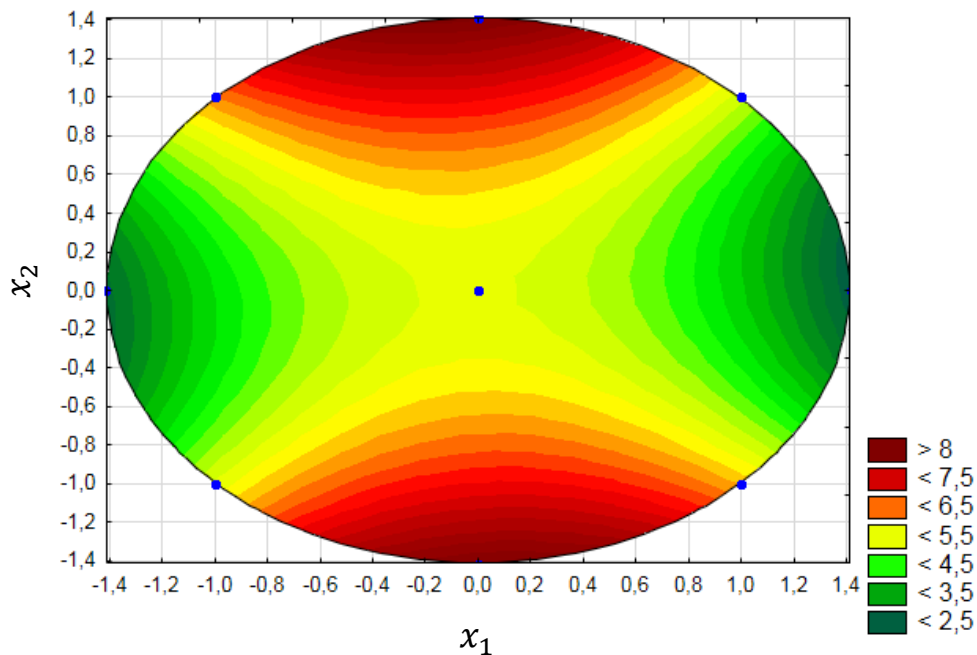


Figura 10 - Gráfico de superfície resposta da variável dependente volume de coalescência, da EFI, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

Na formação da EFI, observa-se que, dentro da região estudada, o modelo previsto indicou um ponto de sela. Neste caso, podem-se obter, ao mesmo tempo, pontos de máximo e de mínimo que representam uma situação de difícil solução e aplicação prática e que dificulta a interpretação dos resultados, necessitando de soluções alternativas que possam minimizar a ocorrência de pontos de sela (CONAGIN et al., 1999; LIMA, 2006).

Nas ECP, observa-se que a concentração de maltodextrina exerceu uma influência maior no volume de coalescência do que a concentração de Emustab®, conforme Figura 11. O valor mínimo previsto pelo modelo para esta resposta foi de 0,93%, que ocorreu em $x_1 = -1,3576$ e $x_2 = 0,3960$, os quais correspondem, respectivamente, a 0,16% de Emustab® e 5,12% de maltodextrina.

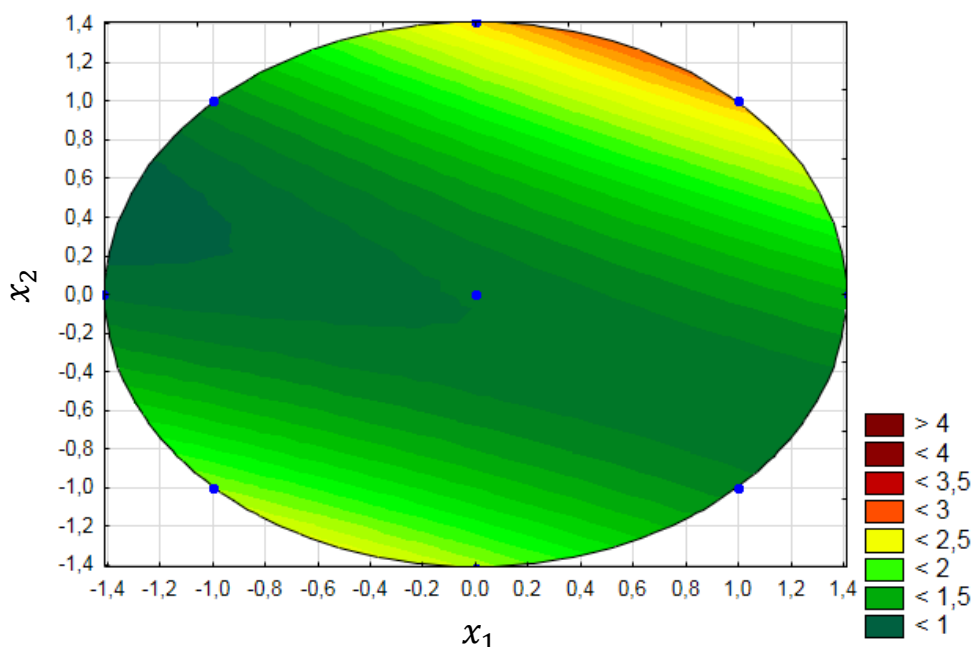


Figura 11 - Gráfico de superfície resposta da variável dependente volume de coalescência, da ECP, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

Considerando que a estabilidade é o atributo físico de maior importância na avaliação da qualidade da espuma, menores valores de volume de coalescência são necessários, pois se a espuma não permanecer estável durante o processo de secagem, ocorre colapso celular, o que acarreta em maior tempo de secagem, dificuldade de remoção do material das bandejas e efeitos negativos na qualidade final do produto (KARIM; WAI, 1999; MUTHUKUMARAN et al., 2008; ABBASI; AZIZPOUR, 2016).

3.5.2. Cinética e tempo de secagem das espumas do fruto inteiro e do coproduto de acerola

3.5.2.1. Descrição da cinética de secagem das espumas

Na secagem de cada um dos tratamentos com as diferentes concentrações de agentes propostos pelo DCCR, tanto para a EFI quanto para a ECP, foram obtidas curvas de secagem na temperatura de 60 °C e foi realizado ajuste de modelos

matemáticos para predizerem o comportamento das espumas ao longo de suas respectivas secagens.

Na Figura 12 são apresentadas as curvas simuladas pelos modelos para a secagem da EFI e na Tabela 5 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados e os indicadores estatísticos coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) para cada um desses modelos, em cada tratamento testado.

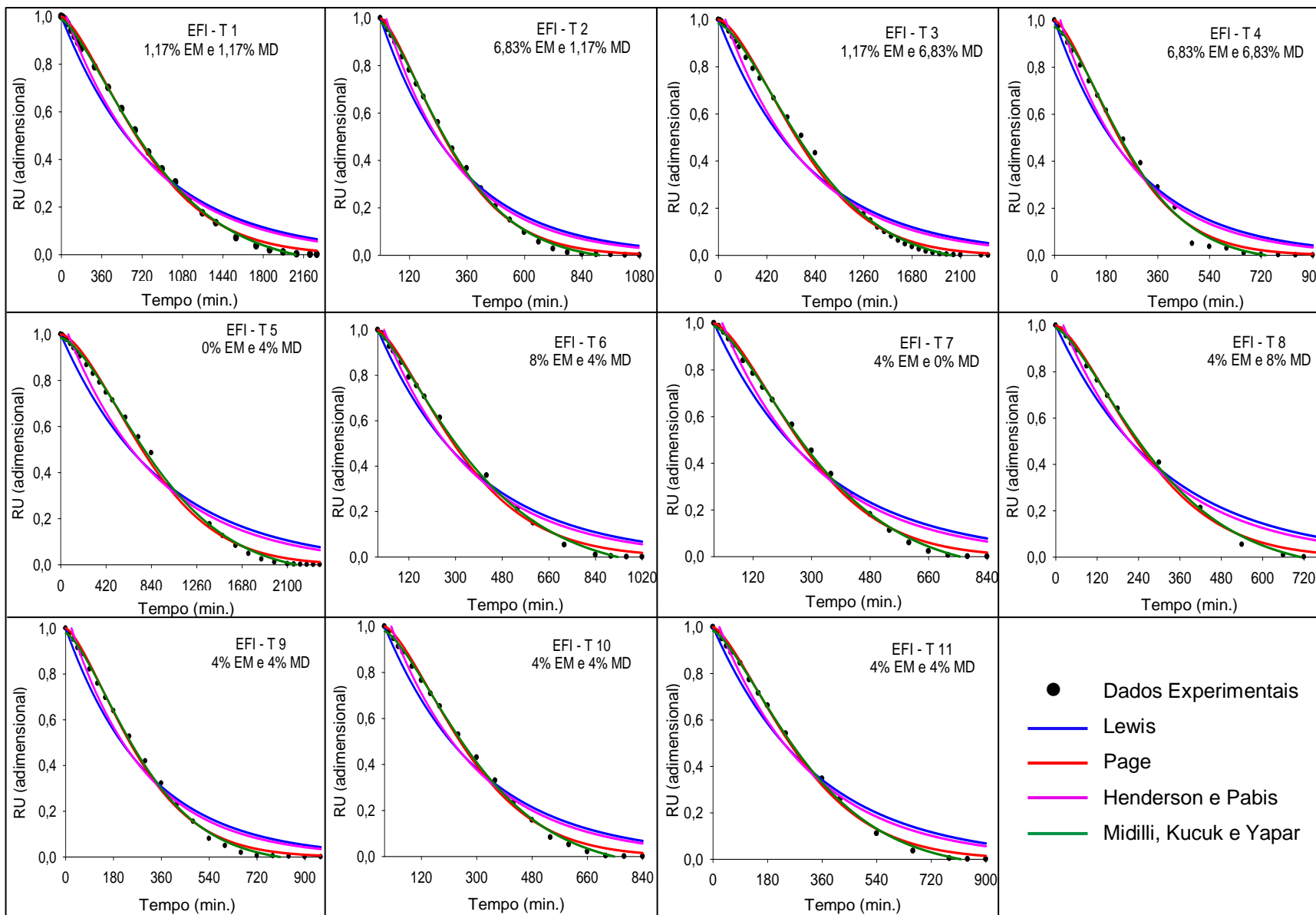


Figura 12 – Curvas de secagem em leito de espuma da espuma do fruto inteiro de acerola, a 60 °C, em diferentes concentrações de agentes.

Tabela 5 - Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) dos modelos testados na secagem da EFI em diferentes concentrações de agentes.

T 1 – 1,17% EM e 1,17% MD						
Modelo	Parâmetros				R_{adj}^2	S
	k	a	b	n		
Lewis	0,0012	-	-	-	0,9800	0,0586
Page	0,0001	-	-	1,3959	0,9976	0,0201
Henderson e Pabis	0,0013	1,0573	-	-	0,9857	0,0496
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0001	0,9912	-0,00002	1,3589	0,9989	0,0139
T 2 – 6,83% EM e 1,17% MD						
Lewis	0,0030	-	-	-	0,9740	0,0626
Page	0,0003	-	-	1,4178	0,9979	0,0176
Henderson e Pabis	0,0033	1,0805	-	-	0,9816	0,0528
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0002	-0,00002	1,4227	0,9832	0,9989	0,0130
T 3 – 1,17% EM e 6,83% MD						
Lewis	0,0013	-	-	-	0,9652	0,0766
Page	0,0766	-	-	1,5551	0,9970	0,0225
Henderson e Pabis	0,0014	1,0871	-	-	0,9744	0,0657
Midilli, Kucuk e Yapar	0,00003	0,9835	-0,00002	1,5256	0,9985	0,0162
T 4 – 6,83% EM e 6,83% MD						
Lewis	0,0035	-	-	-	0,9657	0,0728
Page	0,0002	-	-	1,4676	0,9938	0,0310
Henderson e Pabis	0,0039	1,0817	-	-	0,9731	0,0645
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0002	0,9705	1,5216	-0,00003	0,9951	0,0274
T 5 – 0% EM e 4% MD						
Lewis	0,0011	-	-	-	0,9585	0,0859
Page	0,00002	-	-	1,6032	0,9974	0,0216
Henderson e Pabis	0,0012	1,0862	-	-	0,9691	0,0742
Midilli, Kucuk e Yapar	0,00002	0,9843	-0,00002	1,5664	0,9989	0,0143
T 6 – 8% EM e 4% MD						
Lewis	0,0026	-	-	-	0,9719	0,0679
Page	0,0002	-	-	1,4003	0,9963	0,0245
Henderson e Pabis	0,0029	1,0721	-	-	0,9793	0,0583
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0003	0,9885	1,3391	-0,0001	0,9984	0,0160
T 7 – 4% EM e 0% MD						
Lewis	0,0030	-	-	-	0,9605	0,0767
Page	0,0002	-	-	1,5073	0,9963	0,0234
Henderson e Pabis	0,0034	1,0897	-	-	0,9714	0,0653
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0002	0,9876	1,4450	-0,0001	0,9985	0,0148

T 8 – 4% EM e 8% MD						
Lewis	0,0032	-	-	-	0,9631	0,0768
Page	0,0002	-	-	1,4782	0,9965	0,0235
Henderson e Pabis	0,0036	1,0811	-	-	0,9729	0,0658
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0003	0,9884	-0,0001	1,4297	0,9983	0,0167
T 9 – 4% EM e 4% MD						
Lewis	0,0033	-	-	-	0,9704	0,0672
Page	0,0003	-	-	1,4417	0,9968	0,0221
Henderson e Pabis	0,0036	1,0814	-	-	0,9781	0,0578
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0002	0,9784	-0,00003	1,4596	0,9980	0,0173
T 10 – 4% EM e 4% MD						
Lewis	0,0032	-	-	-	0,9655	0,0714
Page	0,0002	-	-	1,4598	0,9960	0,0244
Henderson e Pabis	0,0035	1,0797	-	-	0,9737	0,0623
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0002	0,9791	1,4384	-0,0001	0,9983	0,0159
T 11 – 4% EM e 4% MD						
Lewis	0,0030	-	-	-	0,9705	0,0673
Page	0,0003	-	-	1,4220	0,9973	0,0203
Henderson e Pabis	0,0033	1,0722	-	-	0,9781	0,0580
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0003	0,9843	1,4063	-0,00004	0,9988	0,0134

Ao observar a Figura 12, nota-se que visualmente os modelos de Page e de Midilli, Kucuk e Yapar se ajustam melhor aos dados experimentais, comparado aos demais. Ao analisar a Tabela 5, é possível confirmar que o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar se ajustou de forma mais satisfatória aos dados, uma vez que apresentou valores maiores de R_{adj}^2 e menores de S para todas as concentrações de Emustab® e maltodextrina das EFI testadas. Além disso, esse modelo explicou, para todos os tratamentos, mais de 99% da variação no processo de secagem em leito de espuma do fruto inteiro de acerola.

Na Figura 13 são apresentadas as curvas simuladas pelos modelos para a secagem da ECP e na Tabela 6 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados e os indicadores estatísticos coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) para cada um desses modelos, em cada tratamento testado.

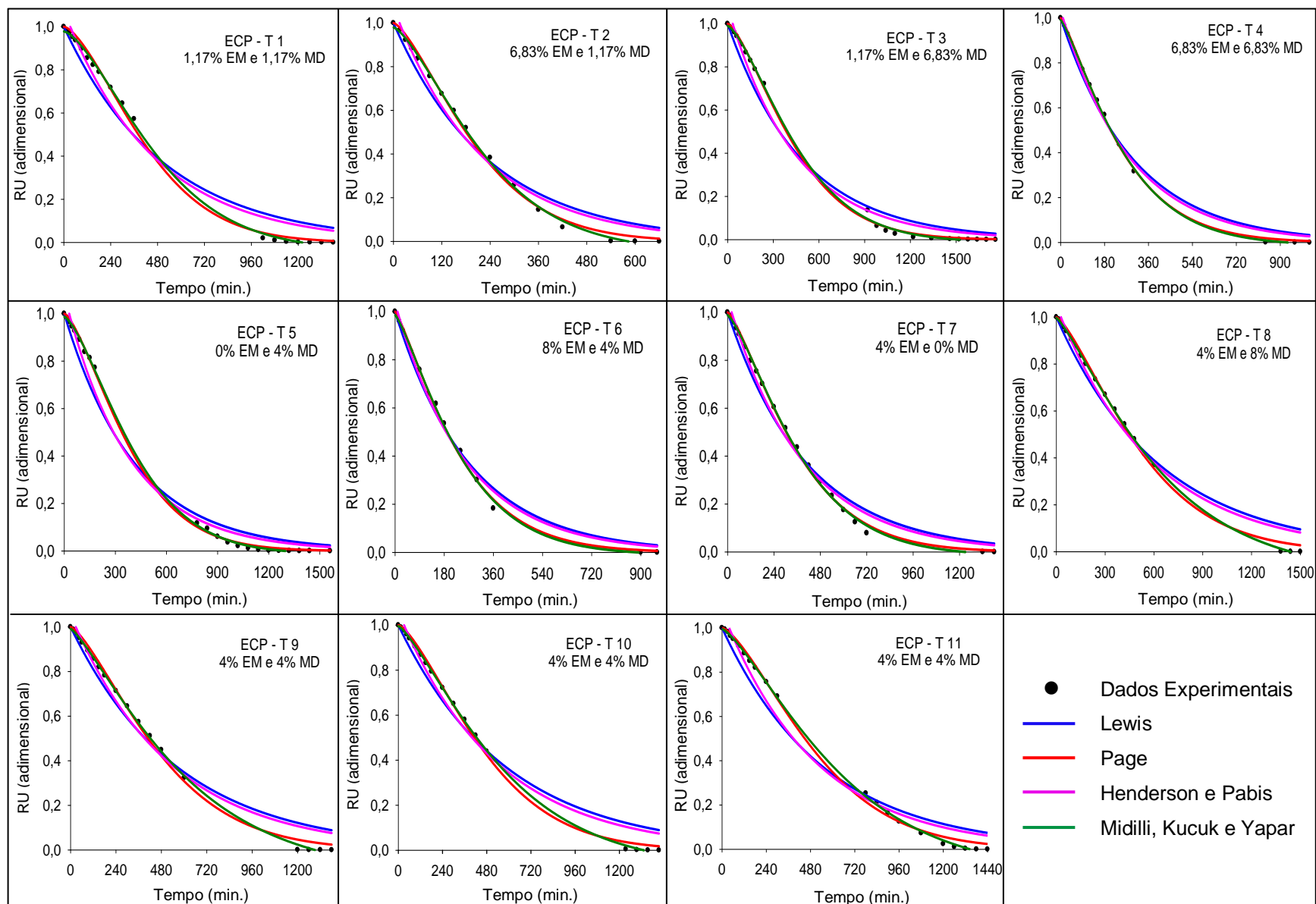


Figura 13 – Curvas de secagem em leito de espuma da espuma do coproduto de acerola, a 60 °C, em diferentes concentrações de agentes.

Tabela 6 - Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) dos modelos testados na secagem da ECP em diferentes concentrações de agentes.

T 1 - 1,17% EM e 1,17% MD						
Modelo	Parâmetros				R_{adj}^2	S
	k	a	b	n		
Lewis	0,0020	-	-	-	0,9667	0,0786
Page	0,0001	-	-	1,5256	0,9972	0,0229
Henderson e Pabis	0,0022	1,0741	-	-	0,9742	0,0692
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0001	0,9779	-0,00002	1,5135	0,9987	0,0155
T 2 - 6,83% EM e 1,17% MD						
Lewis	0,0042	-	-	-	0,9698	0,0658
Page	0,0004	-	-	1,4148	0,9963	0,0232
Henderson e Pabis	0,0046	1,0721	-	-	0,9766	0,0579
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0004	0,9795	-0,0001	1,4180	0,9980	0,0171
T 3 - 1,17% EM e 6,83% MD						
Lewis	0,0020	-	-	-	0,9802	0,0633
Page	0,0001	-	-	1,4207	0,9990	0,0144
Henderson e Pabis	0,0023	1,0778	-	-	0,9872	0,0510
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0001	0,9897	-0,00001	1,4339	0,9991	0,0133
T 4 - 6,83% EM e 6,83% MD						
Lewis	0,0033	-	-	-	0,9919	0,0332
Page	0,0010	-	-	1,2332	0,9991	0,0110
Henderson e Pabis	0,0036	1,0356	-	-	0,9939	0,0287
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0009	0,9903	-0,00001	1,2491	0,9994	0,0091
T 5 - 0% EM e 4% MD						
Lewis	0,0024	-	-	-	0,9800	0,0630
Page	0,0002	-	-	1,4273	0,9993	0,0121
Henderson e Pabis	0,0027	1,0811	-	-	0,9871	0,0506
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0001	0,9863	-0,00001	1,4490	0,9996	0,0092
T 6 - 8% EM e 4% MD						
Lewis	0,0037	-	-	-	0,9895	0,0355
Page	0,0011	-	-	1,2242	0,99751	0,0172
Henderson e Pabis	0,0039	1,0358	-	-	0,9916	0,0318
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0009	0,9855	-0,00001	1,2643	0,99754	0,0172
T 7 - 4% EM e 0% MD						
Lewis	0,0024	-	-	-	0,9821	0,0477
Page	0,0004	-	-	1,3134	0,9984	0,0142
Henderson e Pabis	0,0026	1,0574	-	-	0,9879	0,0393
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0003	0,9882	-0,00001	1,3381	0,9987	0,0130

T 8 - 4% EM e 8% MD						
Lewis	0,0016	-	-	-	0,9764	0,0530
Page	0,0002	-	-	1,3577	0,9972	0,0184
Henderson e Pabis	0,0017	1,0499	-	-	0,9820	0,0463
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0003	0,9964	-0,00004	1,2527	0,9997	0,0061
T 9 - 4% EM e 4% MD						
Lewis	0,0018	-	-	-	0,9733	0,0606
Page	0,0002	-	-	1,3837	0,9959	0,0237
Henderson e Pabis	0,0019	1,0542	-	-	0,9787	0,0542
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0003	0,9920	-0,0001	1,2633	0,9992	0,0105
T 10 - 4% EM e 4% MD						
Lewis	0,0017	-	-	-	0,9725	0,0627
Page	0,0001	-	-	1,4262	0,9978	0,0179
Henderson e Pabis	0,0019	1,0603	-	-	0,9795	0,0542
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0002	0,9958	-0,00004	1,3092	0,9996	0,0075
T 11 - 4% EM e 4% MD						
Lewis	0,0018	-	-	-	0,9710	0,0721
Page	0,0001	-	-	1,4443	0,9974	0,0217
Henderson e Pabis	0,0020	1,0801	-	-	0,9804	0,0593
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0002	0,9954	-0,0001	1,3425	0,9995	0,0099

Assim como para a EFI, ao observar a Figura 13, nota-se que os modelos de Page e de Midilli, Kucuk e Yapar se ajustam melhor aos dados experimentais, comparado aos demais. Ao analisar a Tabela 6, é possível confirmar que o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar se ajustou de forma mais satisfatória aos dados, uma vez que apresentou valores maiores de R_{adj}^2 e menores de S para todas as concentrações de Emustab® e maltodextrina das ECP testadas. Além disso, o referido modelo explicou, para todos os tratamentos, mais de 99% da variação no processo de secagem em leite de espuma do coproduto da acerola.

