



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO

**INFLUÊNCIA DA SECAGEM CONVECTIVA DO RESÍDUO AGROINDUSTRIAL
DE ACEROLA VERDE NA EXTRAÇÃO E ENCAPSULAMENTO DE COMPOSTOS
BIOATIVOS**

NAILTON DE MACEDO ALBUQUERQUE JUNIOR

**CAMPINA GRANDE - PB
FEVEREIRO - 2022**

NAILTON DE MACEDO ALBUQUERQUE JUNIOR

**INFLUÊNCIA DA SECAGEM CONVECTIVA DO RESÍDUO AGROINDUSTRIAL
DE ACEROLA VERDE NA EXTRAÇÃO E ENCAPSULAMENTO DE COMPOSTOS
BIOATIVOS**

Trabalho de Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

ORIENTADOR: Prof. Dr. Wilton Pereira da Silva

CAMPINA GRANDE – PB

FEVEREIRO – 2022

A345p

Albuquerque Junior, Nailton de Macedo.

Influência da secagem convectiva do resíduo agroindustrial de acerola verde na extração e encapsulamento de compostos bioativos / Nailton de Macedo Albuquerque Junior. – Campina Grande, 2022.

130 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

“Orientação: Prof. Dr. Wilton Pereira da Silva”.

Referências.

1. Acerola – Secagem Convectiva. 2. Resíduos Agroindustrial – Acerola Verde. 3. Antioxidantes. 4. Aproveitamento e Otimização. 5. Microencapsulação. 6. Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas. I. Silva, Wilton Pereira da. II. Título.

CDU 634.3:631.365(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

NAILTON DE MACEDO ALBUQUERQUE JUNIOR

INFLUÊNCIA DA SECAGEM CONVECTIVA DO RESÍDUO AGROINDUSTRIAL DE ACEROLA VERDE NA EXTRAÇÃO E ENCAPSULAMENTO DE COMPOSTOS BIOATIVOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 25/02/2022

Wilton Pereira da Silva - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Josivanda Palmeira Gomes - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Cleide Maria Diniz da Silva e Silva - Examinador(a) Externo(a) - UAF/CCT/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **WILTON PEREIRA DA SILVA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 04/03/2022, às 11:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSIVANDA PALMEIRA GOMES, COORDENADOR DE POS-GRADUACAO**, em 04/03/2022, às 11:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **CLEIDE MARIA DINIZ PEREIRA DA SILVA E SILVA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 04/03/2022, às 12:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>,



informando o código verificador **2150202** e o código CRC **740DFC8F**.

Referência: Processo nº 23096.005450/2022-96

SEI nº 2150202

DEDICATÓRIA

A Deus, por sempre estar presente na minha vida, me dando forças em todos os momentos; e aos meus pais e minhas irmãs, que me deram muito apoio e ajuda durante essa caminhada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse durante toda minha vida e, não somente nestes anos como mestrando, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais, Suely e Nailton, que além de me conceberem à vida, me acompanharam, incentivaram e nunca mediram esforços para me apoiar, de modo que me fizessem chegar até onde cheguei; às minhas irmãs Suila, Samara e Nailly, à minha Tia Bel e a meu avô Nézio, que durante essa caminhada acreditaram em mim, me incentivando, apoiando e aconselhando em todos os momentos.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela experiência proporcionada durante os anos vinculado à instituição.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wilton Pereira da Silva, pela confiança, ensinamentos e contribuições para minha formação acadêmica.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, que passaram pela minha história e escreveram capítulos importantes na minha vida; especialmente a Prof^ª Dr.^a Josivanda Palmeira Gomes e Prof^ª Dr.^a Rossana Maria Feitosa Figueiredo, por toda paciência, dedicação e oportunidades; além de serem exemplo de professoras, servindo de inspiração para mim como profissional.

À banca examinadora.

Aos meus amigos Débora, Ana Beatriz, Tainara, Vitória, Emilly, Rosenildo, Lídia e Moisés, que estiveram ao meu lado me apoiando e auxiliando durante o tempo de trabalho, proporcionando momentos de alegria.

À Prof.^a Dr.^a Ana Júlia de Brito Araújo Carvalho e, ao Prof. Dr. Marcos dos Santos Lima, por todos os seus ensinamentos, sugestões, contribuições e parceria durante esse tempo de mestrado.

Aos colegas e amigos que a UFCG e a cidade de Campina Grande me proporcionaram: Priscylla Vital, Douglas Vinicius, Tayron Juliano, Manoel Andrade, Paulo Afuso e Seu Marcelo; pelos laços de amizade ali criados que vou levar por toda a minha vida.

RESUMO

O fruto da acerola, na sua forma *in natura*, cuja parte do seu volume é designada para procedimentos de beneficiamento, tem gerado grandes quantidades de resíduos que em sua maioria são descartados. No entanto, nestes resíduos além do ácido ascórbico, contém a presença de importantes compostos fenólicos com propriedades antioxidantes. Dessa forma, a secagem é uma das alternativas empregadas para o aproveitamento desses resíduos, uma vez que viabiliza a diversificação dos produtos. Além disso, a extração e a microencapsulação dos compostos bioativos, presentes no resíduo de acerola, podem aumentar o valor comercial da matéria-prima e a rentabilidade do processamento da acerola. Sendo assim, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência da secagem convectiva do resíduo agroindustrial de acerola verde nos compostos bioativos e na capacidade antioxidante. Para isso, foram avaliados extratos bioativos elaborados com o resíduo de acerola verde *in natura* preparado em diferentes temperaturas de secagem, realizando a otimização do processo de extração e do processo de microencapsulação, por meio do planejamento fatorial do tipo 2^3 com três repetições no ponto central e, a caracterização física e físico-química do pó, que apresentou maior atividade bioativa. A análise dos resultados permitiu verificar que o modelo de Page foi o que melhor descreveu o processo de secagem em todas as condições de temperaturas estudadas. A difusividade efetiva apresentou valores satisfatórios ($6,58 \times 10^{-10}$ e $1,85 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), observando que apenas a temperatura apresentou efeito significativo no processo de secagem e, a partir das propriedades termodinâmicas, foi possível concluir que estas foram afetadas pelo aumento da temperatura de secagem, com reduções de entalpia e entropia e aumento da energia livre de Gibbs, indicando um processo endergônico não espontâneo. A aplicação da otimização da extração assistida por ultrassom, proporcionou teores elevados de compostos bioativos, onde o modelo de regressão apresentou ajuste satisfatório aos dados experimentais, tendo como principal influência no processo o tempo de contato da amostra com solvente. Na otimização da microencapsulação o modelo de regressão pode ser empregado para fins preditivos, onde dentre as condições, o percentual do encapsulante foi a principal variável que exibiu efeitos significativos, permitindo obter micropartículas ricas em compostos antioxidantes devido à utilização do encapsulante Capsul® (amido modificado), que favoreceu uma maior retenção dos compostos bioativos. Dessa forma, o resíduo de acerola verde é um coproduto interessante para ser reaproveitado, com grande potencial antioxidante devido aos seus compostos bioativos, podendo substituir os antioxidantes sintéticos na indústria, como também em elaboração de alimentos funcionais.

Palavras-chaves: resíduos, antioxidantes, aproveitamento, otimização, microencapsulação.