Silva e seus colaboradores (2008), ao secarem a polpa de tamarindo em leite de espuma, observaram que o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar também apresentou superioridade em relação ao modelo Page.

No entanto, embora o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar seja o melhor para descrever a cinética de secagem da EFI e da ECP, os demais modelos ajustados podem ser utilizados para estimar suas curvas de secagem, uma vez que

apresentaram, em ambos os pós, coeficiente de determinação superior a 98% e erro padrão da regressão menor que 0,08.

3.5.2.2. Estimativa do tempo de secagem das espumas

Para estimar o tempo de secagem das EFI e das ECP em detrimento das concentrações dos agentes utilizados, considerou-se o tempo no qual a razão de umidade atingiu o valor de equilíbrio, ou seja, razão de umidade igual a zero. Uma vez escolhido o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar, tem-se uma equação não linear, conforme Equação 9.

$$a e^{-k t_s^n} + b t_s = 0 \quad (9)$$

Para ambas as espumas, para calcular o tempo de secagem utilizou-se o método de Newton com tolerância de 10^{-5} . O número máximo de interações necessárias para a convergência dos valores foi 6.

A partir dos resultados obtidos do tempo de secagem das duas espumas, ajustaram-se os modelos matemáticos (Tabela 7) para relacionar o tempo de secagem com as concentrações dos agentes utilizados.

Tabela 7 - Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente tempo de secagem, da EFI e da ECP, em função de diferentes concentrações de agentes.

Espuma	Modelo ajustado	R^2
Espuma do fruto inteiro (EFI)	$\hat{Y} = 789,648 - 524,580 x_1 + 462,981 x_1^2 - 61,193 x_2 + 46,919 x_2^2 - 67,040 x_1 x_2$	0,9335
Espuma do coproduto (ECP)	$\hat{Y} = 1325,558 - 311,176 x_1 - 91,601 x_1^2 + 140,028 x_2 - 23,991 x_2^2 - 56,756 x_1 x_2$	0,8461

As concentrações dos agentes influenciaram significativamente ($p \leq 0,05$) o tempo de secagem de ambas as espumas. Para a EFI a falta de ajuste do modelo foi

significativa ($p \leq 0,05$), enquanto que para a ECP a mesma foi não significativa ($p > 0,05$). Embora a falta de ajuste tenha sido significativa para a EFI, os mesmos foram considerados satisfatórios, uma vez que a variável resposta foi influenciada pelas variáveis independentes e obtiveram valores elevados de coeficiente de determinação.

Na Figura 14 é representado o comportamento do tempo de secagem frente às variações nos teores dos agentes por meio das superfícies de resposta da EFI. Pode-se observar que altos percentuais de Emustab® e maltodextrina possibilitam uma secagem com menor tempo.

Para a EFI, dentro da região estudada, o modelo prevê um valor mínimo de tempo de secagem de 586,07 minutos, que ocorreu em $x_1 = 0,6508$ e $x_2 = 1,1231$, os quais correspondem a 5,84% de Emustab® e 7,17% de maltodextrina, respectivamente.

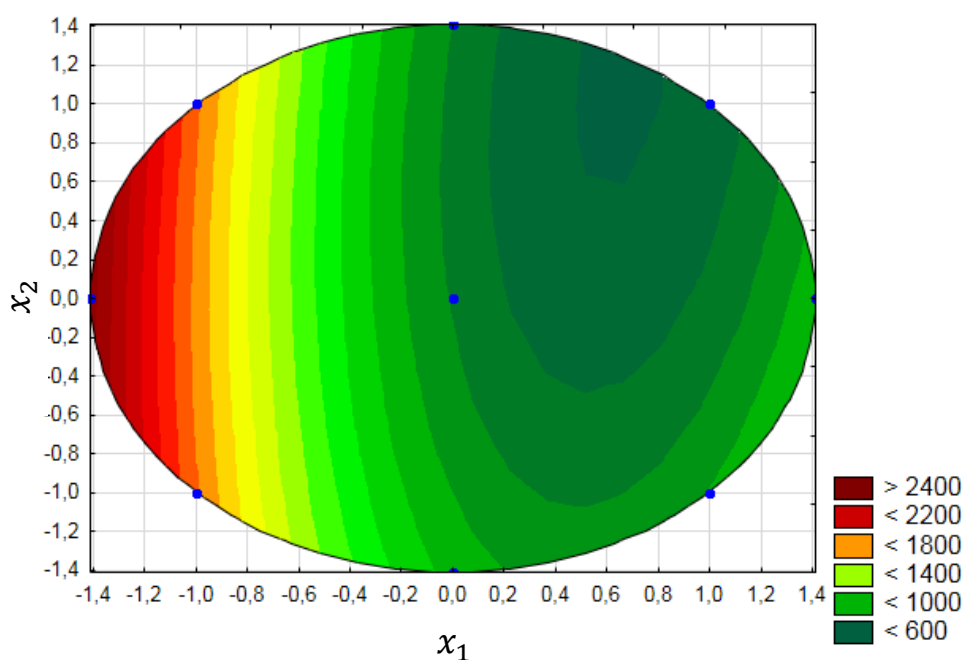


Figura 14 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente tempo de secagem, da EFI, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

Na Figura 15 é representado o comportamento do tempo de secagem frente às variações nos teores dos agentes por meio das superfícies de resposta da ECP. O modelo previu que menores tempos de secagem são alcançados com concentrações elevada Emustab® e baixa de maltodextrina.

Para a ECP, dentro da região estudada, o valor mínimo de tempo de secagem foi de 701,17 minutos, que ocorreu em $x_1 = 1,3859$ e $x_2 = -0,2545$, os quais correspondem a 7,91% de Emustab® e 3,28% de maltodextrina, respectivamente.

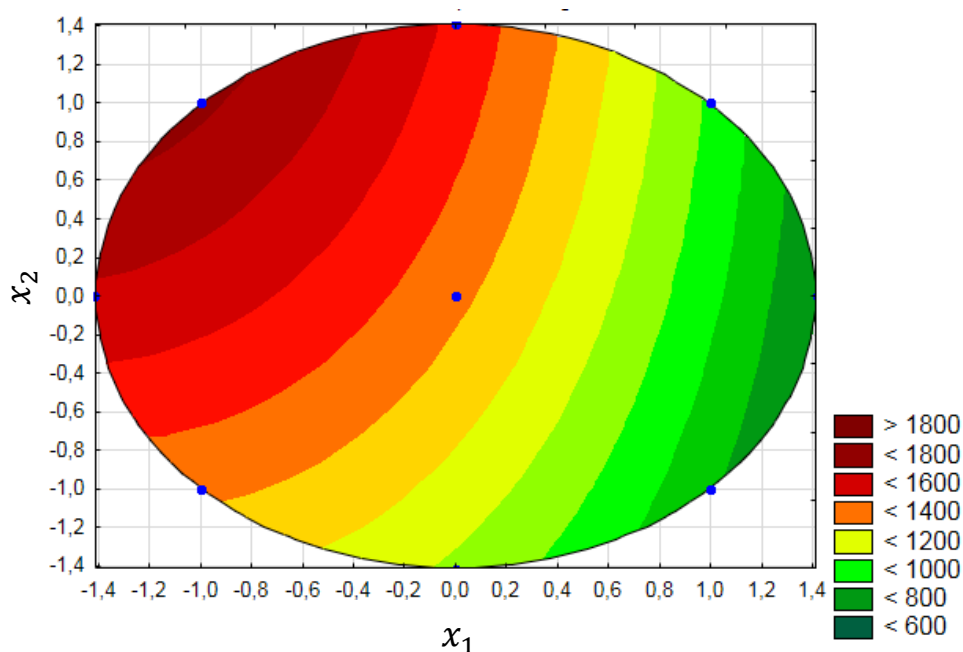


Figura 15 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente tempo de secagem, da ECP, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

O Emustab® pode reduzir o tempo de secagem pelo fato de que na sua composição estão presentes compostos emulsificantes e estabilizantes, que favorecem a formação de uma estrutura porosa que aumenta a área superficial de troca de calor e massa, proporcionando o aumento das taxas de transferência. Além disso, a maltodextrina também pode possibilitar reduções significativas nesta resposta, dependendo da matriz alimentar e das condições da secagem, como da temperatura de processo (EKPONG; PHOMKONG; ONSAARD, 2016).

3.5.3. Caracterização dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola

3.5.3.1. Atividade antioxidante

Para avaliar a capacidade antioxidante, faz-se necessário extrair o máximo de compostos antioxidantes. No entanto, essa extração pode ser influenciada por diversos fatores, tais como: tipos de solvente, tempo de extração, temperatura, pH, proporção sólido-líquido e tamanho das partículas (MELO et al., 2008).

Além desses fatores, o método de determinação da atividade antioxidante também pode ser crucial na quantificação. Atualmente, não existe um método oficial para a determinação desses compostos em alimentos de origem vegetal e seus subprodutos, tendo em vista os vários mecanismos antioxidantes que podem ocorrer, bem como a diversidade de compostos bioativos. Contudo, os estudos que visam avaliar propriedades antioxidantes de extratos vegetais devem utilizar mais de uma metodologia para inferir, com maior segurança, se os extratos analisados poderão apresentar alguma atividade em combater os radicais livres formados no interior do organismo humano (SOUSA et al., 2011).

Dentre os métodos descritos pela literatura, recebe destaque os que utilizam os radicais ABTS⁺ e DPPH.

3.5.3.1.1. Método ABTS

Para o pó do fruto inteiro (PFI) e para o pó de coproduto (PCP) de acerola, as concentrações dos agentes não influenciaram significativamente ($p > 0,05$) na atividade antioxidante quantificada pelo método ABTS. Com isso, não foi ajustado nenhum modelo. Os PFI e os PCP apresentaram uma média de atividade antioxidante de 185,39 $\mu\text{mol Trolox/g}$ e 59,83 $\mu\text{mol Trolox/g}$, respectivamente.

Os PCP obtiveram menor atividade antioxidante pelo método ABTS, uma vez que no processo de despulpamento da fruta parte dos compostos antioxidantes são carregados pela polpa.

3.5.3.1.2. Método DPPH

A atividade antioxidante quantificada pelo método DPPH não foi influenciada significativamente ($p > 0,05$) pelas concentrações dos agentes testados na produção dos PFI e, conseqüentemente, não foi ajustado nenhum modelo. Os PFI apresentaram uma média de atividade antioxidante de 145,61 $\mu\text{mol Trolox/g}$.

Para o PCP, as concentrações dos agentes exerceram efeito significativo ($p \leq 0,05$) na atividade antioxidante. A falta de ajuste do modelo foi não significativa ($p > 0,05$) e o mesmo apresentou um coeficiente de determinação de 0,9179, o que permite concluir que o modelo (Equação 10) explica adequadamente o comportamento dessa variável resposta nas diferentes concentrações de agentes estudadas.

$$\hat{Y} = 39,2259 + 6,4471 x_1 + 13,1540 x_1^2 + 0,6563 x_2 - 1,5734 x_2^2 - 1,9155 x_1 x_2 \quad (10)$$

Tal comportamento é representado na Figura 16, onde nota-se que quanto maior o percentual de Emustab[®] maior a atividade antioxidante dos pós. O valor máximo de atividade antioxidante foi de 74,65 $\mu\text{mol Trolox/g}$, que ocorreu em $x_1 = 1,4142$ e $x_2 = -1,1727$, os quais correspondem a 8% de Emustab[®] e 0,68% de maltodextrina, respectivamente. Dentro da região estudada, foi previsto pelo modelo um ponto de sela na atividade antioxidante. Este valor foi superior ao de coprodutos liofilizados, como do abacaxi (5,63 $\mu\text{mol Trolox/g}$) e do caju (68,60 $\mu\text{mol Trolox/g}$) (INFANTE et al., 2013).

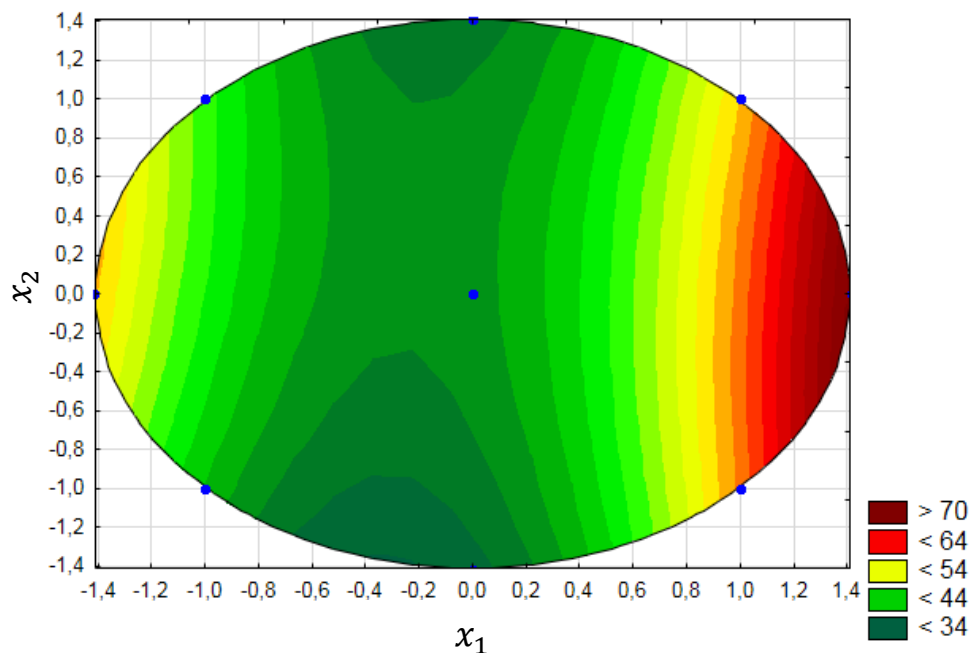


Figura 16 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente atividade antioxidante (DPPH), do PCP, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

Ao se escolher os métodos para determinar a atividade antioxidante de materiais vegetais, deve-se levar em consideração alguns pontos. Primeiro, que cada um dos métodos fornece apenas uma estimativa da capacidade antioxidante da amostra, e que ela depende do tempo de reação, do método usado e da complexidade da cinética da reação. Segundo, que o potencial de interação/polimerização dos compostos fenólicos pode subestimar a sua real capacidade. Logo, a utilização de pelo menos dois métodos irá fornecer a oportunidade de identificar variações na resposta, que poderiam ser perdidas (OZGEN et al., 2006).

O método ABTS é estável e apresenta uma boa opção para combinação com outros métodos, como o DPPH, embora apresentem algumas diferenças (OZGEN et al., 2006). O radical ABTS apresenta a vantagem de possuir alta reatividade, o que lhe confere a capacidade de reagir com uma ampla gama de antioxidantes, enquanto que o radical DPPH, devido à sua maior estabilidade e menor reatividade, fornece valores mais baixos relacionados ao Trolox (ZHAO et al., 2008; FLOEGEL et al., 2011; MAREČEK et al., 2017), como foi observado no presente trabalho. Além disso, o radical DPPH reage com polifenóis, mas não com os ácidos fenólicos

e açúcares (MAREČEK et al., 2017).

3.5.3.2. Conteúdo fenólico total

Para ambos os pós, as concentrações dos agentes não influenciaram significativamente ($p > 0,05$) nos compostos fenólicos totais. Com isso, não foi ajustado nenhum modelo. O conteúdo médio de compostos fenólicos do PFI e o PCP foram de 25,73 mgAGE/g e 8,54 mgAGE/g, respectivamente.

Sousa e seus colaboradores (2011), ao quantificarem o conteúdo fenólico total *in vitro* de extrato hidroalcoólico (80%) de resíduo úmido de acerola, identificaram o teor de 279,99 mgGAE/100g. Este valor é inferior ao encontrado neste trabalho para o PCP, o que demonstra que o processo de remoção da água, ocasionado pela secagem, pode ter concentrado os compostos bioativos presentes nos extratos.

Além disso, embora não tenha sido identificada influência significativa ($p \leq 0,05$) das concentrações dos agentes no conteúdo fenólico dos pós, sabe-se que os agentes carreadores utilizados na secagem em camada de espuma podem auxiliar na proteção dos compostos bioativos (PAULA, 2015). Este mesmo autor, ao avaliar o comportamento dos compostos bioativos do extrato etanólico da mangaba *in natura* (60,4 mgAGE/100g) e desidratada em leito de espuma (237,33 mgAGE/100g), observou maior teor de compostos fenólicos totais nas amostras secas.

3.5.3.3. Vitamina C

Os modelos ajustados para a variável vitamina C dos PFI e dos PCP, bem como seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente vitamina C, dos PFI e dos PCP.

Pós	Modelo ajustado	R^2
Pó do fruto inteiro (PFI)	$\hat{Y} = 742,274 - 331,040 x_1 + 104,488 x_1^2 - 88,056 x_2 - 127,729 x_2^2 + 28,570 x_1 x_2$	0,8589
Pó do coproduto (PCP)	$\hat{Y} = 6,9228 - 72,4477 x_1 + 71,4959 x_1^2 + 21,6251 x_2 + 5,2645 x_2^2 - 41,6655 x_1 x_2$	0,9288

O teor de vitamina C, tanto do PFI quanto do PCP, foi influenciado significativamente ($p \leq 0,05$) pelas concentrações dos agentes Emustab[®] e maltodextrina. Para o PFI a falta de ajuste do modelo foi não significativa ($p > 0,05$), enquanto que para o PCP a mesma foi significativa ($p \leq 0,05$). Embora a falta de ajuste tenha sido significativa para este último, os modelos foram considerados satisfatórios, uma vez que a variável resposta foi influenciada pelas concentrações dos agentes e obtiveram valores elevados de coeficiente de determinação.

Nas Figuras 17 e 18 são apresentadas as superfícies de resposta da vitamina C do PFI e do PCP, respectivamente. Para ambos os pós, foi possível observar que não existe um ponto crítico dentro da região estudada. Nota-se que quanto menor o teor de Emustab[®] maior tende a ser o conteúdo de vitamina C dos pós.

Para o PFI, dentro da região estudada, o modelo prevê um valor máximo de vitamina C igual a 1.426,49 mg/100g, que ocorreu em $x_1 = -1,3859$ e $x_2 = -0,2545$, os quais correspondem a 0,08% de Emustab[®] e 3,28% de maltodextrina, respectivamente.

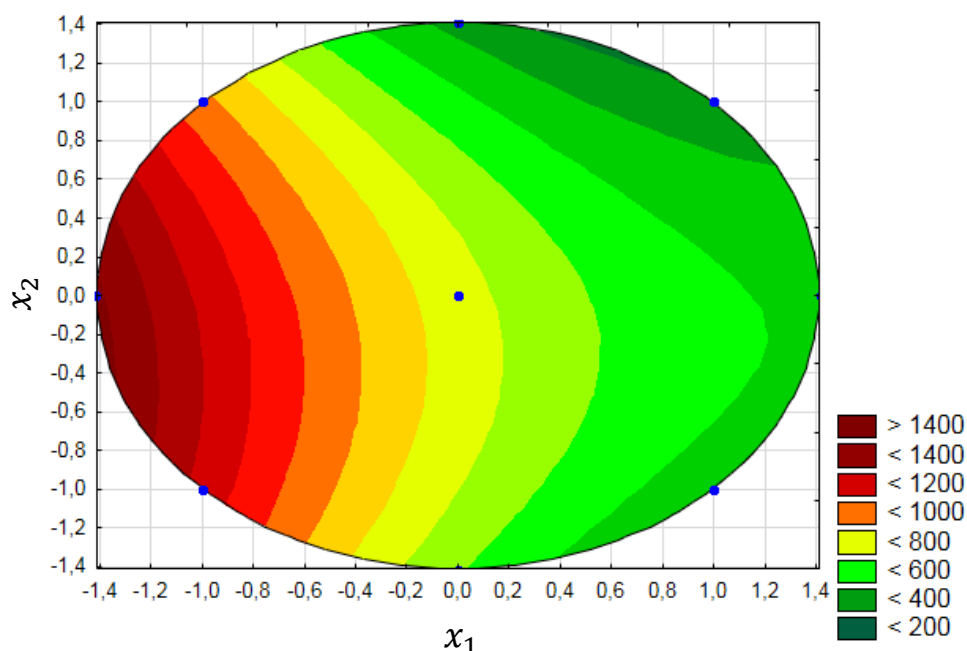


Figura 17 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente vitamina C, do PFI, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

Para o PCP, dentro da região estudada, o valor máximo previsto pelo modelo foi de 268,85 mg/100g, que ocorreu em $x_1 = -1,3576$ e $x_2 = 0,3960$, os quais correspondem a 0,16% de Emustab® e 5,12% de maltodextrina. O valor mínimo previsto foi de -11,3479 mg/100g, que ocorreu em $x_1 = 0,5998$ e $x_2 = 0,3196$, os quais correspondem a 5,7094% de Emustab® e 4,95% de maltodextrina, respectivamente. O valor negativo previsto pelo modelo demonstra que alguns tratamentos obtiveram valores muito baixos de vitamina C, como pode ser observado ao analisar a faixa verde mais escura no gráfico. Este resultado permite considerar que, dentro da região estudada, o teor desta vitamina é praticamente zero, uma vez que não existe teor negativo de vitamina C.

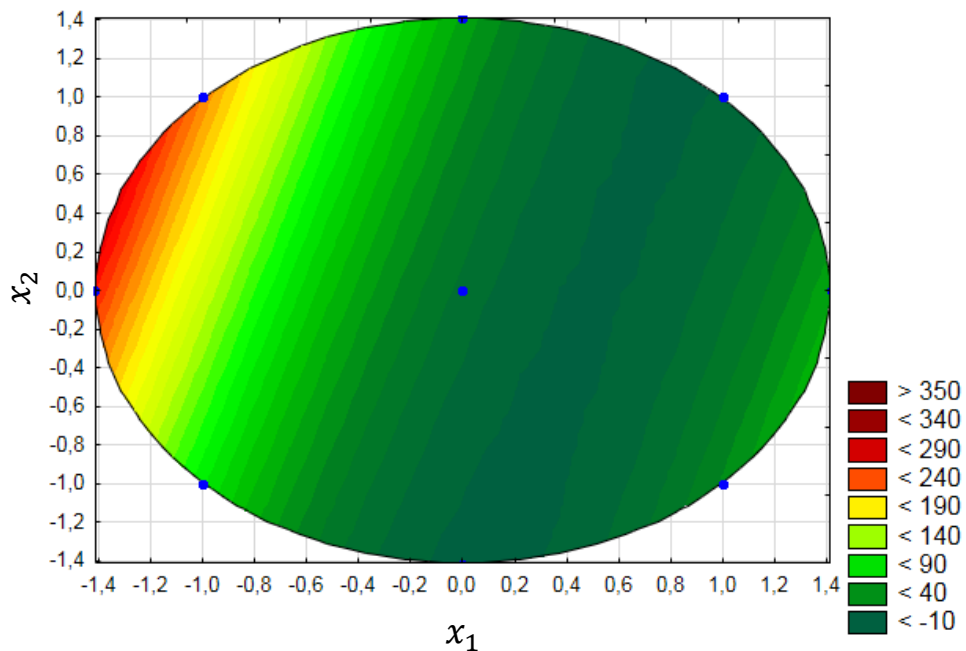


Figura 18 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente vitamina C, do PCP, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

Observa-se que, em ambos os pós, os modelos previram que teores máximos de vitamina C são alcançados com a utilização de percentuais de maltodextrina próximos ao ponto central (4%), sugerindo que a mesma esteja exercendo efeito protetor nesta vitamina, fato este já observado em outros trabalhos (RIGHETTO, 2003; DIONIZIO, 2017). As concentrações previstas para este agente estão relacionadas ao fato de que ele contribui com o teor de sólidos dos pós obtidos, apresentando efeito diluidor, e, portanto, o modelo acabou não atribuindo o máximo de maltodextrina e sim valores intermediários. Enquanto isso, o baixo percentual de Emustab® previsto, sugere que o mesmo pode não ter efeito protetor e atuou mais como diluidor, uma vez que quanto maior for sua concentração, menor serão os teores de vitamina C.

3.5.3.4. Solubilidade

Os modelos ajustados para a variável resposta solubilidade dos pós em estudo, bem como seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Modelos ajustados e coeficientes de determinação (R^2) para a variável dependente solubilidade, do PFI e do PCP.

Pós	Modelo ajustado	R^2
Pó do fruto inteiro (PFI)	$\hat{Y} = 52,6746 - 3,0527 x_1 + 3,5129 x_1^2 + 8,2665 x_2 + 0,0681 x_2^2 - 0,9213 x_1 x_2$	0,9858
Pó do coproduto (PCP)	$\hat{Y} = 44,3026 - 1,7729 x_1 + 2,1790 x_1^2 + 11,4331 x_2 - 1,5712 x_2^2 - 1,0667 x_1 x_2$	0,9937

A solubilidade, tanto do PFI quanto do PCP, foi influenciada significativamente ($p \leq 0,05$) pelas concentrações dos agentes Emustab[®] e maltodextrina. A falta de ajuste dos modelos foi não significativa ($p > 0,05$) e os mesmos obtiveram valores elevados de coeficiente de determinação, o que demonstra a adequada representação destes quanto à influência dos agentes na solubilidade dos pós.

Nas Figuras 19 e 20 são apresentadas as superfícies de resposta dessa variável para os PFI e os PCP, respectivamente. Para ambos os pós, dentro do intervalo estudado, não foi observado um ponto crítico e notou-se que maiores teores de maltodextrina e menores de Emustab[®] tendem a aumentar a solubilidade dos pós.

Para o PFI, dentro da região estudada, foi previsto um valor máximo de solubilidade igual a 68,57%, que ocorreu em $x_1 = -1,1314$ e $x_2 = 0,8485$, os quais correspondem a 0,8% de Emustab[®] e 6,4% de maltodextrina, respectivamente.

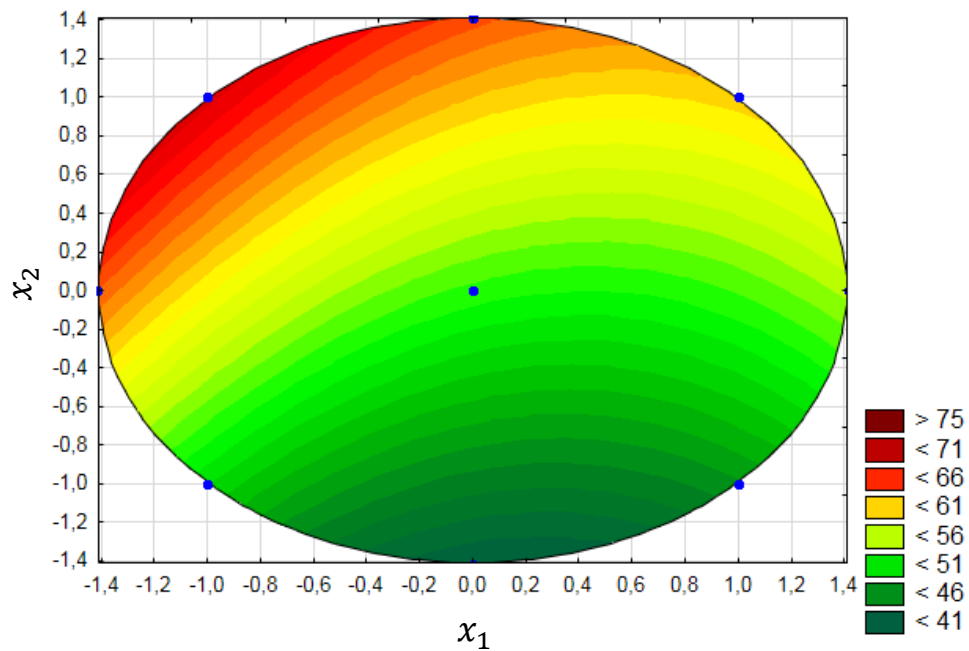


Figura 19 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente solubilidade, do PFI, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

Para o PCP, dentro da região estudada, a solubilidade máxima prevista pelo modelo foi de 59,32% que ocorreu em $x_1 = -0,8485$ e $x_2 = 1,1314$, os quais correspondem a 1,6% de Emustab® e 7,2% de maltodextrina, respectivamente.

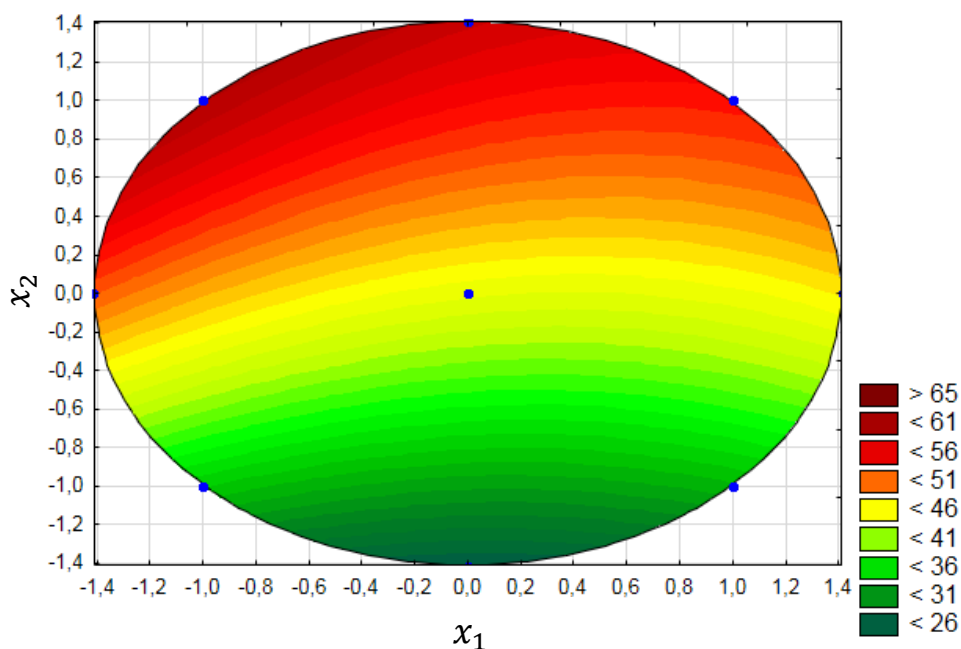


Figura 20 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente solubilidade, do PCP, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

A diferença ($p \leq 0,05$) nas solubilidades dos tratamentos com diferentes concentrações dos agentes era esperada, uma vez que a mesma é fortemente afetada pelo agente adicionado na formação da espuma (YOUSEFI; EMAM-DJOMEH; MOUSAVI, 2011; DEGHANNYA et al., 2019). Este parâmetro físico-químico é um importante indicador da capacidade do pó em permanecer homogêneo misturado com a água (FRANCO et al., 2016), além de ser importante na formulação do produto final, uma vez que farinhas com elevados valores de solubilidade podem ser utilizadas em alimentos que necessitam de temperaturas mais baixas no seu preparo ou como ingrediente para composição de sopas, molhos e sobremesas, que requerem uma solubilidade maior (LEONEL; FREITAS; MISCHAN, 2009).

3.5.3.5. Umidade

As concentrações dos agentes testadas não influenciaram significativamente ($p > 0,05$) a umidade dos PFI e, conseqüentemente, não foi feito o ajustado de nenhum modelo. Os PFI apresentaram umidade média de 9,15%.

Para os PCP, as concentrações dos agentes exerceram efeito significativo ($p \leq 0,05$) na umidade. Embora a falta de ajuste tenha sido significativa, o modelo (Equação 11) foi aceito, uma vez que a variável resposta foi influenciada pela variável independente e obteve valor admissível de coeficiente de determinação (0,4980).

$$\hat{Y} = 11,4477 + 0,0222 x_1 - 2,2702 x_1^2 - 0,8707 x_2 - 1,0639 x_2^2 + 1,3404 x_1 x_2 \quad (11)$$

Na Figura 21 é apresentada a superfície de resposta da umidade do PCP, onde representa o comportamento dessa variável em relação aos teores de agentes utilizados na formação das espumas. Observa-se que o maior teor de umidade foi previsto ao utilizar concentrações de Emustab[®] e maltodextrina próximas dos valores codificados de 0,00, ou seja, com teores próximos de 4%. Enquanto que, menores percentuais de umidade podem ser alcançados utilizando baixas concentrações de Emustab[®] e altas de maltodextrina.

Dentro do intervalo estudado, o valor máximo de umidade previsto pelo modelo foi de 11,66%, que ocorreu em $x_1 = -0,17$ e $x_2 = -0,51$, de modo que correspondem a 3,51% de Emustab[®] e 2,56% de maltodextrina, respectivamente. O valor mínimo previsto foi de 5,73%, que ocorreu em $x_1 = -1,1314$ e $x_2 = 0,8485$, os quais correspondem a 0,8% de Emustab[®] e 6,4% de maltodextrina, respectivamente.

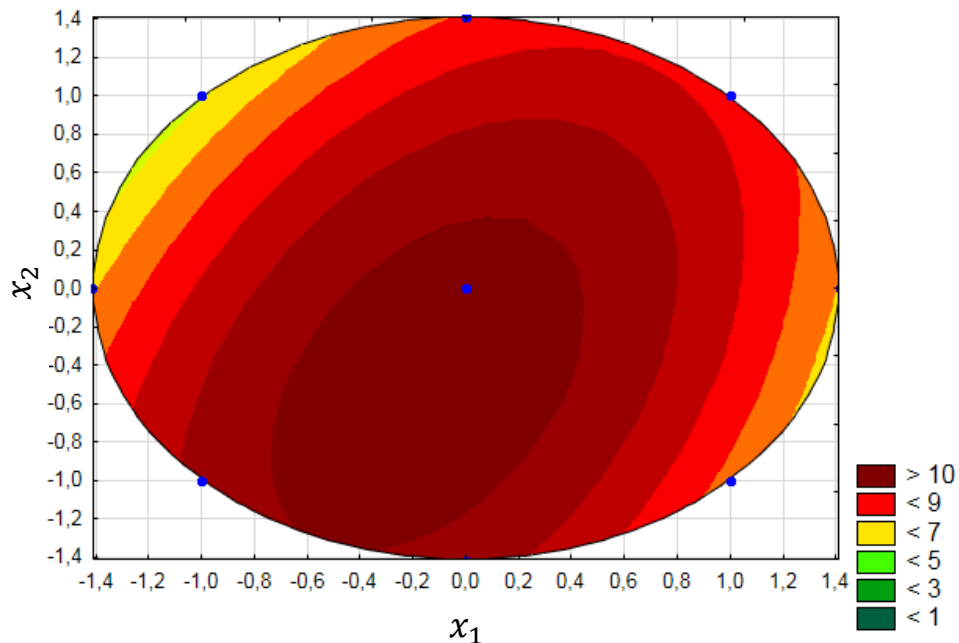


Figura 21 – Gráfico de superfície resposta da variável dependente umidade, do PCP, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

3.5.4. Otimizações das concentrações dos agentes pela função desejabilidade

Para se obter a desejabilidade global para produção dos pós otimizados (PFI e PCP), foi necessário calcular previamente as desejabilidades individuais de cada uma das variáveis resposta analisadas e que foram influenciadas significativamente ($p \leq 0,05$) pelas concentrações dos agentes.

3.5.4.1. Otimização das concentrações dos agentes utilizados no processo de obtenção dos pós do fruto inteiro de acerola

Para as variáveis que se desejam minimizar (densidade, volume de coalescência, umidade e tempo de secagem), o valor alvo (T) considerado foi o valor mínimo estimado pelos modelos ajustados dentro do intervalo para as variáveis codificadas de -1,4142 a +1,4142 e o limite superior admissível (U) foi o valor máximo estimado dentro do mesmo intervalo. Embora a umidade do PFI não tenha sido influenciada significativamente ($p > 0,05$) pela concentração dos agentes, a mesma foi

para a desejabilidade, uma vez que é um parâmetro que, geralmente, é influenciado por essa variável independente e é de grande importância para o processo.

Para as variáveis resposta que se desejam maximizar (vitamina C e solubilidade), o valor alvo (T) considerado foi o valor máximo estimado para essas variáveis pelos modelos ajustados dentro do mesmo intervalo e o limite inferior admissível (L) foi o valor mínimo.

Os valores de L, T e U estabelecidos para as variáveis resposta avaliadas na secagem do fruto inteiro de acerola são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores mínimos (L), alvos (T) e máximos (U) estabelecidos para as variáveis respostas analisadas na espuma e no pó do fruto inteiro de acerola.

Objetivo	Variáveis resposta	L	T	U
Maximizar	Vitamina C	282,5620	1426,4961	-
	Solubilidade	41,1203	68,5727	-
Minimizar	Densidade aparente	-	0,1652	0,9168
	Volume de coalescência	-	2,3379	8,8251
	Umidade	-	7,4782	10,6401
	Tempo de secagem	-	586,1412	2451,7773

Tendo escolhidos esses valores limites, foi calculada a desejabilidade global e obtido um gráfico de superfície de resposta (Figura 22) que apresenta o seu perfil. A desejabilidade máxima foi igual a 0,6197, obtida em valores das variáveis codificadas $x_1 = -0,3394$ e $x_2 = 0,3960$, o que corresponde a um tratamento que utilizou, respectivamente, 3,04% de Emustab[®] e 5,12% de maltodextrina para a formação da espuma do fruto inteiro de acerola. Dentro da região estudada, estes níveis de fatores representam o conjunto de respostas mais satisfatório, sendo possível estabelecer um ponto ótimo do processamento.

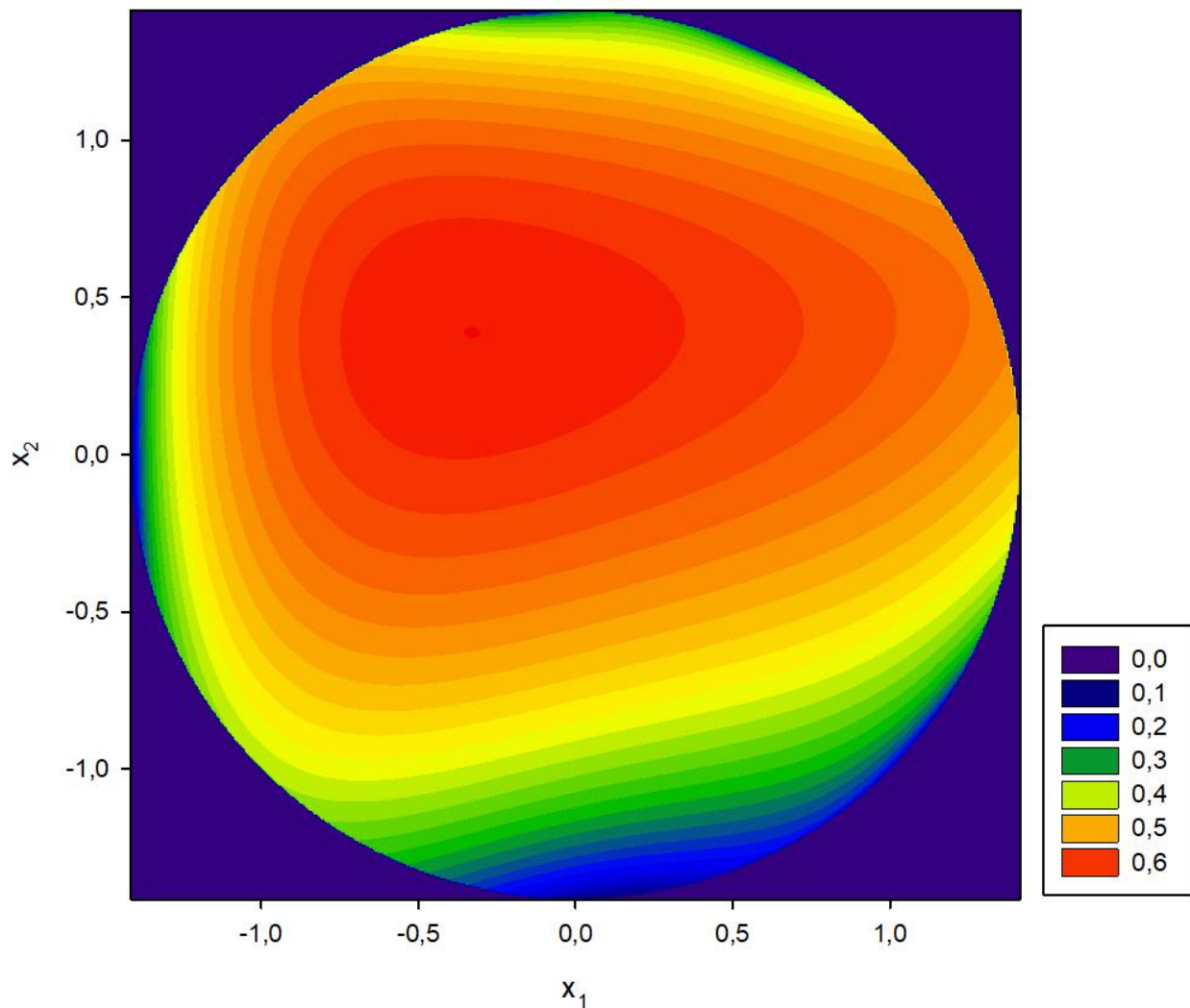


Figura 22 - Gráfico de superfície resposta da desejabilidade global, do PFI, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

3.5.4.2. Otimização das concentrações dos agentes utilizados no processo de obtenção dos pós do coproduto de acerola

Para as variáveis que se desejam minimizar (densidade, volume de coalescência, umidade e tempo de secagem), o valor alvo (T) e o limite superior admissível (U) foram definidos com base nas mesmas premissas citadas no item 1.4.4.1, assim como a determinação do valor alvo (T) e do limite inferior admissível (L)

considerados para as variáveis respostas que se desejam maximizar (atividade antioxidante – DPPH, vitamina C e solubilidade).