ABSTRACT

The acerola fruit in its unprocessed form, which part of its volume is designated for processing procedures, generating large amounts of waste that are mostly discarded. However, these residues, besides the ascorbic acid, contain the presence of important phenolic compounds with antioxidant properties. Thus, drying is one of the alternatives used for the utilization of these residues, since it enables the diversification of products. Moreover, the extraction and microencapsulation of bioactive compounds present in the acerola residue can increase the commercial value of the raw material and the profitability of acerola processing. Thus, the present study was carried out with the objective of evaluating the influence of convective drying of green acerola agroindustrial residue on bioactive compounds and antioxidant capacity. For this, bioactive extracts prepared with the residue of green acerola in natura and prepared at different drying temperatures were evaluated, performing the optimization of the extraction process and the microencapsulation process through factorial planning of the type 2^3 with three repetitions in the central point, in addition to the physical and physicochemical characterization of the powder that showed more bioactive activity. The analysis of the results showed that the Page model best described the drying process in all temperature conditions studied. The effective diffusivity showed satisfactory values (6.58×10^{-10} and $1.85 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), noting that only the temperature had a significant effect on the drying process and from the thermodynamic properties it was possible to conclude that these were affected by increasing drying temperature, with reductions in enthalpy and entropy and increased Gibbs free energy indicating a non-spontaneous endergonic process. The application of ultrasound-assisted extraction optimization provided high contents of bioactive compounds, where the regression model showed satisfactory fit to the experimental data, having as the main influence on the process the contact time of the sample with solvent. In the optimization of microencapsulation, the regression model can be used for predictive purposes, where among the conditions the percentage of encapsulant was the main variable that showed significant effects, allowing to obtain microparticles rich in antioxidant compounds, due to the use of Capsul® (modified starch) encapsulant that favored a greater retention of bioactive compounds. Thus, the residue of green acerola is an interesting co-product to be reused, with great antioxidant potential, due to its bioactive compounds, which can replace synthetic antioxidants in the industry, as well as in the preparation of functional foods.

Keywords: waste, antioxidants, utilization, optimization, microencapsulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resíduo agroindustrial de acerola verde <i>in natura</i>	26
Figura 2. Peneira Granulométrica de 600 mesh.....	31
Figura 3. Banho ultrassônico.....	34
Figura 4. <i>Spray Dryer</i>	35
Figura 5. Representação da cor no espaço L*, a* e b*.....	41
Figura 6. Cinética de secagem do modelo de Page na temperatura de 50 °C.....	56
Figura 7. Cinética de secagem do modelo de Page na temperatura de 60 °C.....	57
Figura 8. Cinética de secagem do modelo de Page na temperatura de 70 °C.....	57
Figura 9. Cinética de secagem do resíduo de acerola verde descrito pelo ajuste do modelo de Page nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	58
Figura 10. Taxa de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde desidratado nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	59
Figura 11. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais na extração do conteúdo bioativo total.....	77
Figura 12. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais para o método ABTS.....	80
Figura 13. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais para o método DPPH.....	80
Figura 14. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais para o método FRAP.....	81
Figura 15. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais no microencapsulamento dos compostos bioativos totais.....	87
Figura 16. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais no microencapsulamento pelo método ABTS.....	87
Figura 17. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais no microencapsulamento pelo método DPPH.....	88
Figura 18. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais no microencapsulamento pelo método FRAP.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Modelos Matemáticos aplicados para ajuste dos dados experimentais.....	28
Tabela 4.2. Níveis do planejamento experimental do estudo da extração.....	34
Tabela 4.3. Matriz do planejamento fatorial 2^3 com cinco repetições no ponto central.....	34
Tabela 4.4. Níveis do planejamento fatorial 2^3 do microencapsulamento.....	36
Tabela 4.5. Matriz do planejamento fatorial do processo de secagem por <i>Spray Dryer</i>	36
Tabela 5.1. Caracterização físico-química do resíduo de acerola verde <i>in natura</i>	47
Tabela 5.2. Análise de cor do resíduo de acerola verde <i>in natura</i>	49
Tabela 5.3. Caracterização dos compostos fenólicos totais e atividade antioxidante do resíduo <i>in natura</i>	50
Tabela 5.4. Ajuste do modelo de Midili aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	52
Tabela 5.5. Ajuste do modelo de Henderson & Pabis aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	52
Tabela 5.6. Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	53
Tabela 5.7. Ajuste do modelo de Logarítmico aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	53
Tabela 5.8. Ajuste do modelo de Lewis aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.....	54
Tabela 5.9. Ajuste do modelo de Aproximação da difusão aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.....	54
Tabela 5.10. Difusividade efetiva do pó do resíduo de acerola verde.....	60
Tabela 5.11. Propriedades termodinâmicas do resíduo de acerola verde desidratado.....	62
Tabela 5.12. Caracterização dos compostos bioativos dos pós nas diferentes temperaturas...63	63
Tabela 5.13. Caracterização físico-química do resíduo desidratado a 50 °C.....	65
Tabela 5.14. Análise de cor do pó do resíduo desidratado a 50 °C.....	68
Tabela 5.15. Caracterização física do pó que apresentou maior atividade bioativa.....	69
Tabela 5.16. Perfil de Minerais do pó do resíduo de acerola verde.....	72
Tabela 5.17. Caracterização dos extratos nos ensaios na extração assistida por ultrassom.....	73
Tabela 5.18. Coeficientes de regressão para resposta do conteúdo bioativo total do pó do resíduo de acerola verde.....	75
Tabela 5.19. Análise de variância (ANOVA) para o conteúdo bioativo total do pó do resíduo de acerola verde.....	76

Tabela 5.20. Coeficientes de regressão para resposta da capacidade antioxidante do pó do resíduo de acerola verde.....	78
Tabela 5.21. Análise de variância (ANOVA) para a capacidade antioxidante do pó do resíduo de acerola verde.....	79
Tabela 5.22. Caracterização dos compostos bioativos totais e da atividade antioxidante em cada ensaio do microencapsulamento.....	83
Tabela 5.23. Coeficientes de regressão para resposta da compostos bioativos totais e atividade antioxidante do pó do resíduo de acerola verde.....	85
Tabela 5.24. Análise de variância para os fenólicos totais e atividade antioxidante.....	86
Tabela 5.25. Perfil de compostos fenólicos ($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$) do resíduo de agroindustrial acerola verde <i>in natura</i> (IN), secagem convectiva a 50 °C (S), melhor ensaio do extrato do ultrassom (U), e melhor ensaio do microencapsulamento (M).....	90

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Cálculo da razão de umidade.....	27
Equação 2. Cálculo do coeficiente de determinação.....	28
Equação 3. Cálculo do DQM.....	28
Equação 4. Cálculo do Qui-quadrado.....	28
Equação 5. Cálculo da Difusividade Efetiva.....	29
Equação 6. Cálculo da Energia de ativação.....	29
Equação 7. Cálculo da Entalpia.....	30
Equação 8. Cálculo da Entropia.....	30
Equação 9. Cálculo da Energia livre de Gibbis.....	30
Equação 10. Cálculo do Percentual de inibição dos radicais.....	32
Equação 11. Cálculo para Umidade.....	37
Equação 12. Cálculo para Cinzas.....	38
Equação 13. Cálculo para Acidez titulável.....	39
Equação 14. Cálculo para Carotenoides.....	39
Equação 15. Cálculo para Clorofila total.....	40
Equação 16. Cálculo de Rendimento.....	41
Equação 17. Cálculo para Molhabilidade.....	41
Equação 18. Cálculo para Solubilidade.....	42
Equação 19. Cálculo para Higroscopicidade.....	42
Equação 20. Cálculo de Índice de absorção de água.....	43
Equação 21. Cálculo para Densidade aparente.....	43
Equação 22. Cálculo para Densidade compactada.....	44
Equação 23. Cálculo para Índice de compressibilidade.....	44
Equação 23. Cálculo para Fator de Hausner.....	45

LISTA DE SÍMBOLOS

A_w	Atividade de água
D	Difusividade de massa efetiva ($m^2.s^{-1}$)
L	Espessura da placa infinita (m)
n	Índice de somatórios
n_t	Números de termos da série
R^2	Coefficiente de determinação (sem dimensão)
t	Tempo de secagem (s)
T	Temperatura ($^{\circ}C$)
$X_{amostra}$	Teor de água da amostra ($g.g^{-1}$)
X^*	Teor de água em base seca ($g.g^{-1}$)
X_0	Teor de água inicial em base seca ($g.g^{-1}$)
X_e	Teor de água de equilíbrio em base seca ($g.g^{-1}$)
X^*	Coefficiente de umidade sem dimensão ou razão de umidade (sem dimensão)
χ^2	Qui-quadrado
ΔH	Entalpia ($J.mol^{-1}$)
ΔS	Entropia ($J.mol^{-1}$)
ΔG	Energia livre de Gibbs ($J.mol^{-1}$)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral.....	19
2.1.1 Objetivos específicos	19
3. REVISÃO DA LITERATURA	20
3.1 Reaproveitamento de resíduos agroindustriais	20
3.2 Acerola.....	21
3.3 Compostos fenólicos e atividade antioxidante.....	22
3.5 Farinha	23
3.6 Processo de secagem.....	24
3.7 Impacto da secagem nos compostos bioativos.....	25
4. METODOLOGIA	27
4.1 Local do experimento.....	27
4.2 Resíduo agroindustrial de acerola	27
4.3 Preparo do resíduo agroindustrial de acerola.....	28
4.3.1 Secagem convectiva	28
4.3.2 Cinética de secagem	28
4.3.3 Modelos Matemáticos para a secagem	28
4.3.4 Propriedades Termodinâmicas	30
4.3.5 Moagem.....	32
4.4 Elaboração de extratos hidroalcoólicos com o resíduo de acerola verde preparado nas diferentes temperaturas de secagem.....	32
4.5 Avaliação do conteúdo bioativo total dos extratos	32
4.5.1 Fenólicos totais	32
4.5.2 Atividade antioxidante DPPH e ABTS	33
4.5.3 Atividade antioxidante FRAP.....	34
4.5.4 Vitamina C.....	34

4.9 Otimização do processo de extração dos compostos bioativos	34
4.8 Obtenção do Extrato hidroetanólico para o microencapsulamento	36
4.9 Otimização do processo de microencapsulamento no <i>Spray Dryer</i>	36
4.10 Caracterização dos compostos bioativos por HPLC	38
4.11 Caracterização do perfil de minerais	38
4.12 Caracterização físico-química do pó	38
4.12.1 Teor de umidade	39
4.12.2 Atividade de água	39
4.12.3 Cinzas	39
4.12.4 Sólidos solúveis	40
4.12.5 Acidez titulável - AT (Expressa em acidez total)	40
4.12.6 Pontencial hidrogenionico (pH)	41
4.12.7 Clorofilas totais e Carotenoides	41
4.13 Caracterização física do pó	42
4.13.1 Rendimento do pó	42
4.13.2 Molhabilidade	43
4.13.3 Solubilidade	43
4.13.4 Higroscopicidade	43
4.13.5 Índice de absorção de água	44
4.13.6 Densidade aparente	44
4.13.7 Densidade compactada	45
4.13.8 Densidade absoluta	45
4.13.9 Índice de compressibilidade	45
4.13.10 Fator de Hausner	46
4.15 Análise Estatística	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1 Caracterização físico-química e composição bioativa total do resíduo agroindustrial de acerola verde <i>in natura</i>	47

5.2 Modelos matemáticos	51
5.3 Cinética de Secagem	55
5.4 Taxas de secagem	59
5.5 Propriedades termodinâmicas	60
5.5.1 Difusividade Efetiva.....	60
5.5.2 Energia de ativação, entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG)	61
5.6 Caracterização dos compostos bioativos totais dos pós.....	63
5.6 Caracterização físico-química do pó.....	65
5.7 Caracterização física do pó	68
5.8 Perfil de Minerais.....	71
5.9 Otimização do processo de extração assistida por ultrassom	73
5.9.1 Compostos fenólicos totais.....	75
5.9.2 Capacidade antioxidante.....	77
5.10 Otimização do processo de microencapsulação por <i>Spray Dryer</i>	82
5.10.1 Compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante	84
5.11 Perfil de compostos fenólicos por cromatografia líquida	89
5.10.1 Flavanóis.....	91
5.10.2 Flavonóis e Estilbenos	92
5.10.3 Ácidos Fenólicos	93
5.10.4 Flavononas.....	93
6. CONCLUSÃO	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICE A	120
APÊNDICE B	126

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil aparece como o terceiro maior produtor mundial de frutas, ficando atrás apenas da China e Índia, respectivamente (SEAB/DERAL, 2020), com aproximadamente 45 milhões de toneladas por ano, das quais 65% no mercado interno e 35% no mercado externo (EMBRAPA, 2019). Dados da ABRAFRUTAS (2021) mostram que o cultivo de frutas atingiu um aumento de 29% na exportação de frutas em 2021, onde foram exportadas 515 mil toneladas apenas no primeiro semestre.

Entre as variedades cultivadas no país está a acerola (*Malpighia emarginata* D.C.), que é uma fruta de origem tropical e uma das principais espécies produzidas no Brasil, principalmente no Vale do Submédio São Francisco, situado na região Nordeste do país. Esta região é responsável por 25% da produção nacional, equivalente a cerca de 1 milhão de hectares, com uma produção da ordem de 6 mil toneladas por ano (AGRIANUAL, 2019; IBGE, 2019).

Apesar de sua importância, a maioria da produção é destinada ao processamento para extração de vitamina C, uma vez que a venda e o consumo da acerola *in natura* são muito limitados pela alta perecibilidade dos frutos. Porém, o aumento da preocupação com a saúde e a busca por alimentos funcionais colocam a acerola na lista das frutas mais recomendadas, por apresentar alta concentração de ácido ascórbico que pode chegar a 5% da massa das frutas frescas, ou aproximadamente 80 vezes a concentrações encontradas em frutas cítricas como laranja e limão (CUNHA et al., 2014; ANCOS et al., 2017).

Devido ao elevado potencial de aproveitamento industrial do fruto da acerola, ocasionou-se o crescimento da produção industrial, sobretudo com a acerola verde, a qual é utilizada principalmente para extração de vitamina C e elaboração de sucos concentrados/clarificados, porém, tendo como consequência o aumento da formação de resíduos os que geralmente têm como destino o descarte no meio ambiente. Tais resíduos, geralmente formados por cascas, sementes ou caroços e partes não utilizadas no processo industrial podem ser aproveitados como matéria-prima de característica orgânica e utilizados em diversos processos.