Os valores de L, T e U estabelecidos para as variáveis resposta avaliadas na secagem do coproduto de acerola são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Valores mínimos (L), alvos (T) e máximos (U) estabelecidos para as variáveis respostas analisadas na espuma e no pó do coproduto de acerola.

Objetivo	Variáveis resposta	L	T	U
Maximizar	Atividade antioxidante - DPPH	33,8297	74,6516	-
	Vitamina C	-13,6835	268,8479	-
	Solubilidade	24,9916	59,3238	-
Minimizar	Densidade aparente	-	0,2423	1,0942
	Volume de coalescência	-	0,9279	2,8985
	Umidade	-	5,7162	11,6632
	Tempo de secagem	-	701,1723	1716,5802

Tendo escolhidos esses valores limites, foi calculada a desejabilidade global e obtido um gráfico de superfície de resposta (Figura 23) que apresenta o seu perfil. A desejabilidade máxima foi igual a 0,6951, obtida em valores das variáveis codificadas $x_1 = 1,3859$ e $x_2 = -0,2545$, o que corresponde a um tratamento que utilizou, respectivamente, 7,92% de Emustab[®] e 3,28% de maltodextrina para a formação da espuma do coproduto de acerola. Dentro da região estudada, estes níveis de fatores representam o conjunto de respostas mais satisfatório, sendo possível estabelecer um ponto ótimo do processamento.

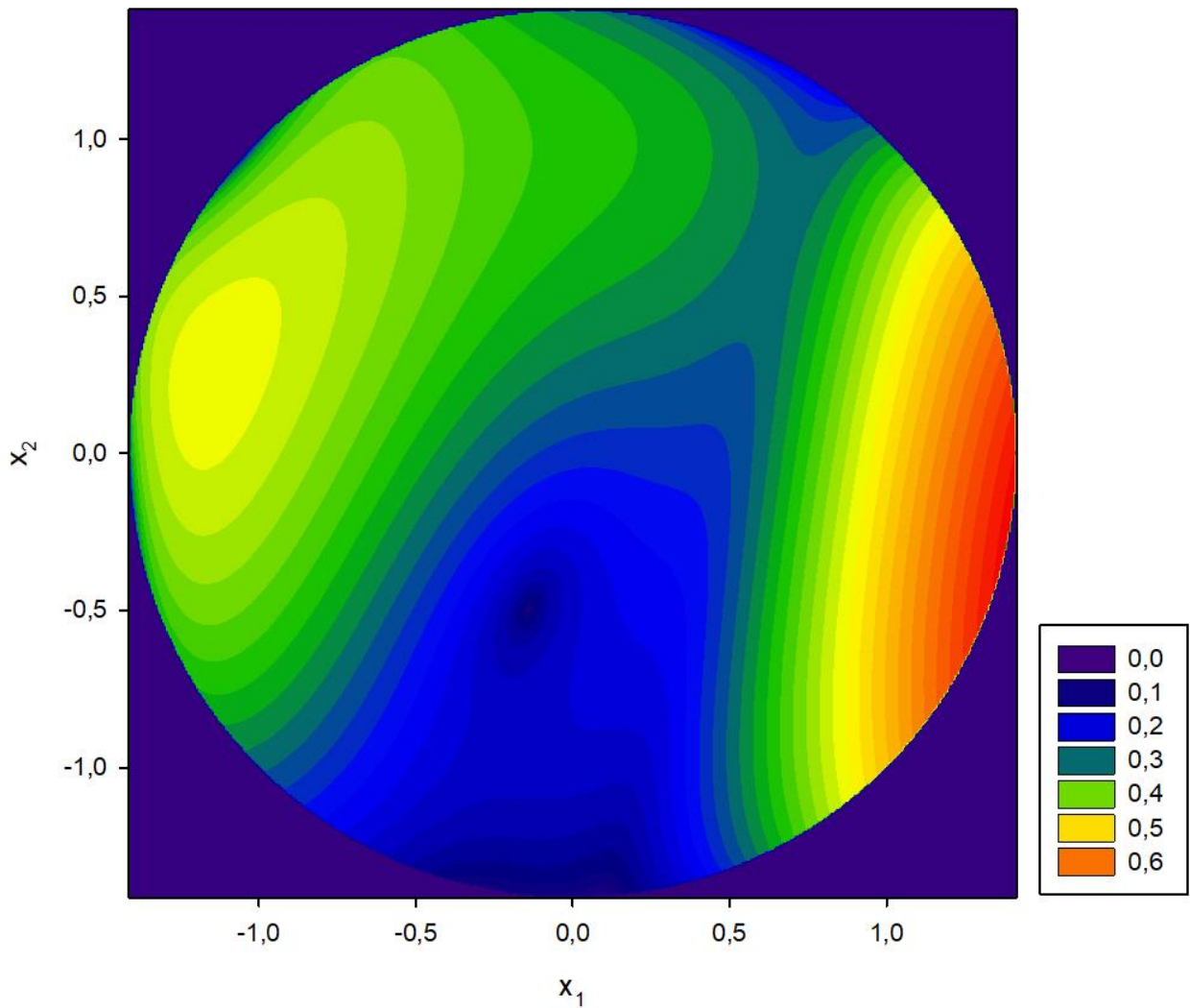


Figura 23 - Gráfico de superfície resposta da desejabilidade global, do PCP, em diferentes concentrações de Emustab® (x_1) e maltodextrina (x_2).

3.6. Conclusão

A partir deste trabalho, foi possível concluir que, para a secagem do fruto inteiro de acerola em leite de espuma:

- As concentrações testadas de Emustab[®] e de maltodextrina exerceram influência significativa ($p \leq 0,05$) na densidade e no volume de coalescência da espuma, no tempo de secagem e na vitamina C e na solubilidade dos pós do fruto inteiro.

- O modelo de Midilli, Kucuk e Yapar foi o que melhor descreveu a cinética de secagem do fruto inteiro, apresentando elevados valores de coeficiente de determinação ($> 99\%$) e baixos valores de erro padrão da regressão ($<0,03$) para todos os tratamentos testados.

- Nas condições testadas neste estudo, para se obter pós do fruto inteiro de acerola com o máximo de vitamina C e de solubilidade e com o mínimo de tempo de secagem, bem como espumas com o mínimo de densidade e de volume de coalescência, simultaneamente, deve-se utilizar as concentrações de 3,04% de Emustab[®] e 5,12% de maltodextrina.

Além disso, pode-se concluir que, para a secagem do coproduto de acerola em leite de espuma:

- As concentrações testadas de Emustab[®] e de maltodextrina exerceram influência significativa ($p \leq 0,05$) na densidade e no volume de coalescência da espuma, no tempo de secagem e na atividade antioxidante (DPPH), na vitamina C, na solubilidade e na umidade dos pós do coproduto.

- O modelo de Midilli, Kucuk e Yapar foi o que melhor descreveu a cinética de secagem do coproduto, apresentando elevados valores de coeficiente de determinação ($> 99\%$) e baixos valores de erro padrão da regressão ($<0,02$) para todos os tratamentos testados.

- Nas condições testadas neste estudo, para se obter pós do coproduto de acerola com o máximo de atividade antioxidante (DPPH), vitamina C e solubilidade e com o mínimo de umidade e de tempo de secagem, bem como espumas com o mínimo de densidade e de volume de coalescência, simultaneamente, deve-se utilizar as

concentrações de 7,92% de Emustab[®] e 3,28% de maltodextrina.

Observou-se que, até o presente momento e de acordo com a literatura consultada, não foram encontrados trabalhos científicos que estudem os fatores que influenciam na secagem em leite de espuma do fruto inteiro e do coproduto de acerola ou de outras frutas, como, por exemplo, a influência de diferentes concentrações de agentes espumantes. Com isso, mais estudos são necessários para elucidar tais fatores e compreender melhor estes processos de secagem, a fim de obter pós com as características desejáveis e viabilizar, se for o caso, sua aplicação em produtos alimentícios.

3.7. Referências bibliográficas

ABBASI, E.; AZIZPOUR, M. Evaluation of physicochemical properties of foam mat dried sour cherry powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 68, p. 105–110, 2016.

ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. N.; TEIXEIRA, L. S. Q. Foam-mat drying kinetics for acerola and adjustment of the mathematical models. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-9, 2017.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 5ª ed., atualizada e ampliada. Viçosa: Editora UFV, 2011. 601p.

BAG, S. K; SRIVASTAV, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of process parameters for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food Bioprocess Technonology**, v. 4, p. 1450-1458, 2011.

BENKOVIĆ, M.; PIŽETA, M.; TUŠEK, A. J.; JURINA, T.; KLJUSURIĆ, J. G.; VALINGER, D. Optimization of the foam mat drying process for production of cocoa powder enriched with peppermint extract. **LWT - Food Science and Technology**, v. 115, 2019.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, New York, v. 15, p. 671-684, 1997.

BLOOR, S. J. Overview of methods for analysis and identification of flavonoids. **Methods in Enzymology**, New York, v. 335, p. 3–14, 2001.

BORTOLOTTI, C. T.; SANTOS, K. G.; FRANCISQUETTI, M. C. C.; DUARTE, C. R; BARROZO, M. A. S. Hidrodinamic study of a misture of West Indian cherry residue and soybean grains in a spouted bed. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 91, p. 1871-1880, 2013.

BRANCO, I. G.; KIKUCHI, T. T.; ARGANDONA, E. S.; MORAES, I. C. F.; HAMINIUK, C. W. I. Drying kinetics and quality of uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) powder obtained by foam-mat drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 1703–1710, 2016.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensm. - Wiss. Technololy**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRAVO, J.; MONENTE, C.; JUÁNIZ, I.; PAZ DE PENA, M. CID, C. Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. **Food Research International**, v. 50, n. 2, p. 610–616, 2013.

CAETANO, A. C. S.; MELO, E. A.; LIMA, V. L. A. G.; MACIEL, M. I. S. Extraction of antioxidants from agro-industrial acerola waste. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 2, p. 155-160, abr.-jun., 2009.

CAMPOS, F. M. **Avaliação de práticas de manipulação de hortaliças visando à preservação de vitamina C e carotenóides**. 2006. 130f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2006.

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

CASARIN, F.; MENDES, C. E.; LOPES, T. J.; MOURA, N. F. Planejamento experimental do processo de secagem da amora preta (*Rubus* sp.) para a produção de farinha enriquecida com compostos bioativos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, p. e2016025, 2016.

CELMA, A. R.; CUADROS, F.; LÓPEZ-RODRÍGUEZ, F. Convective drying characteristics of sludge from treatment plants in tomato processing industries. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, p. 224-234, 2011.

CONAGIN, A.; IGUE, T.; NAGAI, V. Sensibilidade dos delineamentos fatoriais 33, (1/2) 43 e (1/5) 53 na definição dos pontos críticos. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, **IAC Boletim Científicos**, n. 39, 1999.

DE FREITAS, B. S. M.; CAVALCANTE, M. D.; CAGNIN, C.; DA SILVA, R. M.; PLÁCODO, G. R.; OLIVEIRA, D. E. C. Physical-chemical characterization of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) foam-mat drying at different temperatures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 430-435, 2018.

DEHGHANNYA J.; POURAHMAD M.; GHANBARZADEH B.; GHAFFARI H. Influence of foam thickness on production of lime juice powder during foam-mat drying: experimental and numerical investigation. **Powder Technology**, v. 328, p. 470–484, 2018.

DEHGHANNYAA, J.; POURAHMADA, M.; GHANBARZADEHA, B.; GHAFFARIB, H. A multivariable approach for intensification of foam-mat drying process: empirical and three-dimensional numerical analyses. **Chemical Engineering & Processing: Process Intensification**, v. 135, p. 22–41, 2019.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214–219, 1980.

DIONIZIO, A. S. **Efeito do camu-camu microencapsulado e liofilizado na reologia da massa e na qualidade do pão de forma**. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em

Tecnologia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão - PR, 2017.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water soluble granular starch for gelled food composition**. U.S., Patent 4.465.702, 1984.

EKPONG, A.; PHOMKONG, W.; ONSAARD, E. The effects of maltodextrin as a drying aid and drying temperature on production of tamarind powder and consumer acceptance of the powder. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 1, p. 300-308, 2016.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Atheneu, 2005. 652p.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; KALBASI ASHTARI, A.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 4, p. 667-675, 2012.

FLOEGEL, A.; KIM, D. O.; CHUNG, S. J.; KOO, S. I.; CHUN, O. K. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p. 1043–1048, 2011.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M. L. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, p. 503-513, 2016.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. D. S. N.; MASSON, M. L. Foam mat drying of yacon juice: experimental analysis and computer simulation. **Journal Food Engineering**, v. 158, p. 48–57, 2015.

FREIRE, J. M.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D.; SIMÃO, A. A.; SANTOS, C. M. Avaliação de compostos funcionais e atividade antioxidante em farinhas de polpa de goiabas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 847-852, 2012.

GHARSALLAOUI A, ROUDAUT G, CHAMBIN O, VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, p. 107–1121, 2007.

GOUBET, I.; LE QUERE, L. J.; VOILLEY, J. A. Retention of aroma compounds by carbohydrates: influence of their physiochemical characteristics and of their physical state. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 1981-1990, 1998.

GURGEL, C. E. M. R. **Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata* L.) em camada de espuma: Desempenho do processo e características do produto**. 2014. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2014.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Research Engineering**, v.12, p.732–736, 1962.

INFANTE, J.; SELANI, M. M.; TOLEDO, N. M. V.; SILVEIRA DINIZ, M. F.; ALENCAR, S. M.; SPOTO, M. H. F. Atividade antioxidante de resíduos agroindustriais de frutas tropicais. **Alimentos e Nutrição**, v. 24, n.1, p. 87-91, 2013.

IAL. Instituto adolfo lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos: Carnes e produtos cárneos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1000p.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) purée. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, p. 337–343, 1999.

LEONEL, M.; FREITAS, T. S.; MISCHAN, M. M. Physical characteristics of extruded cassava starch. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 66, n. 4, p. 486-493, 2009.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.13, n.5, p.427–433, 1921.

LIMA, C. N. **Ajuste de uma superfície de resposta no delineamento em blocos incompletos: análise de verossimilhança restrita e bayesiana em uma simulação de adubação em citros**. 2006. 71f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

MAREČEK, V.; MIKYŠKA, A.; HAMPEL, D.; ČEJKA, P.; NEUWIRTHOVÁ, J.; MALACHOVÁ, A.; CERKAL, R. ABTS and DPPH methods as a tool for studying antioxidant capacity of spring barley and malt. **Journal of Cereal Science**, v. 73, p. 40–45, 2017.

MARTÍNEZ, R.; TORRES, P.; MENESES, M. A.; FIGUEROA, J. G.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; VIUDA-MARTOS, M. Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. **Food Chemistry**, v. 135, p. 1520–1526, 2012.

MELO, E. A.; MACIEL, M. I. S.; LIMA, V. L. A. G.; ARAÚJO, C. R. Teor de fenólicos totais e capacidade antioxidante de polpas congeladas de frutas. **Alimento e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 67–72, 2008.

MERCALI, G. D.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Study of vitamin C degradation in acerola pulp during ohmic and conventional heat treatment. **LWT - Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 91-95, 2012.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503–1513, 2002.

MUTHUKUMARAN, A.; RATTI, C.; RAGHAVAN, V. G. S. Foam-mat freeze drying of egg white mathematical modeling part II: freeze drying and modeling. **Drying Technology**, v. 26, p. 513–518, 2008.

NG, M. L.; SULAIMAN, R. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. **LWT – Food Science and Technology**, v. 88, p. 80–86, fev., 2018.

NÓBREGA, E. M. M. A. **Secagem do resíduo de acerola (*Malpighia emarginata* DC.): Estudo do processo e avaliação do impacto sobre o produto final**. 2012. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

OZGEN, M.; REESE, R. N.; JR. A. Z. T.; SCHEERENS, J. C.; MILLER, A. R. Modified 2,2-Azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic Acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) and 2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Methods. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 1151–1157, 2006.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. Dissertação (Mestrado) - Purdue University, West Lafayette, 1949.

PAIVA, E. J. **Otimização de processos de manufatura com múltiplas respostas baseada em índices de capacidade**. 2008. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.

PAULA, L. C. **Efeito de diferentes métodos de conservação sobre os compostos bioativos e atividade antioxidante de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes)**. 2015. 109f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia – GO, 2015.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental, **Journal of Technology Management & Innovation**, v 2, p. 118-127, 2007.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 386–392, 2007.

RAJKUMAR, P.; KAILAPPAN, R.; VISWANATHAN, R.; RAGHAVAN, G. S. V.; RATTI, C. Foam mat drying of *Alphonso* mango pulp. **Drying Technology**, v. 25, n. 2, p. 357-365, 2007.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 1231–1237, 1999.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Comparison and optimization of conventional and ultrasound assisted extraction for bioactive compounds and antioxidant activity from agro-industrial acerola (*Malpighia emarginata* DC.) residue. **LWT - Food Science and Technology**, v. 85, p. 158-169, 2017.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC.) pulp and residue by spray and freeze drying: chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281-291, 2018.

RIGHETTO, A. M. **Caracterização físico-química e estabilidade de suco de acerola verde microencapsulado por atomização e liofilização**. 2003. 200f. Tese (Doutorado em Ciência da Nutrição) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2003.

RONCHETI, E. F. S. **Estudo do processo de secagem em leite de espuma de cenoura, tomate, beterraba e morango**. 2014. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre - ES, 2014.

SILVA, A. S.; GURJÃO, C. O.; ALMEIDA, F. A. C.; BRUNO, R. D. A.; PEREIRA, W. E. Desidratação da polpa de tamarindo pelo método de camada de espuma. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1899–1905, 2008.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. **American Journal Enology and Viticulture**, v. 16, p. 144–158, 1965.

SOGI, D. S.; SIDDIQ, M.; DOLAN, K. D. Total phenolics, carotenoids and antioxidant properties of *Tommy Atkin* mango cubes as affected by drying techniques. **LWT. Food Science e Technology**, v. 62, p. 564-568, 2015.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; SILVA, A. O.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 554–559, 2011.

TEÓFILO, R. F.; FERREIRA, M. M. C.; Quimiometria II: planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 338–350, 2006.

VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY M. J. **Food dehydration**. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, v. 2, 1964. 721p.

ZHANG, H.; JIANG, Z.; GUO, C. Simulation-based optimization of dispatching rules for semiconductor wafer fabrication system scheduling by the response surface methodology. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 41, p. 110-121, 2009.

YOUSEFI, S; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica granatum* L.). **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 677-684, 2011.

ZHAO, H.; FAN, W.; DONG, J.; LU, J.; CHEN, J.; SHAN, L.; LIN, Y.; KONG, W. Evaluation of antioxidant activities and total phenolic contents of typical malting barley varieties. **Food Chemistry**, v. 107, p. 296–304, 2008.

4. Capítulo II: Otimização da temperatura do ar de secagem do processo de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola (*Malpighia emarginata* DC.) em leite de espuma

4.1. Resumo

A acerola (*Malpighia emarginata* DC.) apresenta características nutricionais, tecnológicas e sensoriais que despertam o interesse na sua utilização pela indústria alimentícia. O coproduto da fruta (casca, bagaço e semente) corresponde a cerca de 41% do volume processado de acerola e, embora ainda seja subutilizado, possui altas concentrações de compostos bioativos. Entretanto, a alta perecibilidade dos frutos *in natura* e a necessidade em viabilizar o aproveitamento dos coprodutos fazem com que processos, como de secagem em leite de espuma, sejam uma alternativa para explorar as características do fruto e reduzir o impacto ambiental, causado pelo descarte inadequado destes coprodutos. Deste modo, objetivou-se otimizar a temperatura do ar de secagem do processo de secagem em leite de espuma do fruto inteiro e do coproduto de acerola, a fim de obter as temperaturas ótimas, que potencializem as características químicas e físico-químicas de seus pós. A partir das concentrações ótimas dos agentes espumantes, foi investigado a influência da temperatura do ar de secagem (40, 50, 60, 70 e 80 °C) nas seguintes variáveis resposta dos pós do fruto inteiro (PFI) e do coproduto (PCP) de acerola: atividade antioxidante – ABTS e DPPH (AA), conteúdo fenólico total (CF), vitamina C (vit. C), solubilidade (S), umidade (Um) e tempo de secagem (ts). A função desejabilidade foi utilizada para otimizar simultaneamente as respostas significativas ($p \leq 0,05$) e fornecer a temperatura ótima para o processo de secagem de ambos os pós analisados. Foi descrita a cinética de secagem do PFI e do PCP, por meio do ajuste de diferentes modelos matemáticos. Para o PFI, observou-se que a elevação crescente da temperatura, dentro do intervalo estudado, reduziu a Um e o ts e aumentou a vit. C e o CF do pó. Temperaturas altas propiciaram o aumento da AA. Para o PCP, temperaturas altas aumentaram a AA (ABTS), CF, vit. C e a S e reduziram a Um e o ts. Para maximizar a AA, CF, vit. C e a S e minimizar a Um e o ts de ambos os pós, as desejabilidades máximas obtidas corresponderam a temperaturas ótimas de 74,47 °C, para o PFI, e de 79,86 °C, para o PCP. O modelo de Midilli, Kucuk e Yapar foi o que melhor descreveu o processo de secagem dos pós analisados. Logo, a utilização de altas temperaturas do ar de secagem (PFI: 74,47 e PCP: 79,86 °C) no processo em leite de espuma podem produzir pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola com maior atividade antioxidante, compostos fenólicos, vitamina C e solubilidade, além de reduzir o tempo de secagem e a umidade dos mesmos.