Com a finalidade de evitar desperdícios e, assim, reduzir o impacto no meio ambiente, na sociedade e na economia, o reaproveitamento de resíduos agrícolas industriais é essencial. Dessa forma, a elaboração de uma farinha pode ser considerada uma alternativa de reutilização desses resíduos, visto que seu processamento é de baixa complexidade, apresentando vantagens nutricionais em relação ao conteúdo de nutrientes como vitaminas, fibras, minerais e compostos bioativos. Com isso, o processo de secagem vem a minimizar

um problema ambiental e, ao mesmo tempo, proporcionar a obtenção de um produto com valor agregado e diversas aplicabilidades comerciais.

O processo de secagem envolve a diminuição do conteúdo de água do produto até que ele atinja um nível seguro, podendo ser aplicada para garantir a preservação da qualidade fisiológica e físico-química do produto a ser armazenado durante um longo período (SANTOS et al., 2019). Dentre os processos, tem-se a microencapsulação, que é uma das tecnologias de proteção de compostos e aumenta a vida útil e estabilidade dos fenólicos com menor custo de processo (YOUSUF et al., 2015).

A partir da elaboração de farinhas de subprodutos, estes podem ser utilizados para aquisição de extratos, que são elaborados mediante várias técnicas clássicas também nomeadas de técnicas convencionais para a extração de compostos bioativos. Todavia, esses processos de extração exibem desvantagens como alto consumo de energia, baixa eficiência e longo tempo de extração (NAFFATI et al., 2017). Portanto, os extratos cuja composição possui compostos bioativos e capacidade antioxidante, são de particular interesse para a indústria alimentícia, tendo com funcionalidade a conservação de alimentos, podendo ser usados como ingrediente funcional e/ou aditivo natural.

Sendo assim, devido ao aumento da preocupação em relação às questões ambientais quanto aos resíduos agroindustriais, como também a grande importância dos produtos funcionais para a área de ciência e tecnologia de alimentos e, o impacto que o processo de secagem proporciona à conservação dos produtos, o presente estudo visa avaliar a influência do processo de secagem convectiva nos compostos bioativos e, a atividade antioxidante em extratos bioativos e microencapsulados do resíduo agroindustrial de acerola verde (*Malpighia emarginata* D.C.).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da secagem convectiva do resíduo agroindustrial de acerola verde sobre o potencial antioxidante de extratos bioativos e microencapsulados obtidos desse material, bem como verificar as características físicas e físico-químicas do produto.

2.1.1 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização físico-química e do conteúdo bioativo total do resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura*;
- Estudar a cinética de secagem convectiva do resíduo agroindustrial de acerola verde em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C);
- Realizar a moagem, a padronização da granulometria do resíduo de acerola verde seco em diferentes temperaturas de secagem e, armazená-lo em embalagens de polietileno;
- Elaborar os extratos hidroalcoólicos com o resíduo agroindustrial desidratado elaborado em diferentes temperaturas de secagem;
- Avaliar cada extrato hidroalcoólico quanto ao teor de fenólicos totais, atividade antioxidante;
- Realizar a caracterização física e físico-química do pó do resíduo de acerola verde que apresentar maiores atividades bioativas;
- Otimizar o processo de extração do conteúdo bioativo total, utilizando o resíduo na condição ótima de temperatura de secagem;
- Otimizar o processo de microencapsulamento dos compostos bioativos totais no *Spray Dryer*, utilizando o resíduo na condição ótima de temperatura de secagem;
- Caracterizar o extrato *in natura* e desidratado, melhor condição de otimização da extração e melhor condição da microencapsulação quanto aos compostos bioativos por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Reaproveitamento de resíduos agroindustriais

O Brasil é um país rico em biodiversidade, sendo favorecido devido sua localização geográfica. Portanto, a produção de frutas no país aumenta a cada ano. Em 2020, o Brasil foi o terceiro maior produtor de frutas do mundo, com 58 milhões de toneladas em frutas produzidas (5,4% do total mundial). Os maiores produtores foram a China com 28,1%, seguida da Índia com 11,5%, ambos com crescimentos na participação mundial (GLOBO, 2021).

No país, verifica-se que a produção de frutas é uma excelente opção para disseminar a agroindústria. Não há meios econômicos, mas tem um papel social significativo, concebendo o trabalho e o lucro ao longo de todo o ano. A alta demanda interna e externa de frutas é resultado, principalmente, de seu valor nutricional associada aos seus atributos sensoriais, se tornando altamente estimada pelos consumidores (FONSECA, 2014).

As causas do desperdício de alimentos variam desde as perdas na colheita e armazenamento, até o descarte das partes menos convencionais, antes, durante e após o seu processamento, além do comportamento da sociedade, com a compra desenfreada e a escolha pelo padrão estético do alimento. As consequências desse desperdício acabam refletindo também em problemas ambientais, tendo em vista que os recursos naturais utilizados para a produção dos alimentos não serão devidamente aproveitados (NASCIMENTO, 2018).

A partir de pesquisas na área da agroindústria, é possível tanto melhorar a qualidade dos produtos, quanto analisar formas de reaproveitamento e biotransformação de seus resíduos para diversas finalidades (EMBRAPA, 2020). Com isso, o aproveitamento de resíduos agroindustriais se mostra frente ao desperdício de alimentos e ao beneficiamento e processamento desses, uma grande oportunidade de desenvolvimento de subprodutos, como também agregação de valor perdido e, utilização sustentável desses resíduos (COSTA et al., 2017).

A criação de novos produtos ou extração de substâncias ou nutrientes, baseados na utilização de resíduos de frutas, corresponde a uma alternativa sustentável, pois o aproveitamento integral de frutas e outros produtos de origem vegetal minimizam a produção de lixo orgânico e, aumentam a vida útil do alimento. Essa prática tem ainda a vantagem de poder ser aplicada tanto no setor industrial como no ambiente residencial (SILVA et al., 2009).

3.2 Acerola

A família Malpighiaceae tem 77 gêneros, contendo cerca de 1.300 espécies, a maioria das quais são encontradas no continente americano. Portanto, é considerado o centro de origem deste grupo taxonômico (GUIMARÃES et al., 2016). Por sua vez, o gênero *Malpighia*, pertencente a esta família de plantas, contém cerca de 45 espécies, incluindo *Malpighia emarginata* D.C., cultivadas principalmente por suas frutas ricas em vitamina C (BELWAL et al., 2018).

De acordo com Corrêa et al. (2017), a acerola é cultivada na América do Sul, principalmente na Colômbia, Equador, Venezuela e Brasil, sendo este último, o principal produtor, consumidor e exportador dessa fruta no mundo, com uma área plantada de 7.200 ha e, uma produção média de 150.000 t/ano⁻¹. A região nordeste do Brasil é a mais importante deste sistema produtivo, que contribui na área de 3.100 ha e produtividade de 96.000 t de frutas, principalmente para o consumo agroindustrial e em fresco (PINHEIRO et al., 2019).

A acerola é uma fruta com sabor agradável e um reconhecido valor nutricional. O cultivo de acerola é uma opção viável que representa uma nova alternativa ao investimento, especialmente considerando que sua demanda aumentou durante a última década, graças ao seu alto teor de ácido ascórbico, flavonoides, antocianinas e carotenoides (ARRÁZOLA et al., 2014; CARVAJAL et al., 2015).

A acerola é uma fruta pequena com semente relativamente grande quando comparada ao seu tamanho. O consumo da fruta *in natura* é um pouco limitado, pois a fruta apresenta alta perecibilidade, logo seu processamento necessita de certa tecnologia para manutenção de seus nutrientes. A transformação do fruto em produtos processados possibilita absorver grande parte da produção, propiciando o consumo durante todo o ano e reduzindo parte do desperdício (CHIM et al., 2013).

A acerola se tornou forte candidata para o desenvolvimento e enriquecimento de produtos alimentícios considerados funcionais, ou seja, com efeitos benéficos à saúde, e assim, aumentando o potencial comercial da fruta (CRUZ et al., 2019). Além disso, o poder antioxidante da acerola também pode ser usado no aumento e melhoramento da qualidade de produtos da indústria, a fim de evitar a rancidificação oxidativa de lipídios, que leva ao aparecimento de off-flavours indesejáveis, perda do valor nutricional e perda da qualidade do alimento (CRUZ et al., 2019).

O processamento do fruto da acerola em polpas, sucos, geleias e outros, gera um resíduo composto por casca, semente e porções da fruta não comestível. Esse resíduo descartado representa cerca de 40% do volume da fruta. As partes inutilizadas da fruta

acabam causando um impacto ambiental negativo, com gasto de energia e desperdício de matéria-prima. Aliado à busca por tecnologias limpas com menor geração de resíduos, a busca por reaproveitamento dos subprodutos da fruta se faz necessária (NOGUEIRA et al, 2019).

Em estudos realizados por Prakash e Baskaran (2018), para caracterização do resíduo, foi possível verificar que quantidades significativas de antocianinas, compostos fenólicos e vitamina C estão presentes nos resíduos. Compostos estes que podem ser utilizados como suplementos em produtos, enriquecendo-os nutricionalmente. Quantificando os compostos bioativos presentes na polpa e nos produtos secundários provenientes do processamento da fruta, foi possível notar que as quantidades de antocianinas e flavonoides contidos no subproduto do processamento eram maiores do que na polpa e produtos (PRAKASH e BASKARAN, 2018).

Uma das formas de reaproveitamento dos subprodutos da fruta é através da elaboração de farinhas (BRAGA et al, 2011). Considerando que o resíduo da acerola pode apresentar mais de 80% em água na sua composição, é necessário submetê-lo a um processo de secagem. A farinha obtida pode ser incorporada posteriormente em diversos produtos. A outra forma de reaproveitamento é a elaboração de extratos ricos em compostos da acerola utilizando diferentes processos de extração e solventes (TAMARA et al., 2016).

3.3 Compostos fenólicos e atividade antioxidante

Os compostos bioativos, também conhecidos como fitoquímicos, são representados por diversas famílias de moléculas, como flavonóis, glucosinolatos, ácidos fenólicos, isoflavonas, flavonas, carotenoides e fitoestrógenos (SEPTEMBRE-MALATERRE et al., 2017). Esses compostos são considerados metabólitos secundários, ou seja, não são essenciais para o metabolismo básico das plantas (RENARD, 2018). Os compostos fenólicos estão entre os compostos antioxidantes naturais mais estudados, uma vez que apresentam atividade antimicrobiana, anti-inflamatória ou antienvelhecimento e podem permear a pele (SOTO et al., 2015).

A atividade antioxidante destes compostos é de grande importância no organismo humano. Uma vez que atuam contra os radicais livres, moléculas quimicamente instáveis formadas a partir de um desequilíbrio entre a geração das espécies reativas de oxigênio (EROs), e a ação das enzimas antioxidantes em sua atividade contrária à ação dessas EROs (AHMAD et al., 2016). Além das EROs, os antioxidantes também podem atuar controlando ou prevenindo a formação das espécies reativas de nitrogênio, moléculas formadas durante o

metabolismo celular, muito reativas e passíveis de causar danos celulares (SINGH e KUMARI, 2015).

Sendo assim, os compostos bioativos devem ser levados em consideração ao se avaliar o valor nutricional dos frutos por contribuírem para a qualidade final do mesmo (SOUZA et al., 2012). Entretanto, deve-se atentar que tais compostos, como outros constituintes dessas espécies vegetais, oscilam sua quantidade em função de fatores como a variedade da espécie, o tipo de solo do plantio, a temperatura média do clima, a presença e qualidade de fertilizantes utilizados na sua produção (OLIVEIRA, 2011).

Além disso, alimentos ricos em compostos bioativos necessitam ter uma escolha cuidadosa de método de preservação. Uma vez que seu valor nutritivo poderá ser comprometido a depender do processamento escolhido, ou ainda, resultar no prejuízo de características sensoriais, como a cor, que pode ser afetada pela deterioração de pigmentos (NORA et al., 2014).

O amplo interesse em relação aos antioxidantes deve-se aos efeitos desses compostos sobre os radicais livres e, conseqüentes benefícios que promovem ao organismo. Além disso, a falta de terapias eficazes para a maioria das doenças crônicas faz com que a utilidade de antioxidantes na proteção contra essas doenças, seja cada vez mais estudada. Tais efeitos, em síntese, resultam do potencial de óxido-redução de determinados compostos; capacidade de competição por sítios ativos e receptores nas múltiplas estruturas celulares; ou ainda, habilidade em modular a expressão de genes que codificam proteínas envolvidas em mecanismos intracelulares de defesa contra processos oxidativos degenerativos de estruturas celulares (DNA, membranas) (BASTOS et al., 2009; MARTINS et al., 2016).

Um antioxidante é uma substância que pode interferir em ciclos oxidativos para inibir ou retardar danos oxidativos em biomoléculas. Essas substâncias podem interagir, com segurança, com radicais livres e terminam a reação em cadeia antes de danificar moléculas vitais, utilizando diversos mecanismos como a eliminação de espécies que iniciam a peroxidação, quelação de metais para impedir a geração de espécies reativas ou decomposição de peróxidos, interação com O_2 para a prevenção da formação de peróxidos, interrupção da reação em cadeia auto-oxidativa, e/ou redução de concentrações de O_2 localizadas (OROIAN et al., 2015; SHAHIDI e ZHONG, 2015).

3.5 Farinha

Desde meados da década de 1970, uma das alternativas que vem ganhando espaço (no que diz respeito ao desperdício de comida pela indústria de alimentos) é o aproveitamento

desses resíduos como matéria prima para elaboração de outros produtos que possam ser incluídos principalmente na alimentação humana e, de forma acessória, na alimentação animal. Um desses produtos é a farinha, considerada um produto de baixo custo e que agrada a maior parcela da população brasileira, sobretudo nas regiões norte e nordeste, onde seu consumo é culturalmente mais acentuado (GOMES et al., 2016).

Em termos científicos, a farinha é um pó desidratado rico em amido e que pode ser utilizado na alimentação e complementação da alimentação de pessoas e animais. O produto geralmente é obtido a partir da moagem de cereais como o trigo, milho ou cevada, mas recentemente também vem sendo utilizadas outras partes de frutas e vegetais, como as raízes, talos, cascas e sementes. A farinha é utilizada na produção de centenas de produtos alimentícios como pães, massas, bolachas, bolos, sopas, macarrões, dentre outros (SOUZA et al., 2016).