Palavras-chave: altas temperaturas de secagem, compostos bioativos, solubilidade, otimização de processos, função desejabilidade.

4.2. Introdução

O Brasil é considerado um dos maiores produtores de frutas do mundo, e a acerola (*Malpighia emarginata* DC.) se destaca pelo seu fácil cultivo, sabor e aroma agradáveis e pelo elevado teor de compostos antioxidantes, tais como o ácido ascórbico e os compostos fenólicos (FREITAS et al., 2006; AQUINO et al., 2010; SILVA; DUARTE; BARROZO, 2016).

Entretanto, por ser uma fruta delicada, com tecido protetor muito fino que amadurece rapidamente, e por seu processamento ser responsável pela geração de cerca de 41 % de resíduos (casca, semente e bagaço), processos devem ser aplicados na fruta *in natura* e nos resíduos, como uma alternativa para contribuir com o aumento da vida útil, agregar valor e potencializar os benefícios nutricionais, tecnológicos e sensoriais que os mesmos possuem (ALVES et al., 2010; EMBRAPA, 2011; CAETANO et al., 2009; BRANCO et al., 2016). Além dessa contribuição, torna-se possível acompanhar a crescente consciência global em utilizar tecnologias favoráveis ao meio ambiente, que justificam o interesse recente na utilização dos resíduos gerados pelas indústrias de processamento de frutas (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018).

A secagem é uma alternativa viável de processo que pode ser utilizado para transformar a fruta *in natura* e os resíduos em matérias-primas ou em produtos comerciais para processos secundários (BARROZO; SARTORI; FREIRE, 2004; PELIZER; PONTIERI; MORAES, 2007). A produção de farinha ou pó de acerola é uma opção de produto que reduz as perdas pós-colheitas da fruta, aumenta a estabilidade, diversifica as possibilidades de comercialização da acerola, permite o consumo da fruta fora da safra e propicia o melhor aproveitamento dos seus constituintes (CARNEIRO; MELLO, 2011; REIS et al., 2017).

A secagem em leito de espuma é um método que consiste na transformação de alimentos líquidos ou semi-sólidos em uma espuma estável, pela adição de agentes espumantes, que podem, por exemplo, ser: super liga neutra, albumina, Emustab® e maltodextrina (KARIM; WAI, 1999; FELLOWS, 2006; PINTO, 2009; GURGEL, 2014; SANTOS, 2018). Embora apresente diversas vantagens, como a possibilidade de usar temperaturas menores, operar em menor tempo de secagem e preservar as

características nutricionais do produto, alguns fatores podem interferir intensamente no processo, tais como: estabilidade da espuma formada, concentração dos agentes e a temperatura do ar de secagem (LOBO et al., 2017; MACIEL, 2017; SANTOS, 2018).

No que diz respeito à temperatura, sabe-se que ela pode influenciar positiva ou negativamente as características do pó obtido, dependendo, por exemplo, dos níveis a serem testados e da sua interação com a espuma formada (matriz alimentar e agentes utilizados). Azizpour, Mohebbi e Khodaparast (2016), ao obterem pó de camarão em leite de espuma, observaram que a solubilidade não apresentou diferença nas temperaturas de 60, 75 e 90 °C, enquanto que a 45 °C a mesma se mostrou significativamente menor, comparada às demais. Utilizando este mesmo método de secagem, Wilson e seus colaboradores (2012), verificaram que os pós de manga a 65 °C mantiveram uma melhor qualidade nutricional, comparado aos pós secos a 75 e 85 °C. A maltodextrina possibilita reduções significativas no tempo de secagem, no entanto, em algumas temperaturas a estrutura da espuma pode colapsar, os tempos de secagem podem aumentar e o produto em pó pode não se tornar aceitável (EKPONG; PHOMKONG; ONSAARD, 2016). Desta maneira, a necessidade de utilizar a temperatura ideal na secagem torna-se notória, visando garantir o melhor desempenho do processo.

Logo, processos como o de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola, em leite de espuma, carecem de estudos para avaliar o efeito da temperatura do ar de secagem nas características químicas e físico-químicas de seus respectivos pós e, assim, definir a temperatura ótima para o processo.

4.3. Objetivos

4.3.1. Objetivo geral

Otimizar as temperaturas do ar de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola em leite de espuma.

4.3.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da temperatura, em diferentes níveis (40, 50, 60, 70 e 80 °C), sobre as propriedades químicas e físico-químicas dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola obtidos por secagem em leite de espuma.
- Descrever a cinética de secagem das espumas do fruto inteiro e do coproduto de acerola secas em leite de espuma, para cada uma das temperaturas testadas.
- Otimizar a temperatura do ar de secagem, a fim de obter a temperatura ótima para o processo de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola em leite de espuma.

4.4. Material e métodos

Todos os experimentos foram realizados no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, *Campus Alegre* (CCAЕ-UFES), nos laboratórios de Operações Unitárias e de Química de Alimentos do Departamento de Engenharia de Alimentos.

4.4.1. Procedimento experimental

Na Figura 24 é apresentado o fluxograma metodológico das etapas realizadas no Capítulo II.

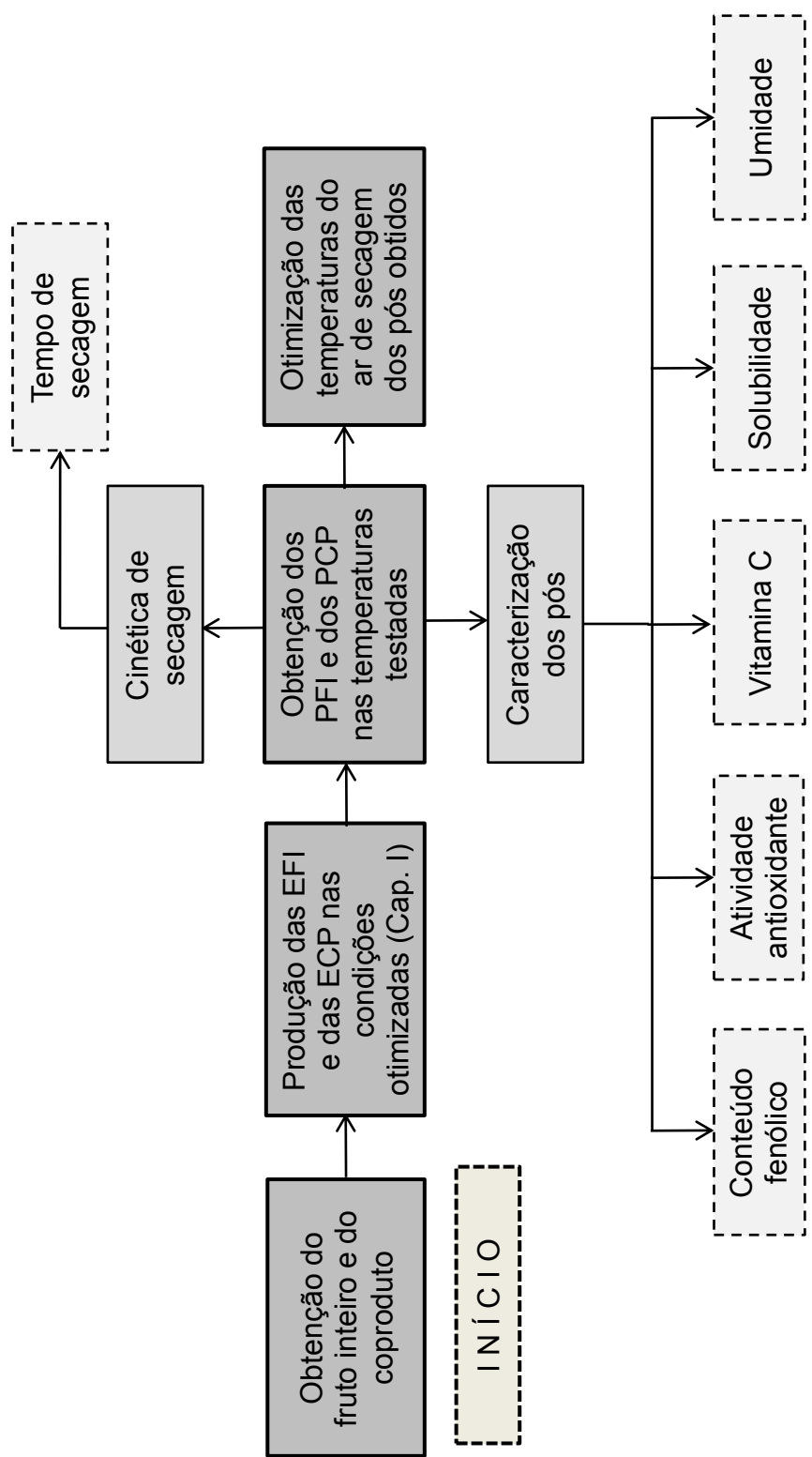


Figura 24 – Fluxograma das etapas do Capítulo II. EFI: espuma do fruto inteiro de acerola; ECP: espuma do coproduto de acerola; PFI: pós do fruto inteiro de acerola; PCP: pós do coproduto de acerola.

Fonte: A autora.

4.4.2. Obtenção da acerola e do coproduto do processamento de acerola

Esta etapa foi realizada nas mesmas condições citadas no Capítulo I (item 3.4.2.).

4.4.3. Planejamento experimental e análise estatística dos dados

Após a determinação da melhor concentração dos agentes espumantes (Emustab[®] e maltodextrina) para a produção da espuma do fruto inteiro (EFI) e da espuma do coproduto (ECP) de acerola, no Capítulo I, a mesma foi fixada com o objetivo de verificar a influência da temperatura do ar de secagem na produção, em leito de espuma, dos pós do fruto inteiro (PFI) e dos pós do coproduto (PCP) de acerola.

As secagens foram realizadas nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, em três repetições, perfazendo 15 unidades experimentais. A temperatura do ar de secagem ótima foi aquela que, simultaneamente, maximizou as variáveis atividade antioxidante (ABTS e DPPH) (AA), conteúdo fenólico total (CF), vitamina C (vit. C) e solubilidade (S) e minimizou as variáveis umidade (Um) e tempo de secagem (ts). Para encontrar esta temperatura ótima, foi utilizada a função desejabilidade (DERRINGER; SUICH, 1980), por meio do software Excel.

A cinética de secagem da EFI e da ECP foi realizada para os cinco níveis de temperatura, com auxílio do software SigmaPlot, versão 11.0, onde foi possível determinar o comportamento e o ts de cada um dos tratamentos. Posteriormente, os pós obtidos foram caracterizados através das análises de AA, CF, vit. C, S e Um, nas três repetições e em duplicata, empregando o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC).

Os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA), ao nível de 5% de significância, por meio do software Statistica 10.0. Foi realizado, para as variáveis respostas significativas, a análise de regressão, utilizando o software SigmaPlot, versão 11.0.

4.4.4. Obtenção das espumas otimizadas

As espumas do fruto inteiro e do coproduto de acerola foram obtidas seguindo os mesmos procedimentos para sua formação, que estão descritos no Capítulo I (item 3.4.4.), diferindo apenas nas concentrações de agentes utilizados, na qual, para os cinco níveis de temperatura e para cada tipo de espuma, foram utilizados os percentuais de Emustab[®] e de maltodextrina considerados ótimos para o processo, determinados pela função desejabilidade. Esses percentuais são descritos na Tabela 12.

Tabela 12 – Concentrações dos agentes utilizadas para a formação da espuma do fruto inteiro e do coproduto de acerola, na avaliação da influência da temperatura do ar de secagem.

Agentes	Espuma do Fruto Inteiro	Espuma do Coproduto
Emustab[®] (%)	3,04	7,92
Maltodextrina (%)	5,12	3,28

Posteriormente, foram realizadas as secagens das EFI e das ECP nestas concentrações, nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C, a fim de se obterem os seus respectivos pós.

4.4.5. Obtenção e caracterização dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola

Obtidas as EFI e as ECP, as mesmas foram dispostas em bandejas com iguais dimensões e no mesmo secador utilizado no Capítulo I (item 3.4.5.).

A cinética de secagem das espumas foi realizada para cada um dos níveis de temperatura (40, 50, 60, 70 e 80 °C), por meio do registro da massa das amostras em intervalos de 15 minutos durante a primeira hora, de 30 minutos durante a segunda e a terceira hora e de 60 minutos até a obtenção de massa constante (ARAÚJO et al., 2017).

A partir dos dados obtidos, foram ajustados os modelos de Lewis (1921), Page (1949), Henderson e Pabis (1962) e Midilli, Kucuk e Yapar (2002), de acordo com as equações apresentadas na Tabela 2 e com os procedimentos descritos no item 3.4.5.

Para a caracterização dos pós do fruto inteiro (PFI) e do coproduto (PCP) de acerola obtidos em cada um dos tratamentos testados, foram realizadas, em duplicata, as análises de atividade antioxidante (ABTS e DPPH), compostos fenólicos, solubilidade e umidade, e em uma única replicata a análise de vitamina C. A descrição do preparo dos extratos utilizados nas análises de atividade antioxidante e de conteúdo fenólico total, bem como da metodologia de cada uma das análises realizadas nos pós são descritas no item 3.4.5.

4.4.6. Técnica de otimização simultânea - Função desejabilidade

A técnica de desejabilidade, proposta por Derringer e Suich (1980), foi utilizada para avaliar simultaneamente as diferentes variáveis resposta e encontrar os valores ótimos de temperatura do ar de secagem para obter o PFI e o PCP. Para tal, foram seguidos os mesmos princípios abordados no item 3.4.6 do Capítulo I.

4.5. Resultados e discussão

Primeiramente, foi estudada a influência das temperaturas na cinética de secagem dos tratamentos e, por fim, nas características dos pós obtidos.

4.5.1. Cinética e tempo de secagem das espumas do fruto inteiro e do coproduto de acerola desidratadas em diferentes temperaturas do ar de secagem

4.5.1.1. Descrição da cinética de secagem das espumas

Na secagem de cada um dos tratamentos com os diferentes níveis de temperatura, tanto para a EFI quanto para a ECP, foram obtidas curvas de secagem e foi realizado ajuste de modelos matemáticos para predizerem o comportamento das espumas nas temperaturas do ar de secagem testadas.

São apresentadas, na Figura 25, as curvas simuladas pelos modelos para a secagem da EFI e na Tabela 13 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados e os indicadores estatísticos coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) para cada um desses modelos, em cada nível de temperatura testado.

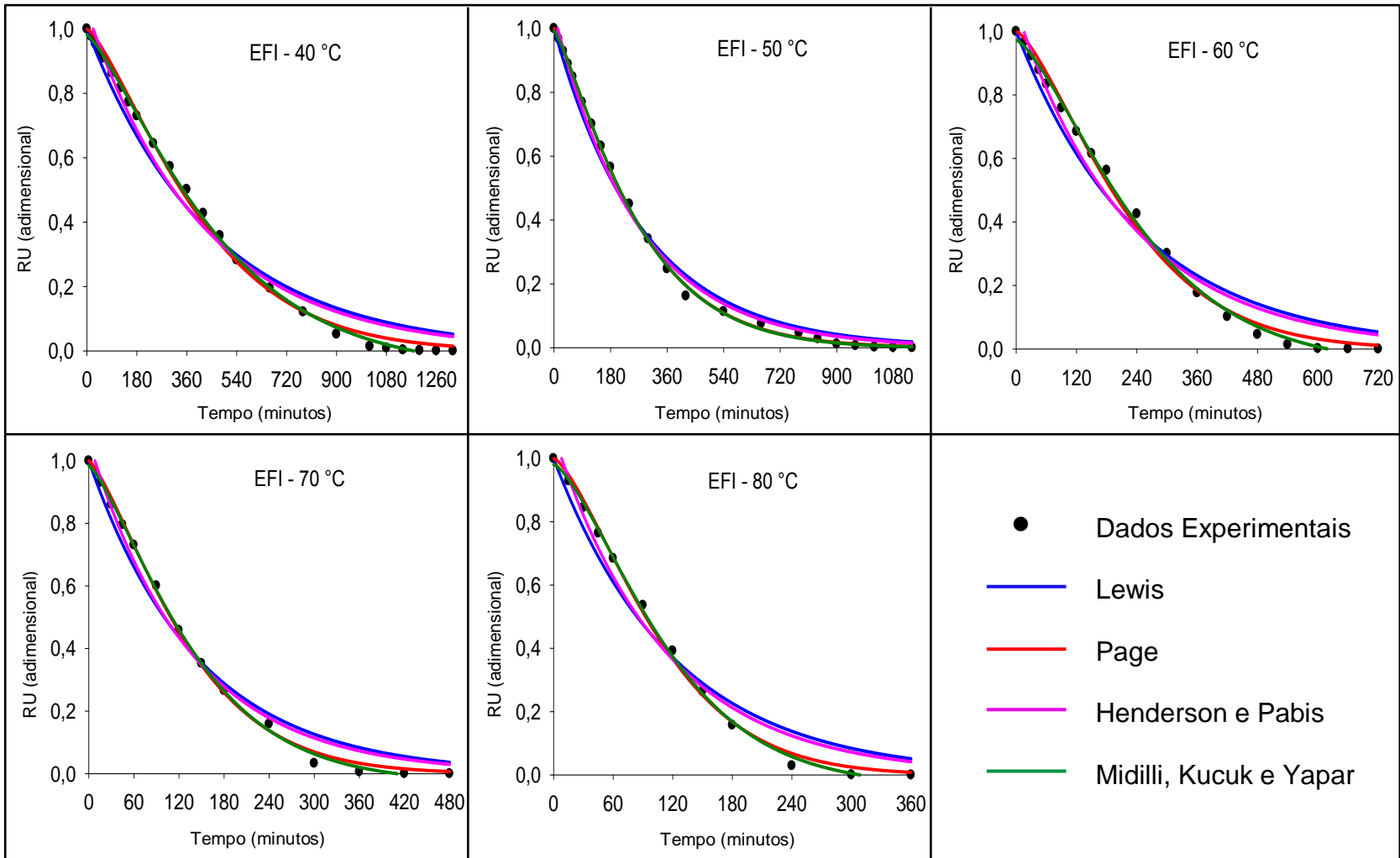


Figura 25 – Curvas de secagem em leito de espuma da EFI (espuma do fruto inteiro de acerola) em diferentes níveis de temperatura do ar de secagem.

Tabela 13 - Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) dos modelos testados na secagem da EFI em diferentes níveis de temperatura do ar de secagem.

Tratamento - 40 °C						
Modelo	Parâmetros				R_{adj}^2	S
	k	a	b	n		
Lewis	0,0021	-	-	-	0,9831	0,0497
Page	0,0004	-	-	1,2941	0,9967	0,0220
Henderson e Pabis	0,0022	1,0437	-	-	0,9860	0,0453
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0006	0,9897	-0,00004	1,2048	0,9993	0,0103
Tratamento - 50 °C						
Lewis	0,0034	-	-	-	0,9943	0,0292
Page	0,0011	-	-	1,2073	0,9996	0,0073
Henderson e Pabis	0,0036	1,0372	-	-	0,9961	0,0240
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0010	0,9934	-0,00001	1,2170	0,9997	0,0063
Tratamento - 60 °C						
Lewis	0,0065	-	-	-	0,9896	0,0384
Page	0,0020	-	-	1,2200	0,9969	0,0209
Henderson e Pabis	0,0067	1,0378	-	-	0,9903	0,0371
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0020	0,9849	-0,00003	1,2159	0,9973	0,0196
Tratamento - 70 °C						
Lewis	0,0073	-	-	-	0,9805	0,0541
Page	0,0013	-	-	1,3438	0,9973	0,0203
Henderson e Pabis	0,0077	1,0582	-	-	0,9827	0,0510
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0014	0,9916	-0,0001	1,3155	0,9976	0,0190
Tratamento - 80 °C						
Lewis	0,0083	-	-	-	0,9688	0,0663
Page	0,0011	-	-	1,4226	0,9965	0,0221
Henderson e Pabis	0,0090	1,0758	-	-	0,9750	0,0593
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0010	0,9813	-0,00008	1,4336	0,9975	0,0186

Ao observar a Figura 25, nota-se que a perda de água dos pós foi mais pronunciada nos tempos iniciais de secagem e que, à medida que o tempo aumentava, a redução da razão de umidade era menor. Além disso, visualmente, os modelos de Page e de Midilli, Kucuk e Yapar se ajustam melhor aos dados experimentais, comparado aos demais. Ao analisar a Tabela 13, é possível confirmar que o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar se ajustou de forma mais satisfatória aos dados, uma vez que apresentou valores maiores de R_{adj}^2 e menores de S para todos os níveis de

temperatura testadas. Além disso, esse modelo explicou, para todos os tratamentos, mais de 99,7% da variação no processo de secagem em leito de espuma do fruto inteiro de acerola.