Algumas pesquisas têm mostrado que dietas ricas em frutas, verduras e legumes têm associação direta com a longevidade e, a menor incidência de doenças crônicas e degenerativas no organismo humano. Um dos principais aspectos relacionados a esse fenômeno pode ser atribuído à presença de compostos antioxidantes, como os compostos fenólicos, além de sais minerais, betacaroteno, e vitaminas, em especial a vitamina C e E nesses produtos, inclusive nas partes menos convencionais, como cascas e talos (SOUZA et al., 2016).

As farinhas de frutas manifestam alguns aperfeiçoamentos quando comparadas com farinhas de cereais, como conservação e concentração de teor nutricional superior, tempo de secagem, diferentes características físicas e químicas, que possibilitam alta série de finalidades e distintas formas de uso de alimentos (BARBOSA et al., 2016).

A farinha de acerola é um produto que pode ser obtido da desidratação da fruta na forma *in natura* ou dos resíduos provenientes do processamento, como opção para resolver o problema das perdas pós-colheita causadas pela sensibilidade dos frutos, principalmente durante a colheita e transporte. Deste modo, a produção da farinha de acerola é uma das formas de garantir a conservação dessa fruta por mais tempo e, de melhor aproveitamento dos seus constituintes (CARNEIRO e MELLO, 2011).

3.6 Processo de secagem

A secagem, possivelmente, é um dos métodos mais antigos de preservação de alimentos pós-colheita empregados pelo homem. Este processo baseia-se na retirada de água de um material, com transferência de calor e massa, ou seja, conserva o material restringindo

a umidade presente, sendo uma tecnologia que geralmente leva a poucas alterações sensoriais e nutritivas (ERBAY; ICIER, 2010; ONWUDE et al, 2016).

Existem diversos tipos de secagem, no entanto, a secagem normalmente é realizada em secadores de convecção forçada de ar quente, que podem ter o formato de silos ou túneis, no qual o material a ser seco é disposto em bandejas de modo a facilitar a passagem de ar (SANTOS, 1998). O ar é o meio de secagem mais aplicado, devido a sua abundância na natureza, conveniência e facilidade no controle do aquecimento do alimento (VASCONCELOS e MELO FILHO, 2010).

A secagem convectiva, com o uso de ar quente, ainda é o mais popular método aplicado para remover água de frutas e verduras prolongando seu tempo de prateleira (DEHGHANNYA et al. 2016). A remoção de água líquida durante o processo de secagem deve garantir que não ocorram reações bioquímicas indesejadas (BABU et al., 2018).

A secagem convectiva é um dos métodos de conservação mais utilizados para estabilizar frutas e aumentar sua vida útil, porém, como é comum em materiais biológicos, a variabilidade de estrutura e composição exige, para aplicações precisas do processo, que cada material seja estudado em suas especificidades. Nesse sentido, a modelagem matemática da cinética de secagem é a ferramenta padrão para lidar com essa complexidade, disponibilizando informações para otimizar o processo (CASTRO et al., 2018).

Além da secagem convectiva, outra técnica de secagem é por atomização (*spray-drying*), que é muito utilizada na indústria de alimentos, como na elaboração de sucos de frutas em pó, sendo um processo econômico e flexível, realizado em um equipamento de fácil manipulação (FELLOWS, 2006; MOSER et al., 2016).

O *spray drying* é bastante utilizado para microencapsulação de ingredientes (ARARUNA et al., 2013; BOTREL et al., 2014; HIJO et al., 2015). A encapsulação pode ser definida como a inclusão de pequenas partículas sólidas, gotículas líquidas ou gases em um material de revestimento (DRUSCH et al., 2012), e permite a formação de uma barreira física entre o meio externo e os materiais sensíveis do núcleo, protegendo esses compostos da umidade, pH e oxidação (NESTERENKO et al., 2013).

3.7 Impacto da secagem nos compostos bioativos

Alterações indesejáveis podem ocorrer em produtos desidratados devido à presença de oxigênio na secagem intermediária. A secagem de alimentos, especialmente frutas e vegetais com propriedades antioxidantes, é uma operação de processo difícil, principalmente em razão

das alterações indesejáveis na qualidade dos produtos desidratados (RAJKUMAR et al., 2007).

De acordo com Fellows (2006), todos os produtos submetidos ao processo de secagem sofrem modificações que acarretam mudanças de qualidade quando comparados aos produtos frescos. Essas alterações estão relacionadas, sobretudo, à textura, aroma e sabor dos alimentos, porém, em muitos casos, a mudança de cor e valor nutricional é também significativa. A textura do alimento sofre maiores alterações, na maioria das vezes, quando o alimento é submetido à secagem rápida em altas temperaturas. Já a redução do sabor e aroma nos produtos desidratados é ocasionada principalmente pela perda de componentes voláteis.

No entanto, essas modificações estruturais podem favorecer perdas de compostos antioxidantes nos resíduos. Em frutas e hortaliças in natura, a estrutura celular de alguns compostos antioxidantes, como compostos fenólicos, estão presentes em formas complexadas com proteínas, o que lhes conferem certa estabilidade (DELGADO-VARGAS et al., 2000). Todavia, durante as várias etapas de secagem, a estrutura celular e os complexos formados podem ser quebrados, expondo os compostos bioativos a fatores adversos.

A estabilidade destes compostos varia de acordo com a exposição a altas temperaturas, oxigênio atmosférico circulante através da ventilação, exposição à luz (raios UV), umidade relativa, acidez, presença de agentes catalisadores como metais e, das próprias 32 conformações estruturais da matriz vegetal (KIM, et al., 2004; REGIER et al., 2005).

Sabe-se que compostos bioativos são perdidos durante a secagem. Existem relatos acerca da degradação de carotenoides (RODRIGUEZ-AMAYA, 1999), bem como é conhecida a sensibilidade do ácido ascórbico ao calor e a oxidação (VALENTE et al., 2011). Portanto, o ideal é um curto tempo de secagem, baixa temperatura, baixa umidade e baixos níveis de oxigênio durante o armazenamento, a fim de evitar grandes impactos e consequentemente perdas desse composto bioativo no produto (FELLOWS, 2006), devido ao tempo de armazenamento também influenciar na degradação dos compostos bioativos presentes no alimento desidratado, levando à diminuição gradativa dos níveis de carotenoides, ácido ascórbico e compostos fenólicos com o decorrer do tempo (CRUZ, 2011).

Dessa forma, o controle desses parâmetros operacionais do processo de secagem é importante para garantir a qualidade final do produto. Estes podem ser definidos a partir de um estudo de cinética, no qual a difusividade efetiva de umidade, a temperatura e a energia de ativação do processo, fornecem um design ideal de secagem para o material estudado (PURANIK et al., 2012; MGHAZLI et al., 2017).

4. METODOLOGIA

4.1 Local do experimento

A pesquisa foi conduzida nos Laboratórios de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) e no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), ambos pertencentes à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizados na Cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba, Brasil; e no Laboratório Experimental de Alimentos (LEA), pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão-PE), Campus Petrolina, localizado na cidade de Petrolina, no estado de Pernambuco, Brasil.

4.2 Resíduo agroindustrial de acerola

O resíduo agroindustrial de acerola verde a ser utilizado nesse trabalho foi cedido pela indústria de beneficiamento de frutas NIAGRO - Nichirei do Brasil Agrícola Ltda., localizada no distrito industrial em Petrolina/PE.