Na Figura 26 são apresentadas as curvas simuladas pelos modelos para a secagem da ECP e na Tabela 14 são apresentados os valores dos parâmetros ajustados e os indicadores estatísticos coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) para cada um desses modelos, em cada nível de temperatura testado.

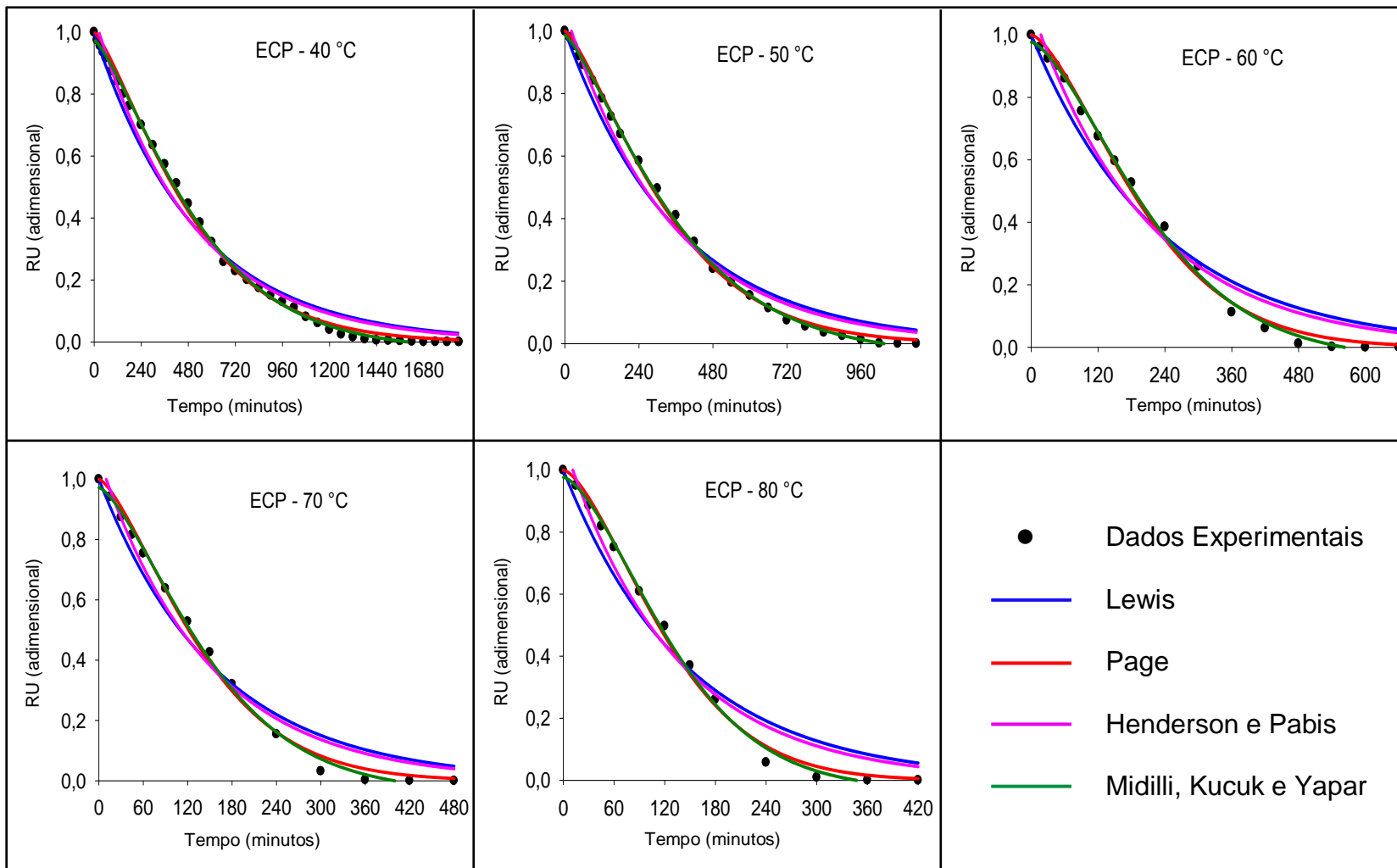


Figura 26 – Curvas de secagem em leito de espuma da ECP (espuma do coproduto de acerola) em diferentes níveis de temperatura do ar de secagem.

Tabela 14 - Parâmetros ajustados, coeficiente de determinação ajustado (R_{adj}^2) e erro padrão da regressão (S) dos modelos testados na secagem da ECP em diferentes níveis de temperatura do ar de secagem.

Tratamento - 40 °C						
Modelo	Parâmetros				R_{adj}^2	S
	k	a	b	n		
Lewis	0,0018	-	-	-	0,9878	0,0429
Page	0,0006	-	-	1,1745	0,9932	0,0322
Henderson e Pabis	0,0019	1,0417	-	-	0,9894	0,0401
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0017	1,0126	-0,00006	0,9801	0,9964	0,0235
Tratamento - 50 °C						
Lewis	0,0021	-	-	-	0,9732	0,0684
Page	0,0002	-	-	1,4100	0,9958	0,0272
Henderson e Pabis	0,0023	1,0693	-	-	0,9781	0,0619
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0003	0,9939	-0,00006	1,2635	0,9982	0,0178
Tratamento - 60 °C						
Lewis	0,0048	-	-	-	0,9679	0,0768
Page	0,0003	-	-	1,5298	0,9968	0,0242
Henderson e Pabis	0,0052	1,0853	-	-	0,9761	0,0662
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0004	1,0025	-0,00006	1,4397	0,9973	0,0224
Tratamento - 70 °C						
Lewis	0,0067	-	-	-	0,9877	0,0410
Page	0,0023	-	-	1,2136	0,9924	0,0322
Henderson e Pabis	0,0069	1,0205	-	-	0,9863	0,0433
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0029	0,9924	-0,0001	1,1523	0,9932	0,0305
Tratamento - 80 °C						
Lewis	0,0069	-	-	-	0,9582	0,0788
Page	0,0005	-	-	1,5272	0,9949	0,0276
Henderson e Pabis	0,0076	1,0898	-	-	0,9671	0,0700
Midilli, Kucuk e Yapar	0,0004	0,9764	-0,00007	1,5685	0,9958	0,0250

Ao observar a Figura 26, nota-se que, assim como na EFI, a razão de umidade reduz mais lentamente a medida que o tempo de secagem aumenta e que, visualmente, os modelos de Page e de Midilli, Kucuk e Yapar se ajustam melhor aos dados experimentais, comparado aos demais. Ao analisar a Tabela 14, é possível confirmar que o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar se ajustou de forma mais satisfatória aos dados, uma vez que apresentou valores maiores de R_{adj}^2 e menores de S para

todos os níveis de temperaturas testadas. Além disso, o referido modelo explicou, para todos os tratamentos, mais de 99,53% da variação no processo de secagem em leite de espuma do coproduto da acerola.

Maciel e seus colaboradores (2017), ao estudarem a influência da temperatura (75, 80 e 85 °C) nas curvas de secagem em leite de espuma da polpa de goiaba, com 4 e 8% de albumina, observaram que o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar apresentou melhores valores de coeficiente de determinação e menores de erro padrão da regressão, sendo, portanto, quando comparado aos modelos de Lewis, Page e logarítmico, o mais indicado para representar tal comportamento de secagem.

No entanto, assim como ocorreu no Capítulo I (item 3.5.2.1.), embora o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar seja o melhor para descrever a cinética de secagem da EFI e da ECP nas temperaturas testadas, os demais modelos ajustados podem ser utilizados para estimar suas curvas de secagem, uma vez que apresentaram, em ambos os pós, coeficiente de determinação superior a 95,8% e erro padrão da regressão menor que 0,08.

4.5.1.2. Estimativa do tempo de secagem das espumas

Os tempos de secagem das EFI e das ECP secas nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C foram estimados através do modelo de Midilli, Kucuk e Yapar e levando em consideração os mesmos critérios descritos no Capítulo I (item 3.5.2.2.).

Os resultados obtidos para os tempos de secagem das EFI e das ECP em diferentes temperaturas são apresentados nas Tabelas 15 e 16, respectivamente.

Tabela 15 – Tempos de secagem das espumas do fruto inteiro de acerola, em diferentes temperaturas do ar de secagem.

Temperatura (°C)	Tempo de Secagem (minutos)
40	1383,30
50	1075,82
60	671,18
70	463,45
80	376,69

Tabela 16 – Tempos de secagem das espumas do coproduto de acerola, em diferentes temperaturas do ar de secagem.

Temperatura (°C)	Tempo de Secagem (minutos)
40	1601,68
50	1035,63
60	562,54
70	399,99
80	347,29

Em posse dos resultados, os modelos de decrescimento exponencial foram ajustados para as EFI ($R^2 = 0,9864$) e ECP ($R^2 = 0,9867$), conforme Equação 12 e 13, respectivamente.

$$\text{Tempo de secagem (min.)} = 5617,6638 e^{-0,0345 T} \quad (12)$$

$$\text{Tempo de secagem (min.)} = 9818,6020 e^{-0,0454 T} \quad (13)$$

em que T é a temperatura do ar de secagem, em °C.

Nas Figuras 27 e 28 são apresentados os tempos de secagem estimados pelos modelos para a EFI e ECP, respectivamente, em cada temperatura avaliada. Em ambas as espumas, pode-se verificar que o aumento da temperatura do ar de secagem favoreceu a redução do tempo de secagem. Isto se deve ao fato de que o aumento da temperatura facilita a difusão das moléculas de água nos capilares da espuma e reduz a umidade relativa do ar, fazendo com que este eleve sua capacidade de receber o vapor d'água da espuma, o que permite que a água migre para o ar ambiente em uma taxa maior, e, conseqüentemente, reduza o tempo de secagem (KARIM; HAWLADER, 2005; MUJUMDAR, 2014; BAPTESTINI et al., 2015; ARAÚJO, 2017). Este comportamento também foi evidenciado por Baptestini et al. (2015), Vimercati et al. (2019) e Dehghannya et al. (2019) ao secarem, respectivamente, polpa de graviola, morango e limão em leite de espuma.

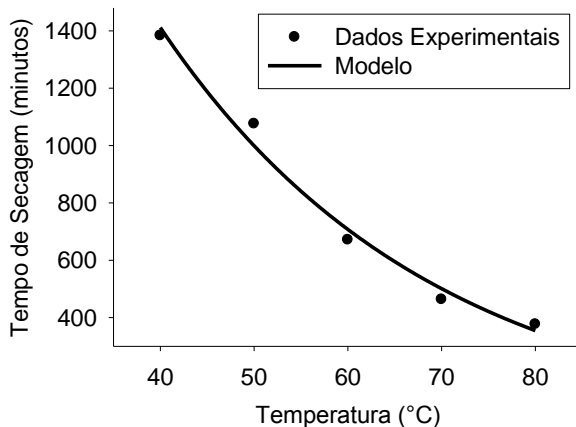


Figura 27 – Tempo de secagem da espuma do fruto inteiro de acerola em diferentes temperaturas do ar de secagem.

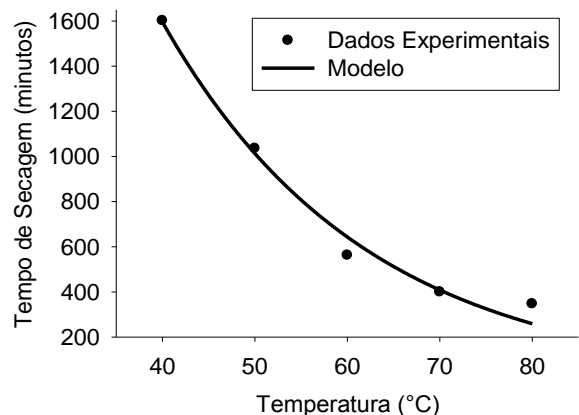


Figura 28 – Tempo de secagem do coproduto de acerola em diferentes temperaturas do ar de secagem.

De acordo com Tavares e seus colaboradores (2019), a redução do tempo médio de secagem é importante ao considerar um processo em escala industrial, uma vez que, quanto menor o tempo de secagem, menor o gasto energético e, conseqüentemente, o custo de produção. Logo, essa redução pode refletir positivamente no valor final do produto que será ofertado ao consumidor.

Entretanto, embora o aumento de temperatura reduza o tempo de secagem, sabe-se que tanto uma condição térmica elevada quanto a exposição excessiva ao calor podem degradar componentes termossensíveis ou depreciar outras propriedades físico-químicas dos pós obtidos. Desta forma, investigou-se a influência da temperatura nas características (atividade antioxidante, compostos fenólicos totais, teor de vitamina C, solubilidade e umidade) do produto final, almejando estabelecer, de fato, a melhor condição otimizada de secagem do fruto inteiro e do coproduto de acerola em leite de espuma.

4.5.2. Caracterização dos pós do fruto inteiro e do coproduto de acerola

4.5.2.1. Atividade antioxidante

A capacidade antioxidante foi avaliada por dois métodos (ABTS e DPPH), pelos mesmos motivos citados no Capítulo I (Item 3.5.3.1.).

4.5.2.1.1. Método ABTS

Observou-se que a temperatura exerceu influência significativa ($p \leq 0,05$) na atividade antioxidante (AA) quantificada pelo método ABTS, tanto para o PFI quanto para o PCP. Com isso, para estimar a AA dos pós em função dessa variável independente, foi ajustado um modelo polinomial cúbico ($R^2 = 0,9560$) para o PFI e um modelo polinomial quadrático ($R^2 = 0,8705$) para o PCP, conforme Equação 14 e 15, respectivamente.

$$\text{Ativid. antioxid. (ABTS)} = 2186,8397 - 119,2111 * T + 2,2401 * T^2 - 0,0133 * T^3 \quad (14)$$

$$\text{Ativid. antioxid. (ABTS)} = 101,6746 - 2,6603 * T + 0,0241 * T^2 \quad (15)$$

em que T é a temperatura do ar de secagem, em °C.

Na Figura 29 são apresentadas as AA estimadas pelo modelo para os PFI em cada temperatura avaliada. Pode-se observar que o aumento da temperatura até 70 °C acarretou em um aumento da AA (ABTS) destes pós e que, ao atingir 80 °C, o teor desta atividade reduziu, assumindo valores intermediários aos encontrados para as temperaturas de 50 e 60 °C. Este comportamento indica que até a temperatura de 70 °C ocorre a liberação dos compostos que garantem aos PFI a sua AA, sem que haja a sua degradação, e que, a partir dela, estes compostos são degradados.

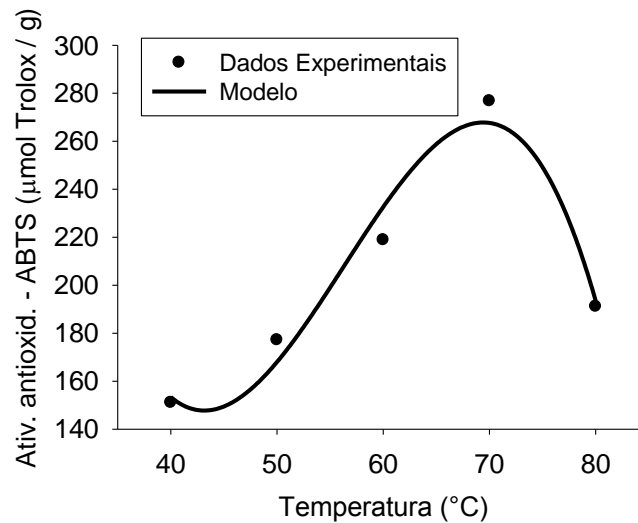


Figura 29 – Atividade antioxidante (ABTS) dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.

As AA estimadas pelo modelo para os PCP são apresentadas na Figura 30. Nesta, observa-se que a AA decresce com o aumento da temperatura de 40 para 60 °C, o que pode ser explicado pelo longo tempo de exposição dos compostos antioxidantes ao calor, uma vez que estas secagens ocorreram em um longo tempo. Quando a temperatura aumenta de 60 até 80 °C, já se observa que a AA dos PCP também aumentou, o que pode ser explicado devido ao menor tempo de exposição dos compostos ao calor, onde este tempo foi suficiente para acarretar na liberação destes compostos e não na sua degradação.

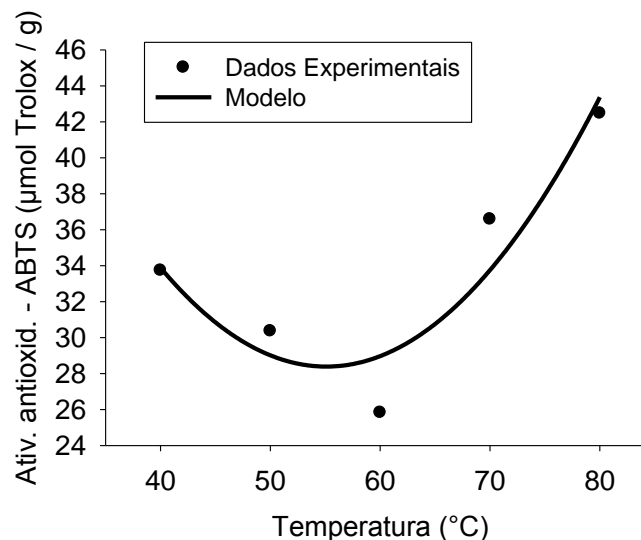


Figura 30 – Atividade antioxidante (ABTS) dos pós do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.

4.5.2.1.2. Método DPPH

Para os PFI, a temperatura exerceu influência significativa ($p \leq 0,05$) na AA quantificada pelo método DPPH, enquanto que para os PCP essa influência não foi significativa ($p > 0,05$). Foi ajustado um modelo de crescimento exponencial para os PFI ($R^2 = 0,7903$), conforme Equação 16.

$$\text{Ativid. antioxid. (DPPH)} = 52,9074 e^{0,0156 T} \quad (16)$$

em que T é a temperatura do ar de secagem, em °C.

Na Figura 31 são apresentadas as atividades antioxidantes (DPPH) estimadas pelos modelos para o PFI em cada temperatura avaliada. Nota-se que os maiores valores de AA foram alcançados com as temperaturas mais altas (70 e 80 °C), o que permite inferir que altas temperaturas e, conseqüentemente, menores tempo de exposição do produto ao calor explicam a maior AA dos pós, nas temperaturas estudadas. Além disso, trabalhos, como o de Que et al. (2008) e de Miranda et al. (2009), relatam que após processos de secagem a atividade antioxidante dos alimentos pode aumentar devido a geração e acúmulo das melanoidinas, provenientes da reação de *Maillard*, uma vez que podem conter certo grau de atividade antioxidante e, com isso, melhorar tais propriedades em processos que utilizem altas temperaturas, como de 80 e 90 °C.

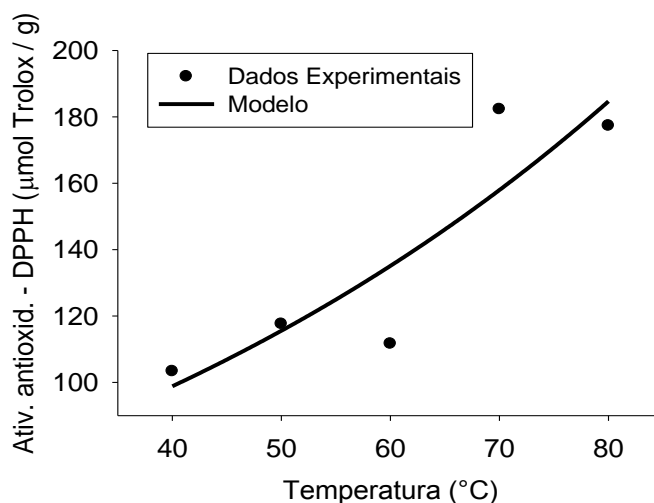


Figura 31 - Atividade antioxidante (DPPH) dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.

Os valores encontrados neste trabalho para o fruto inteiro de acerola foram superiores ao da polpa de jabolão (13,79 $\mu\text{mol/g}$) desidrata em leite de espuma a 80 °C e ao da polpa de uva seca a 60 °C (31,47 $\mu\text{mol Trolox/g}$), 70 °C (33,24 $\mu\text{mol Trolox/g}$) e 80 °C (36,10 $\mu\text{mol Trolox/g}$), pelo mesmo método de secagem (TAVARES, 2017; TAVARES et al., 2019).

Para os PCP, não houve influência ($p > 0,05$) da temperatura na AA pelo método DPPH. A média de AA entre os níveis de temperatura analisados foi de $47,89 \pm 6,68$ $\mu\text{mol Trolox/g}$.

A média de AA encontrada para os PCP foi superior às dos coprodutos liofilizados do abacaxi (5,63 $\mu\text{mol Trolox/g}$), do maracujá (10,29 $\mu\text{mol Trolox/g}$) e da manga (33,03 $\mu\text{mol Trolox/g}$), e inferiores à do caju (68,60 $\mu\text{mol Trolox/g}$) (INFANTE et al., 2013).

4.5.2.2. Conteúdo fenólico total

O conteúdo fenólico total, de ambos os pós, foi influenciado significativamente ($p \leq 0,05$) pela temperatura. Desta maneira, para estimar este conteúdo dos pós, foi ajustado um modelo de crescimento exponencial ($R^2 = 0,9336$) para o PFI e um modelo linear ($R^2 = 0,7794$) para o PCP, conforme Equação 17 e 18, respectivamente.

$$\text{Conteúdo fenólico total} = 11,7345 e^{0,0112 T} \quad (17)$$

$$\text{Conteúdo fenólico total} = 1,3135 + 0,0796 T \quad (18)$$

em que T é a temperatura do ar de secagem, em °C.

Nas Figuras 32 e 33 são apresentados os conteúdos fenólicos totais estimados pelos modelos para o PFI e PCP, respectivamente, nas diferentes temperaturas. Observa-se que o teor de compostos fenólicos totais aumenta com o aumento da temperatura, dentro do intervalo testado. Considerando que o tratamento térmico pode facilitar a extração de compostos fenólicos que estão ligados à matriz alimentar, conforme observado por Ragaee, Seetharaman e Abdel-Aal (2014), temperaturas mais altas podem promover a liberação de compostos fenólicos ou fenólicos de ligação, fazendo com que o conteúdo de compostos fenólicos livres aumentem nas amostras, como foi observado no presente trabalho.

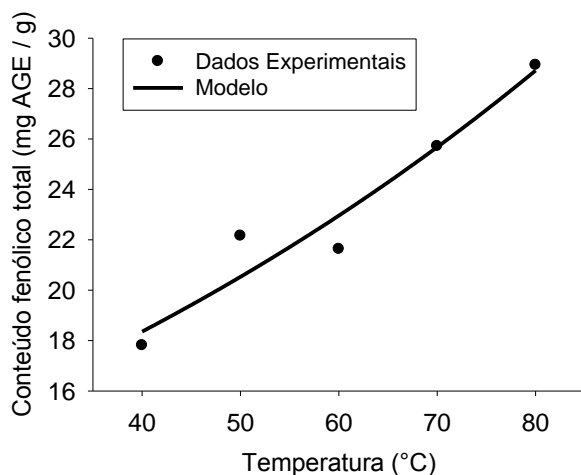


Figura 33 - Conteúdo fenólico total do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.

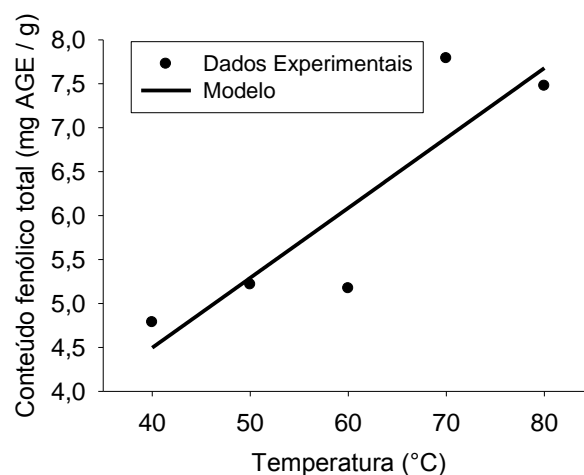


Figura 32 - Conteúdo fenólico total do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.

De acordo com Vasco (2009), os compostos fenólicos podem ser classificados como de alta (superior a 1000 mg AGE/100 g), intermediária (200-500 mg AGE/100 g) e baixa (inferior a 100 mg AGE/100 g) concentração. Considerando esta classificação sugerida pelo autor, todos os PFI podem ser classificados como pós de alta concentração de compostos fenólicos, uma vez que, para todas as temperaturas, a

concentração foi superior a 1000 mg AGE/100 g. Para os PCP, esta classificação não pode ser aplicada, visto que, para todas temperaturas (exceto a de 40 °C) o conteúdo fenólico ficou entre 5,17 e 7,79 mg AGE/g, ou seja, entre 517 e 779 mg AGE/100 g, faixa esta fora da classificação do autor.

Entretanto, pode-se observar que os maiores valores encontrados para os PCP, nas temperaturas de 70 e 80 °C, foram superiores ao da farinha de resíduo de acerola (681,02 mg AGE/100 g), de abacaxi (279,91 mg AGE/100 g) e de maracujá (103,10 mg AGE/100 g), desidratadas a 60 °C em leito fixo, e foram inferiores, porém muito próximos, ao da casca de jabuticada (887,33 mg AGE/100 g) e ao do bagaço (semente, casca e material fibroso) de uva (8,13 mg AGE/g), ambas desidratadas em leito de espuma a 50 e 55 °C, respectivamente (OLIVEIRA, 2008; ZOPELLARO; SILVA; LOVATO, 2019; ALMEIDA et al., 2020).

As variações encontradas no conteúdo fenólico dos trabalhos acima citados podem ser explicadas pelo estágio de maturação e/ou genótipo do fruto, bem como pela sazonalidade, temperatura, ataque de patógenos, radiação ultravioleta e disponibilidade hídrica e de nutrientes, os quais influenciam diretamente o metabolismo secundário de plantas e podem, conseqüentemente, afetar a resposta fenólica das mesmas (MATSUURA et al., 2001; GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Além disso, o método de secagem utilizado para desidratar o alimento também pode influenciar no teor destes compostos. No método em leito de espuma, os compostos fenólicos podem ser influenciados pelo tipo e concentração dos agentes e pela temperatura (LOBO et al., 2017). No que tange a aplicação deste método em alimentos, sabe-se que existe pouca informação sobre o efeito da temperatura do ar de secagem no conteúdo fenólico presente em matrizes vegetais desidratadas por este processo (TAVARES et al., 2019), o que torna necessário o desenvolvimento de mais estudos, sobretudo, com a utilização do fruto na sua forma integral e como coproduto, seja de acerola ou de outras frutas.

4.5.2.3. Vitamina C

A temperatura do ar de secagem exerceu influência significativa ($p \leq 0,05$) no teor de vitamina C de ambos os pós analisados. Para estimar esta variável resposta na presença das temperaturas avaliadas, foram ajustados um modelo de crescimento exponencial ($R^2 = 0,9729$) para os PFI (Equação 19) e um polinomial cúbico ($R^2 = 0,8053$) para os PCP (Equação 20).

$$\text{Vitamina C} = 79,8068 e^{0,0290 T} \quad (19)$$

$$\text{Vitamina C} = 231,7388 - 13,11092 * T + 0,2405 * T^2 - 0,0014 * T^3 \quad (20)$$

em que T é a temperatura do ar de secagem, em °C.

Na Figura 34 são apresentados os valores de vitamina C para o PFI nas temperaturas avaliadas. Nota-se um aumento crescente nos teores desta vitamina à medida que a temperatura do ar de secagem foi aumentando. Os valores obtidos a 40 e 50 °C foram consideravelmente menores, possivelmente, devido à longa exposição da espuma a estas temperaturas (conforme item 4.5.1.2.), o que fez com que a vitamina C reduzisse sua estabilidade térmica e, conseqüentemente, se degradasse. Logo, observou-se que, embora esta vitamina apresente susceptibilidade à degradação pelo calor (FREIRE et al., 2012), foi possível intensificar seus teores atuando em condições operacionais que favorecem a desidratação, como com a utilização de altas temperaturas, uma vez que uma maior rapidez do processo de secagem compensou a utilização de temperaturas elevadas. Além disso, esse aumento pode indicar eficiência da desidratação na perda de água e conseqüente acúmulo de vitamina C (BEZERRA et al., 2011).

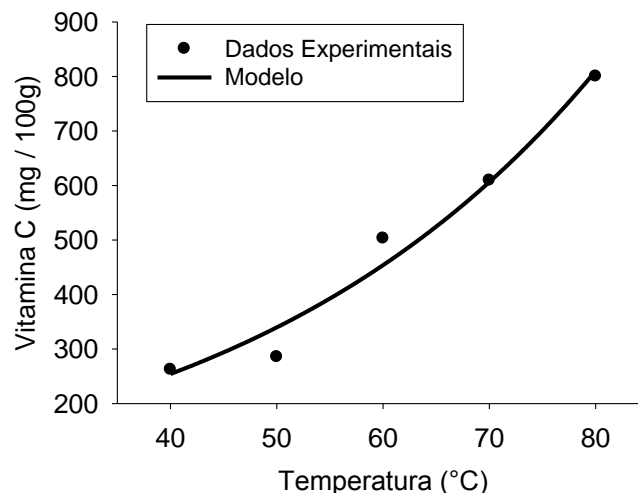


Figura 34 – Teor de vitamina C dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.

Na Figura 35 são apresentados os valores de vitamina C para o PCP, nas temperaturas avaliadas. Observa-se um aumento no conteúdo vitamínico C à medida que a temperatura aumenta de 40 até 70 °C, sendo os maiores teores obtidos nesta última. Este aumento pode ser explicado pelos motivos citados acima, para o PFI, no entanto, embora o teor desta vitamina tenha despontado na temperatura de 70 °C, verifica-se um decaimento ao atingir 80 °C, demonstrando que houve sua degradação em virtude da sua perda de estabilidade à esta temperatura.

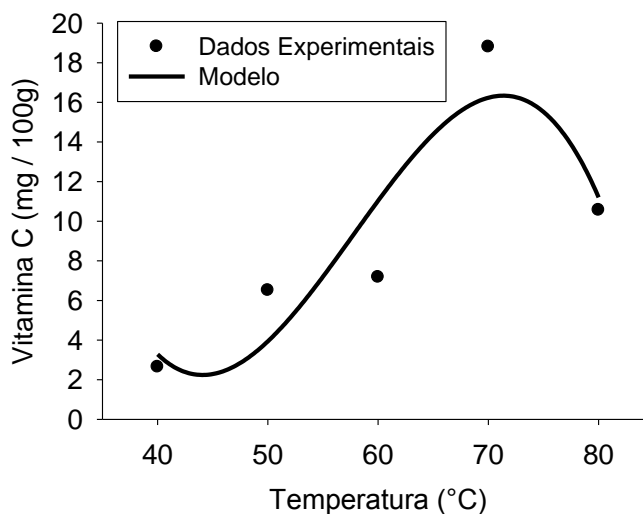


Figura 35 – Teor de vitamina C dos pós do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.

O termo vitamina C refere-se a ácido L-ascórbico (AL-A) e a ácido L-dehidroascórbico (DHA) porque ambos têm atividade vitamínica C, sendo, portanto, utilizado como um termo geral para expressar os componentes químicos que exibem atividade biológica semelhante ao ácido L-ascórbico (LEE; KADER, 2000; MERCALI et al., 2012). A degradação desta vitamina ocorre em condições aeróbicas e anaeróbicas. Este primeiro caso caracteriza-se pela oxidação reversível de AL-A em ácido DHA, que também possui atividade biológica. Em condições anaeróbicas, ocorre a oxidação irreversível adicional do DHA, gerando ácido dicetogulônico (DCG), que por sua vez não possui função biológica. A degradação da vitamina C sob condições anaeróbicas ainda não foi elucidada devido à sua complexidade, no entanto, sabe-se que é relativamente insignificante como meio de perda desta vitamina na maioria dos alimentos, sendo este mecanismo mais significativo, por exemplo, em produtos enlatados após esgotamento do oxigênio residual, mas, ainda assim, a degradação ocorre de forma lenta (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010).

A vitamina C é uma importante vitamina hidrossolúvel e que se encontra presente em grande número de vegetais e frutas. Porém, sua estabilidade nos produtos vai depender das alterações físicas, químicas, microbiológicas e nutricionais quando estes estão expostos a condições adversas de, por exemplo, temperatura, umidade, oxigênio e luz (MOURA, 2010). Além disso, fatores como, genética, estação do ano, estágio de maturação, topografia, regime pluvial, manuseio, transporte, tempo de armazenamento, entre outros fatores pré e pós-colheita, podem influenciar no teor de vitamina C de produtos alimentícios (MELO et al., 2006; SILVA, 2008). Os métodos utilizados para sua quantificação, bem como a presença de diferentes constituintes bioativos do alimento e o tipo de extração, também podem influenciar nos resultados encontrados (MIRANDA et al., 2009).

4.5.2.4. Solubilidade

Observou-se influência significativa ($p \leq 0,05$) da temperatura na solubilidade de ambos os pós. Logo, foi ajustado um modelo polinomial quadrático ($R^2 = 0,8946$) para

os PFI e um modelo de elevação exponencial ao máximo ($R^2 = 0,7890$) para os PCP, conforme Equações 21 e 22, respectivamente.

$$\text{Solubilidade} = 17,6329 + 1,2533 * T - 0,0102 * T^2 \quad (21)$$

$$\text{Solubilidade} = 43,2516 * (1 - e^{0,0555 T}) \quad (22)$$

em que T é a temperatura do ar de secagem, em °C.

Nas Figuras 36 e 37 são apresentados os percentuais de solubilidade, estimados pelos modelos para o PFI e PCP, respectivamente, nas temperaturas avaliadas. Para o PFI, observa-se que o aumento do percentual de solubilidade foi crescente com o aumento da temperatura até atingir 60 °C e, após esta, houve um decaimento neste percentual. Para o PCP, o modelo prevê um aumento da solubilidade com o aumento da temperatura, o que pode ser explicado pelo menor percentual de umidade nessas temperaturas, que por sua vez torna os pós menos pegajosos e com uma maior superfície disponível para o contato com a água de hidratação (FAZAELI et al., 2012). Um ponto em comum entre ambos os pós, foi que os menores valores de solubilidade foram alcançados na temperatura do ar de secagem igual a 40 °C.

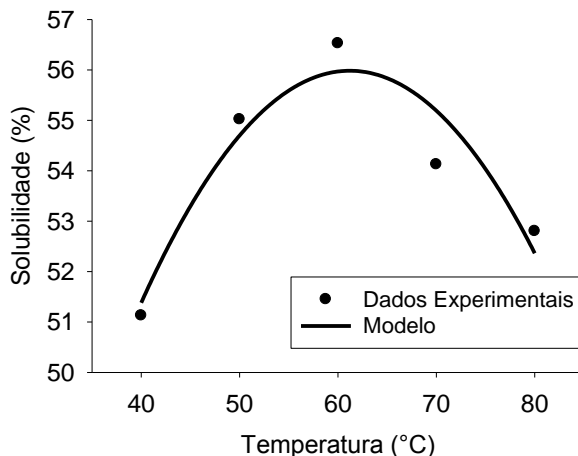


Figura 36 - Solubilidade dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.

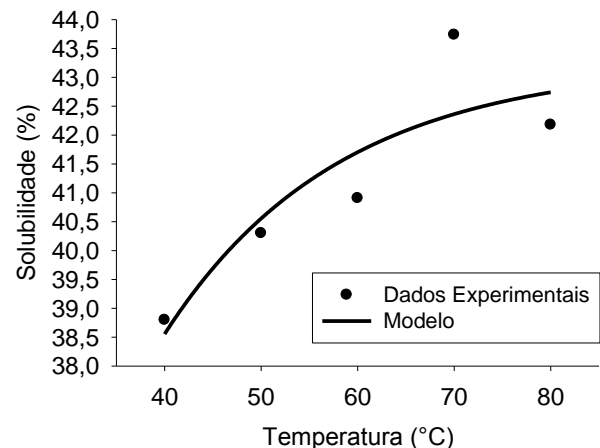


Figura 37 - Solubilidade dos pós do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.

Os percentuais de solubilidade dos PFI variaram entre 51,13 a 56,53 % e os dos PCP entre 38,80 e 43,74 %, sendo considerados pós com baixa solubilidade, o que pode ser explicado pela elevada presença de fibras insolúveis contidas tanto no fruto inteiro quanto no coproduto de acerola, utilizados no processo de secagem. Esses valores são inferiores ao do pó do coproduto de acerola (99%), obtido por spray drying, e ao do suco de yacon (81,99 g/100 g), obtido em leite de espuma (FRANCO et al., 2016; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018). No entanto, os valores encontrados neste presente trabalho foram superiores ao do purê de maçã (próximo à 30%), seco em leite de espuma a 60 °C, utilizando os agentes albumina de ovo e metilcelulose (JAKUBCZYK; GONDEK; TAMBOR, 2011) e ao pó de cuxá (30,4%), obtido a 60 °C, utilizando Emustab® como agente espumante (CAVALCANTE NETO, 2017).

4.5.2.5. Umidade

Os teores de umidade dos PFI e dos PCP foram influenciados significativamente ($p \leq 0,05$) pela temperatura do ar de secagem. Com isso, foi ajustado um modelo de decaimento exponencial para o PFI ($R^2 = 0,8684$) e para o PCP ($R^2 = 0,9875$), conforme Equação 23 e 24, respectivamente.

$$Umidade = 17,5988 e^{-0,01128 T} \quad (23)$$

$$Umidade = 23,2204 e^{-0,0189 T} \quad (24)$$

em que T é a temperatura do ar de secagem, em °C.

Nas Figuras 38 e 39 são apresentados os percentuais de umidade estimados pelos modelos para o PFI e PCP, respectivamente, nas temperaturas avaliadas. O comportamento observado indica que a utilização de temperaturas maiores na secagem resultou em um produto com menor percentual de umidade. Isto ocorre, pois quanto maior a temperatura do ar de secagem, menor será sua umidade relativa, e, conseqüentemente, maior será sua capacidade de receber vapor d'água proveniente do alimento (ARAÚJO et al., 2017).

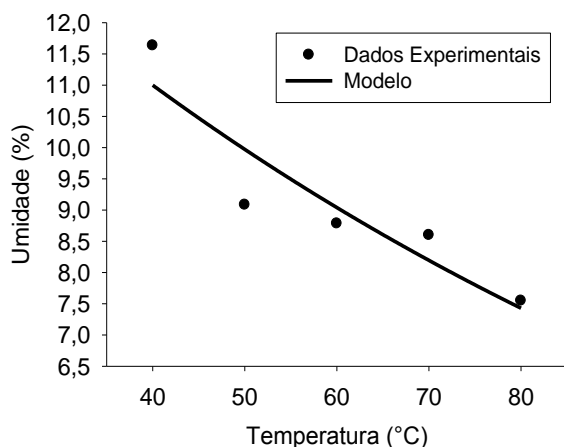


Figura 38 - Umidade dos pós do fruto inteiro de acerola em função de diferentes temperaturas.

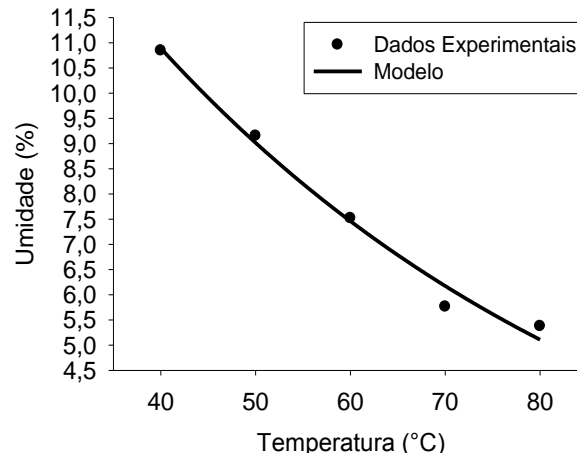


Figura 39 - Umidade dos pós do coproduto de acerola em função de diferentes temperaturas.

Para todas as temperaturas testadas, e para ambos os pós analisados, os percentuais de umidade encontraram-se dentro do limite estipulado pela Legislação Brasileira, que preconiza o máximo de 15 % de umidade para farinhas (ANVISA, 2005), o que repercute, possivelmente, em um produto estável microbiologicamente e com condições aptas para o armazenamento, desde que combinado com outro método de conservação como, por exemplo, embalagem metálica impermeável (SOARES et al., 2001), conforme procedido nesta pesquisa.

4.5.3. Otimizações da temperatura do ar de secagem pela função desejabilidade

Para se obter a desejabilidade global para produção dos pós otimizados (PFI e PCP), foi necessário calcular previamente as desejabilidades individuais de cada uma das variáveis resposta analisadas e que foram influenciadas significativamente ($p \leq 0,05$) pela temperatura.

4.5.3.1. Otimização da temperatura do ar de secagem no processo de obtenção dos pós do fruto inteiro de acerola

Para as variáveis que se desejam minimizar (umidade e tempo de secagem), o valor alvo (T) considerado foi o valor mínimo estimado pelos modelos ajustados dentro

do intervalo de 40 a 80 °C e o limite superior admissível (U) foi o valor máximo estimado dentro do mesmo intervalo. Para as variáveis resposta que se desejam maximizar (atividade antioxidante – ABTS e DPPH, conteúdo fenólico total, vitamina C e solubilidade), o valor alvo (T) considerado foi o valor máximo estimado para essas variáveis pelos modelos ajustados dentro do intervalo estudado e o limite inferior admissível (L) foi o valor mínimo. Como essas variáveis foram significativamente influenciadas pela temperatura, todas foram incluídas no processo de otimização.

Os valores de L, T e U estabelecidos para as variáveis resposta avaliadas na secagem do fruto inteiro de acerola são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Valores mínimos (L), alvos (T) e máximos (U) estabelecidos para as variáveis respostas analisadas nos pós do fruto inteiro de acerola.