Figura 1. Resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura*.



Fonte: Autor, 2022.

O aproveitamento do resíduo a ser estudado neste trabalho foi feito com o resíduo desidratado. O objetivo de estudar o resíduo desidratado é devido ao material ser de fácil armazenamento. Para isso, o resíduo que foi estudado, cedido pela empresa, foi mantido sob refrigeração a -8 °C, e em seguida, o resíduo que foi utilizado, desidratado e moído foi submetido a três etapas de preparo: secagem, moagem e embalagem.

4.3 Preparo do resíduo agroindustrial de acerola

4.3.1 Secagem convectiva

A secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde foi realizada em um secador de estufa com circulação forçada de ar ajustado para operar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

As temperaturas de secagem foram escolhidas com base nas faixas usualmente utilizadas para produtos agrícolas. Os experimentos foram realizados em triplicata, sendo adicionado em cada bandeja, aproximadamente 100g do resíduo e, as pesagens foram feitas em balança analítica até atingirem peso constante.

Para o ajuste matemático das curvas de secagem dos resíduos foram utilizadas equações de primeira e segunda ordem, a depender do perfil cinético obtido, sendo ajustadas com o auxílio do processador matemático Statistica, versão 12.0.

4.3.2 Cinética de secagem

A cinética de secagem do resíduo de agroindustrial verde (com espessura média de 0.5 cm) foi construída com base nos pesos das amostras, sendo as pesagens feitas em intervalos pré-determinados (5, 10, 30, 90 e 110 min), até que a massa das amostras atingisse variação mínima de 0,01g, indicando assim, o equilíbrio higroscópico, a fim de determinar e montar as curvas de secagem e o tempo necessário que o resíduo gastaria para ficar totalmente seco.

Através dos dados experimentais, foi possível calcular os valores da razão do teor de água através da Equação 1.

$$RX = \frac{X_{bs} - X_e}{X_{bs\ inicial} - X_e} \quad (1)$$

Onde:

RX = Razão de umidade (adimensional) num tempo t ;

X_e = Teor de água de equilíbrio em base seca;

X_{bs} = Teor de água em base seca num tempo t ;

$X_{bs\ (inicial)}$ = Teor de água inicial em base seca.

4.3.3 Modelos Matemáticos para a secagem

Com o cálculo da razão de teor de água, traçaram-se as curvas da cinética de secagem, representada pela razão do teor de água em função do tempo de secagem em min, aplicando os modelos matemáticos demonstrados na tabela 4.1 abaixo, para ajustar aos dados experimentais.

Para análise dos ajustes dos modelos matemáticos aos dados experimentais foi utilizado o programa computacional Statistica versão 12.0, utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton. Os modelos foram selecionados tomando-se como parâmetro a magnitude do coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 4.1. Modelos Matemáticos aplicados para ajuste dos dados experimentais.

Modelos	Equação
Midili	$RX = a \exp(-kt^n) + bt$
Henderson & Pabis	$RX = a \exp(-kt)$
Page	$RX = \exp(-kt^n)$
Logarítmico	$RX = a \exp(-kt) + c$
Lewis	$RX = \exp(-kt)$
Aproximação da difusão	$RX = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$

Fonte: Autor (2022).

Os critérios usados para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram o coeficiente de determinação (R^2), desvio quadrado médio (DQM) e a função qui-quadrado (χ^2), calculado pela Equação 2, 3 e 4, respectivamente.

$$R^2 = 1 - \left(\sum_{i=1}^n \frac{(RX_{pred,i} - RX_{exp,i})^2}{(RX_{exp,i} - RX_{pred,i})} \right) \quad (2)$$

$$DQM = \sqrt{\frac{\sum (RX_{exp}^* - RX_{pre}^*)^2}{N}} \quad (3)$$

$$\chi^2 = \sqrt{\sum (X_{exp}^* - X_{pre}^*)^2} \quad (4)$$

Onde:

R^2 = coeficiente de determinação;

$RX_{pred,i}$ = razão do teor de água predito pelo modelo;
 $RX_{exp,i}$ = razão do teor de água experimental;
 RX_{exp} = Razão de água obtida experimentalmente;
 RX_{pre} = Razão de água predita pelo modelo matemático;
 N = número de constantes do modelo;
 n = Número de observações ao longo do experimento;
 X^2 = Qui-quadrado;
 X_{pre} = Razão de umidade predita pelo modelo;
 X_{exp} = Razão de umidade experimental.

4.3.4 Propriedades Termodinâmicas

4.3.4.1 Modelo de Difusão

Considerando que o resíduo agroindustrial de acerola verde se comporta como um sólido homogêneo e isotrópico, cuja distribuição inicial da umidade é uniforme e, que a difusão líquida é o único mecanismo de transporte de água dentro do sólido, foi definido o modelo mais adequado para definir a difusão de água do produto. Além disso, supõe-se que as dimensões do sólido não apresentaram variações durante a difusão, assim como a difusividade efetiva, estimando assim, a migração de água por difusão.

Os coeficientes de difusão efetiva (D_{ef}) para as temperaturas de secagem de 50, 60 e 70 °C foram determinados baseados na teoria da difusão líquida, representada pela equação da segunda Lei de Fick (Equação 5), considerando-se a forma geométrica do resíduo agroindustrial de acerola verde como aproximada a uma placa plana.

$$Rx = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D}{L^2} t \right] \quad (5)$$

Onde:

D = coeficiente de difusão efetivo ($m^2 \cdot s^{-1}$);
 n = número de termos da equação;
 L = dimensão característica (meia espessura da camada);
 t = tempo (s).

4.3.4.2 Energia de Ativação

Por meio da Equação de Arrhenius (Equação 6) foi determinada a relação da difusividade com as temperaturas usadas no processo de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde.

$$D = D_0 \exp \left(-\frac{E_a}{R(T + 273,15)} \right) \quad (6)$$

Onde:

D_0 = é uma constante chamada de fator pré-exponencial;

R = é a constante universal dos gases ideais (8,314 J.mol K⁻¹).

O ajuste da Equação aos valores de difusividade obtidos em diferentes temperaturas possibilita a determinação da energia de ativação (E_a).

A determinação da energia de ativação permitiu o cálculo das diferentes propriedades termodinâmicas como entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, utilizando o método descrito Jideani e Mpotokwana (2009), conforme as Equações 7, 8 e 9, respectivamente.

$$\Delta H = E_a - R (T + 273,15) \quad (7)$$

$$\Delta S = R \left[\ln D_0 - \ln \left(\frac{k_b}{h_p} \right) - \ln(T + 273,15) \right] \quad (8)$$

$$\Delta G = \Delta H - (T + 273,15) * \Delta S \quad (9)$$

Onde:

ΔH = entalpia específica (J.mol⁻¹);

E_a = energia de ativação (J.mol⁻¹);

ΔS = entropia específica (J.mol K⁻¹);

ΔG = energia livre de Gibbs (J.mol⁻¹);

k_b = constante de Boltzmann (1,38×10⁻²³ J.K⁻¹);

h_b = constante de Planck (6,626×10⁻³⁴ J.s⁻¹);

T = temperatura (°C).