Objetivo	Variáveis resposta	L	T	U
Maximizar	Atividade antioxidante – ABTS	147,7733	267,8400	-
	Atividade antioxidante - DPPH	98,8485	184,6814	-
	Conteúdo fenólico total	18,3573	28,7178	-
	Vitamina C	254,2906	810,2527	-
	Solubilidade	51,3820	55,9837	-
Minimizar	Umidade	-	7,1357	11,2063
	Tempo de secagem	-	354,6481	1411,4863

Tendo escolhido esses valores limites, foi calculada a desejabilidade global e verificou-se, conforme Figura 40, que a desejabilidade máxima foi igual a 0,8134, a qual ocorreu na temperatura de 74,47 °C, temperatura esta, onde é possível obter o conjunto de respostas mais satisfatório e estabelecer um ponto ótimo do processo de secagem do fruto inteiro de acerola em leite de espuma.

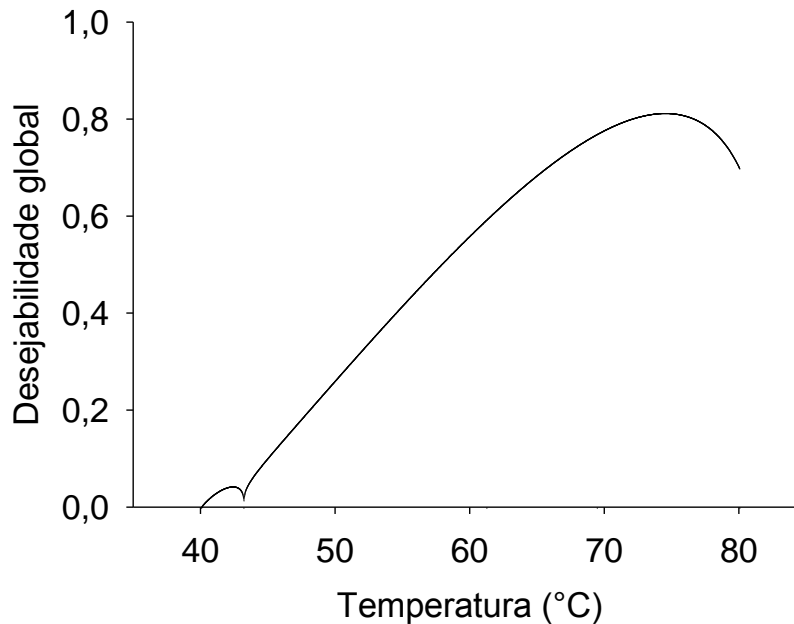


Figura 40 – Desejabilidade global em função da temperatura do ar de secagem do processo de secagem do fruto inteiro de acerola em leito de espuma.

4.5.3.2. Otimização da temperatura do ar de secagem no processo de obtenção dos pós do coproduto de acerola

Para as variáveis que se desejam minimizar (umidade e tempo de secagem), o valor alvo (T) e o limite superior admissível (U) foram definidos com base nas mesmas premissas citadas no item 4.5.3.1., assim como a determinação do valor alvo (T) e do limite inferior admissível (L) considerados para as variáveis respostas que se desejam maximizar (atividade antioxidante – ABTS, conteúdo fenólico total, vitamina C e solubilidade). Como pôde ser observado, apenas a resposta atividade antioxidante – DPPH não foi para a desejabilidade, haja vista que a mesma não foi influenciada ($p > 0,5$) pela temperatura.

Os valores de L, T e U estabelecidos para as variáveis resposta avaliadas na secagem do coproduto de acerola são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores mínimos (L), alvos (T) e máximos (U) estabelecidos para as variáveis respostas analisadas nos pós do coproduto de acerola.

Objetivo	Variáveis resposta	L	T	U
Maximizar	Atividade antioxidante - ABTS	28,3921	43,3682	-
	Conteúdo fenólico total	4,4959	7,6784	-
	Vitamina C	2,2402	16,3367	-
	Solubilidade	38,5550	42,7416	-
Minimizar	Umidade	-	5,1097	10,8927
	Tempo de secagem	-	259,3013	1595,6114

Tendo escolhido esses valores limites, foi calculada a desejabilidade global e verificou-se, conforme Figura 41, que a desejabilidade máxima foi igual a 0,9274, a qual ocorreu na temperatura de 79,86 °C. Nesta temperatura é possível obter o conjunto de respostas mais satisfatório e estabelecer um ponto ótimo do processo de secagem do coproduto de acerola em leite de espuma.

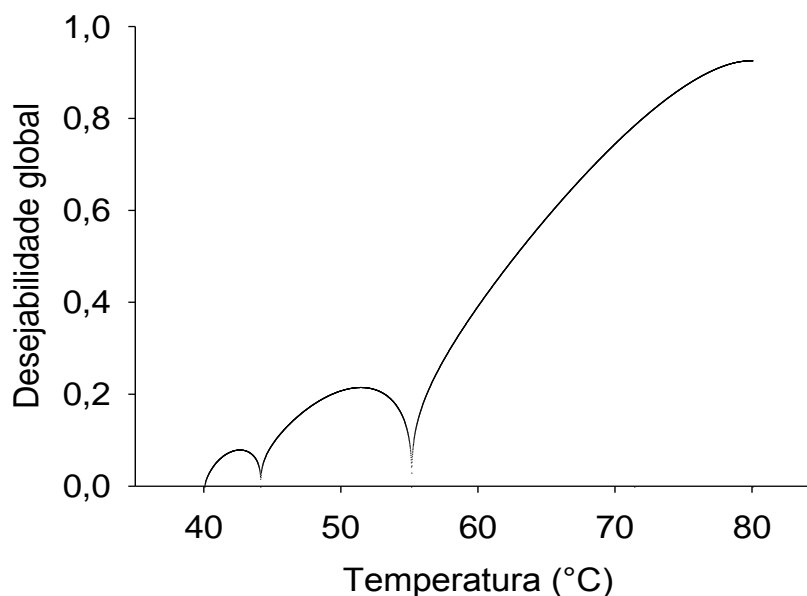


Figura 41 – Desejabilidade global em função da temperatura do ar de secagem do processo de secagem do coproduto de acerola em leite de espuma.

4.6. Conclusão

A partir deste trabalho, foi possível concluir que, para a secagem do fruto inteiro de acerola em leito de espuma:

- O modelo de Midilli, Kucuk e Yapar foi o que melhor descreveu a cinética de secagem do fruto inteiro, onde explicou mais de 99,73% da variação do processo de secagem em leito de espuma do fruto inteiro de acerola e obteve baixos valores de erro padrão da regressão ($<0,02$) para todos os tratamentos testados.

- A temperatura, nos níveis estudados (40, 50, 60, 70 e 80 °C), exerceu influência significativa ($p \leq 0,05$) nas seguintes respostas: atividade antioxidante (ABTS e DPPH), conteúdo fenólico total, vitamina C, solubilidade, umidade e tempo de secagem.

- Maiores teores de atividade antioxidante, tanto por ABTS quanto por DPPH, tendem a serem alcançados em temperaturas mais altas.

- Temperaturas mais elevadas, dentro do intervalo estudado, propiciaram um aumento crescente no conteúdo fenólico total e no teor de vitamina C dos pós.

- Menores valores de solubilidade foram verificados nas menores temperaturas.

- O aumento crescente da temperatura, dentro do intervalo estudado, promoveu um decaimento exponencial do percentual de umidade dos pós.

- Com base nas condições trabalhadas e nos testes realizados com os diferentes níveis de temperaturas analisadas, para se obter pós do fruto inteiro de acerola com o máximo de atividade antioxidante, compostos fenólicos, vitamina C e solubilidade e com o mínimo de umidade e tempo de secagem, deve-se utilizar a temperatura de 74,47 °C.

Além disso, pode-se concluir que, para a secagem do coproduto de acerola em leito de espuma:

- O modelo de Midilli, Kucuk e Yapar foi o que melhor descreveu a cinética de secagem do coproduto, apresentando elevados valores de coeficiente de determinação ($>99,7\%$) e baixos valores de erro padrão da regressão ($<0,031$) para todos os tratamentos testados.

- A temperatura, nos níveis estudados, exerceu influência significativa ($p \leq 0,05$)

nas seguintes respostas: atividade antioxidante (ABTS), conteúdo fenólico total, vitamina C, solubilidade, umidade e tempo de secagem.

- Temperaturas mais elevadas proporcionaram um aumento da atividade antioxidante (ABTS), no conteúdo fenólico total e na vitamina C dos pós.

- A solubilidade dos pós aumentou com o aumento da temperatura.

- No intervalo estudado, o aumento crescente da temperatura promoveu um decaimento exponencial no percentual de umidade dos pós.

- Com base nas condições trabalhadas e nos testes realizados com as diferentes temperaturas avaliadas, para se obter pós do coproduto de acerola com o máximo de atividade antioxidante, compostos fenólicos, vitamina C e solubilidade e com o mínimo de umidade e tempo de secagem, deve-se utilizar a temperatura de 79,86 °C.

4.7. Referências bibliográficas

ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. S.; SILVA, V. M. A.; CABRAL, M. B.; BARROS, E. F.; SOUZA, N. C.; LUIZ, M. R.; AMORIM, F. V.; SILVA, R. L. I. Determination of bioactive compounds and physicochemical composition of jaboticaba bark flour obtained by convective drying and lyophilization. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e157911876, 2020.

ALVES, J. A.; VALÉRIO, E.; VILAS, D. B.; MONTEIRO, B.; BOAS, V.; SOUZA, É. C. Qualidade de produto minimamente processado à base de abóbora, cenoura, chuchu e mandioquinha-salsa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n. 3, p. 625-634, 2010.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**, 2005. Disponível em: <<https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MjIwMw%2C%2C>>. Acesso em: 29 jan. 2020.

AQUINO, A. C. M. S.; MÓES, R. S.; LEÃO, K. M. M.; FIGUEIREDO, A. V. D., CASTRO, A. A. Avaliação físico-química e aceitação sensorial de biscoitos tipo *cookies* elaborados com farinha de resíduos de acerola. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 3, p. 379-386, set. 2010.

ARAÚJO, C. S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. N.; TEIXEIRA, L. S. Q. Foam-mat drying kinetics for acerola and adjustment of the mathematical models. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-9, 2017.

AZIZPOUR, M.; MOHEBBI, M.; KHODAPARAST, M. H. H. M. Effects of foam-mat drying temperature on physic-chemical and microstructural properties of shrimp powder. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 122-126, 2016.

BAPTESTINI, F. M.; CORRÊA, P. C.; JUNQUEIRA, M. S.; RAMOS, A. M.; VANEGAS, J. D. B.; COSTA, C. F. Modelagem matemática da secagem de espuma de graviola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1203-1208, 2015.

BARROZO, M. A. S.; SARTORI, D. J. M.; FREIRE, J. T. A study of the statistical discrimination of the drying kinetics equations. **Food and Bioproducts Processing**, v. 82, p. 219–225, 2004.

BEZERRA, T. S.; COSTA, J. M. C.; AFONSO, M. R. A.; MAIA, G. A.; CLEMENTE, E. Avaliação físico-química e aplicação de modelos matemáticos na predição do comportamento de polpas de manga desidratadas em pó. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 278-283, 2011.

BRANCO, I. G.; KIKUCHI, T. T.; ARGANDONA, E. S.; MORAES, I. C. F.; HAMINIUK, C. W. I. Drying kinetics and quality of uvaia (*Hexachlamys edulis* (O. Berg)) powder obtained by foam-mat drying. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 1703–1710, 2016.

CAETANO, A. C. S.; MELO, E. A.; LIMA, V. L. A. G.; MACIEL, M. I. S. Extraction of antioxidants from agro-industrial acerola waste. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 2, p. 155-160, abr.-jun., 2009.

CARNEIRO, T. B.; MELLO, J. G. Frutos e polpa desidratada de Buriti (*Mauritia flexuosa* L.): aspectos físicos, químicos e tecnológicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, Paraíba, v. 6, n. 2, p. 105-111, 2011.

CAVALCANTE NETO, A. A. **Desidratação de cuxá em leite de espuma: avaliação da cinética de secagem e da qualidade do produto em pó**. 2017. 119f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2017.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. *Química de Alimentos de Fennema*. Porto Alegre: Artmed, 4 ed, 2010, 889p.

DEHGHANNYAA, J.; POURAHMADA, M.; GHANBARZADEHA, B.; GHAFFARIB, H. Heat and mass transfer enhancement during foam-mat drying process of lime juice: Impact of convective hot air temperature. **International Journal of Thermal Sciences**, v. 135, p. 30-43, 2019.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, n. 4, p. 214–219, 1980.

EKPONG, A.; PHOMKONG, W.; ONSAARD, E. The effects of maltodextrin as a drying aid and drying temperature on production of tamarind powder and consumer acceptance of the powder. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 1, p. 300-308, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mandioca e Fruticultura: Acerola**. 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura>. Acesso em: 31 jan. 2020.

FAZAELI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; KALBASI ASHTARI, A.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 4, p. 667-675, 2012.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C. A.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M. L. Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, p. 503-513, 2016.

FREIRE, J. M.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D.; SIMÃO, A. A.; SANTOS, C. M. Avaliação de compostos funcionais e atividade antioxidante em farinhas de polpa de goiabas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 847-852, 2012.

FREITAS, C. A. S.; MAIA, G. A.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUSA, P. H. M. Acerola: produção, composição, aspectos nutricionais e produtos. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 395-400, 2006.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 2, n. 30, p. 374-386, 2007.

GURGEL, C. E. M. R. **Secagem da polpa de graviola (*Annona muricata* L.) em camada de espuma – Desempenho do processo e características do produto**. 2014. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2014.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agricultural Research Engineering**, v. 12, p. 732–736, 1962.

INFANTE, J.; SELANI, M. M.; TOLEDO, N. M. V.; SILVEIRA DINIZ, M. F.; ALENCAR, S. M.; SPOTO, M. H. F. Atividade antioxidante de resíduos agroindustriais de frutas tropicais. **Alimentos e Nutrição**, v. 24, n.1, p. 87-91, 2013.

JAKUBCZYK, E.; GONDEK, E.; TAMBOR, K. Characteristics of selected functional properties of apple powders obtained by the foam-mat drying method. In: **Proceedings of the 11th International Congress on Engineering and Food**, Athens, p. 1385–1386, 2011.

KARIM, A. A.; WAI, C. C. Foam-mat drying of starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree. Stability and air drying characteristics. **Food Chemistry**, v. 64, n. 3, p. 337-343, 1999.

KARIM, M. A.; HAWLADER, M. N. A. Drying characteristics of banana: theoretical modelling and experimental validation. **Journal Food Engineering**, v. 70, n. 1, p. 35-45, 2005.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 3, p. 207-220, 2000.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solid materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 13, n. 5, p. 427–433, 1921.

LOBO, F. A.; NASCIMENTO, M. A.; DOMINGUES, J. R.; FALCÃO, D. Q.; HERNANZ, D.; HEREDIA, F. J.; AUAÚJO, K. G. L. Foam mat drying of *Tommy Atkins* mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity. **Food Chemistry**, v. 221, p. 258–266, 2017.

MACIEL, K. S. **Otimização das condições do processo de secagem do extrato de café em leito de espuma e aplicação em mistura para cappuccino**. 2017. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre- ES, 2017.

MACIEL, R. M. G.; AFONSO, M. R. A.; DA COSTA, J. M. C.; SEVERO, L. S.; DE LIMA, N. D. Mathematical modeling of the foam-mat drying curves of guava pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 10, p. 721-725, 2017.

MATSUURA, F. C. A. U.; CARDOSO, R. L.; FOLEGATTI, M. I. D. S.; OLIVEIRA, J. R. P.; OLIVEIRA, J. A. B. D.; SANTOS, D. B. D. Avaliações físico-químicas em frutos de diferentes genótipos de acerola (*Malpighia puniceifolia* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 602-606, 2001.

MELO, E. D. A.; LIMA, V. L. A. G.; MACIEL, M. I. S.; CAETANO, A. D. S.; LEAL, F. L. L. Polyphenol, ascorbic acid and total carotenoid contents in common fruits and vegetables. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 2, p. 89-94, 2006.

MERCALI, G. D.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Study of vitamin C degradation in acerola pulp during ohmic and conventional heat treatment. **LWT-Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 91-95, 2012.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 7, p. 1503–1513, 2002.

MIRANDA, M.; MAUREIRA, H.; RODRÍGUEZ, K. VEGA-GÁLVEZ, A. Influence of temperature on the drying kinetics, physicochemical properties, and antioxidant capacity of Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) gel. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 297-304, 2009.

MOURA, S. M. **Estabilidade de acerola em pó oriunda de cultivo orgânico**. 2010. 112f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MUJUMDAR, A. S. 2014. **Handbook of Industrial Drying**, 4th Ed. USA:Taylor and Francis. 1312p.

OLIVEIRA, A. C. **Capacidade antioxidante de farinhas de resíduos de frutas tropicais**. 2008. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) - Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. 1949. Dissertação (Mestrado) - Purdue University, West Lafayette, 1949.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. M.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation**, Santiago, v. 2, n. 1, p. 118-127. 2007.

PINTO, E. G. **Caracterização da espuma de jenipapo (*Genipa americana* L.) com diferentes aditivos visando à secagem em leite de espuma**. 2009. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2009.

QUE, F.; MAO, L.; FANG, X.; TAO, W. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, p. 1195-1201, 2008.

RAGAE, S.; SEETHARAMAN, K.; ABDEL-AAL, E-S. M. The impact of milling and thermal processing on phenolic compounds in cereal grains. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 7, p. 837-849, 2014.

REIS, D. S.; NETO, A. F.; FERRAZ, A. V.; FREITAS, S. T. Production and storage stability of acerola flour dehydrated at different temperatures. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 20, p. 1-7, 2017.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281–291, 2018.

SANTOS, P. P. **Otimização do processo de secagem do extrato de beterraba em leite de espuma**. 2018. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES, 2018.

SILVA, A. S. **Avaliação da secagem do bagaço de cajá usando planejamento fatorial composto central**. 2008. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. Dehydration of acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue in a new designed rotary dryer: Effect of process variables on main bioactive compounds. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, p. 62-70, 2016.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA JUNIOR, A.; FILHO, M. S. Desidratação da polpa de acerola (*Malpighia emarginata*

D.C.) pelo processo foam-mat. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

TAVARES, I. M. C. **Uva BRS Violeta (BRS Rúbea x IAC 1398-21) e Jambolão (*Syzygium cumini* (L.))**: estudo de alterações químicas e bioquímicas na produção de suco desidratado pelo processo de secagem em leito de espuma. 2017. 203f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", São José do Rio Preto, 2017.

TAVARES, I. M. C.; CASTILHOS, M. B. M.; MAURO, M. A.; RAMOS, A. M.; SOUZA, R. T.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GOMES, E.; DA-SILVA, R.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; LAGO-VANZELA, E. S. BRS Violeta (BRS Rúbea x IAC 1398-21) grape juice powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 298, n. 15, p. 1-11, nov., 2019.

VASCO, C. **Phenolic compounds in Ecuadorian fruits**. 2009. 61f. Doctoral Thesis - Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2009.

VIMERCATI, W. C.; MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. S.; TEIXEIRA, L. J. P.; SARAIVA, S. H. Effect of temperature on drying kinetic in foam mat and anthocyanin degradation in strawberry. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 22, p. 1-12, 2019.

WILSON, R. A.; KADAM, D. M.; CHADHA, S.; SHARMA, M. Foam mat drying characteristics of mango pulp. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, v. 2, n. 4, p. 63-69, 2012.

ZOPELLARO, S. R.; SILVA, S. Z.; LOVATO, F. R. Total phenolic compounds and antioxidant activity of grape residue flour. **Journal of Health**, v. 1, n. 2, p. 154-163, 2019.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do ajuste de modelos matemáticos foi possível observar que, tanto para o pó do fruto inteiro, quanto para o pó do coproduto de acerola, o modelo de Midilli, Kucuk e Yapar foi o que melhor descreveu a cinética de secagem.

Nos pós do fruto inteiro de acerola, a concentração dos agentes (Emustab[®] e maltodextrina) apenas não exerceu influência na atividade antioxidante (ABTS e DPPH), no conteúdo fenólico total e na umidade, enquanto que a temperatura influenciou todas as respostas analisadas.

Nos pós do coproduto de acerola, não houve influência significativa da concentração dos agentes (Emustab[®] e maltodextrina) na atividade antioxidante (ABTS) e no conteúdo fenólico total, enquanto que a temperatura não influenciou significativamente na atividade antioxidante (DPPH).

Em ambos os pós, o emprego de temperaturas altas, dentro do intervalo estudado, propiciou o aumento na atividade antioxidante, no conteúdo fenólico total, na vitamina C e na solubilidade, bem como reduziu o tempo de secagem e a umidade.

A utilização de 3,04% de Emustab[®] e 5,12% de maltodextrina, na temperatura de 74,47 °C, corresponde às condições ótimas para produção do pó do fruto inteiro de acerola em leito de espuma.

A utilização de 7,92% de Emustab[®] e 3,28% de maltodextrina, na temperatura de 79,86 °C, corresponde às condições ótimas para produção do pó do coproduto de acerola em leito de espuma.

Para trabalhos futuros, sugere-se que os pós obtidos sejam testados na suplementação da dieta ou aplicados em formulações alimentícias, como, sorvetes, bebidas, biscoitos e pães.