4.3.5 Moagem

Após o processo de secagem em cada condição, os resíduos foram submetidos à moagem em um moinho de facas, posteriormente padronizados em uma mesma granulometria, utilizando uma peneira de 600 mesh (como mostra a figura 2 abaixo) e, por fim, embalados em embalagens herméticas e mantidos em temperatura ambiente, sendo devidamente identificados para cada condição de secagem.

Figura 2. Peneira Granulométrica de 600 mesh.



Fonte: Autor, 2022.

4.4 Elaboração de extratos hidroalcoólicos com o resíduo de acerola verde preparado nas diferentes temperaturas de secagem

A elaboração dos extratos hidroalcoólicos foi realizada com o RAA preparado sob as temperaturas de secagem, utilizando como solvente o etanol em uma concentração de 50 % (v.v⁻¹), numa proporção de 01 g de resíduo para 40 mL de solvente e por um período de 60 min em banho ultrassônico. Após esse tempo, cada extrato foi filtrado em sistema de filtração a vácuo e armazenado em frasco âmbar devidamente identificado.

4.5 Avaliação do conteúdo bioativo total dos extratos

4.5.1 Fenólicos totais

A concentração de fenólicos totais foi determinada pelo método espectrofotométrico com Folin-Ciocalteu (SINGLETON e ROSSI, 1965), onde serão adicionados em um tubo de ensaio, 50µL da amostra, 3,95mL de água destilada e 250µL do reagente Folin-Ciocalteu. Após 3 a 8 min, acrescentou-se 750µL da solução saturada de carbonato de sódio (Na₂CO₃) 20%, permanecendo em repouso por 2 horas. Em seguida foi lida a absorbância a 765 nm em

cubeta de vidro de 10mm de percurso óptico, utilizando espectrofotômetro UV-Visível modelo UV 2000A (Instrutherm, Brasil) zerado com branco dos reagentes. Os resultados foram expressos em mg L⁻¹, equivalentes ao ácido gálico, por comparação com uma curva de calibração construída nas concentrações 0, 25, 50, 100, 250, 350 e 500 mg L⁻¹ de ácido gálico.

4.5.2 Atividade antioxidante DPPH e ABTS

A atividade antioxidante *in vitro* dos extratos foi determinada utilizando os métodos de captura de radicais livres ABTS e DPPH, de acordo com Re et al. (1999) e Kim et al. (2002), respectivamente. O padrão analítico Trolox foi utilizado para a construção da curva analítica e, os resultados serão expressos como equivalentes de Trolox por litro de extrato (mmol TEAC L⁻¹). Para realização dos métodos, as amostras dos extratos foram diluídas. As leituras da absorbância foram realizadas em espectrofotômetro UV-Visível modelo UV 2000A (Instrutherm, Brasil).

A atividade do radical DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) foi medida através da extinção do máximo da absorção em 517 nm. O método consiste na mistura de 100 µL do extrato, com 2,90 mL de solução etanólica do radical DPPH 1,0 mM e incubação no escuro durante 30 min. A solução de DPPH foi diluída com etanol para uma absorbância entre 0,900 e 1,000 a 517 nm.

No método ABTS, a atividade antioxidante dos extratos foi determinada através da taxa de decaimento da absorbância a 754 nm do radical ABTS. O radical catiônico (ABTS•) foi produzido através da reação de 5 mL de radical ABTS 7 mM, com 5 mL de persulfato de potássio 2,45 mM. A mistura foi mantida no escuro e em temperatura ambiente (20° C) durante 16 horas previamente às análises. No processo, a solução ABTS foi diluída com etanol 80% para ajuste da absorbância inicial entre 0,700 ± 0,050 a 754 nm. Em 3,5 mL da solução radical ABTS, foram adicionados 0,5mL da amostra do extrato e, lida em espectrofotômetro após 6 min de reação (t = 6 min). Após isso, foi possível calcular o percentual de inibição dos radicais DPPH e ABTS, conforme a Equação 10.

$$PI = \left[1 - \left(\frac{ABS \text{ amostra}}{ABS \text{ controle}} \right) \right] * 100$$

(10)

Onde:

PI = Percentual de inibição do radical;

ABS amostra = absorvância da solução do radical adicionada da amostra e incubada no escuro por 30 min (DPPH) e por 6 min (ABTS);

ABS controle = absorvância do controle sem adição de amostra no tempo 0.

4.5.3 Atividade antioxidante FRAP

O método FRAP foi realizado segundo Rufino et al., (2006), com algumas adaptações. O reagente FRAP foi preparado por meio da mistura de 25 mL da solução de tampão acetato (300 mM; pH 3,6), 2,5 mL da solução TPTZ (10 mM TPTZ em 40 mM HCl) e 2,5 mL de FeCl₃ (20 mM) em solução aquosa. Foram adicionados 90 µL da amostra e 270 µL de água deionizada em 2,7 mL do reagente FRAP, posteriormente incubado a 37 °C no termoreator por 30 min. A absorvância foi medida em 595 nm no espectrofotômetro zerado com água. Os resultados obtidos foram comparados com uma curva padrão de sulfato ferroso nas concentrações de 100 – 2000 µmol L⁻¹ e, expressos em mmol de Fe²⁺ por litro da amostra.

4.5.4 Vitamina C

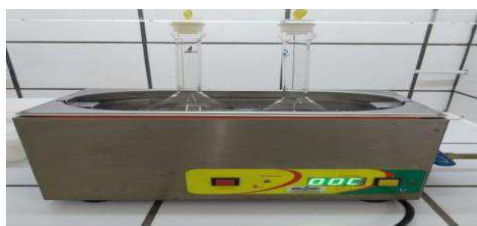
O teor de ácido ascórbico foi determinado pelo método Tillmans (titulométrico), descrito na metodologia do IAL (2008), através da titulação com 2,6-diclorofenolindofenol (DFI), até a obtenção de coloração rósea claro permanente, utilizando-se 1,0 g da amostra diluída em 50,0 mL de ácido oxálico a 1,0%, o resultado foi expresso em mg de ácido ascórbico/100 mg de amostra.

4.9 Otimização do processo de extração dos compostos bioativos

A otimização do processo de extração dos compostos bioativos foi realizada com o pó do resíduo agroindustrial de acerola verde, submetido à condição que apresentou a maior atividade bioativa na etapa de secagem.

O estudo da extração dos compostos bioativos do resíduo de acerola desidratado foi realizado com soluções hidroalcoólicas e, pelo método de extração assistida por banho ultrassônico, demonstrado na figura 3 abaixo (temperatura de 30 °C).

Figura 3. Banho ultrassônico.



Fonte: Autor, 2022.

Para isso, foi realizado um planejamento fatorial do tipo 2^3 , com três repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios, sendo estes, realizados de forma aleatória. No planejamento experimental, as variáveis independentes foram o tempo de extração (min) (T), a concentração de solvente (% v.v⁻¹) e a relação entre massa (m) e o volume de solvente (V_s) (m/V_s).

Tabela 4.2. Níveis do planejamento experimental do estudo da extração.

Variável	(-1)	(0)	(+1)
Tempo (min)	30	60	90
Concentração do solvente (% v.v ⁻¹)	50	60	70
m:V _s (g:mL)	01:20	01:40	01:60

Fonte: Autor (2022).

Tabela 4.3. Matriz do planejamento fatorial 2^3 com cinco repetições no ponto central.

Ensaio	Tempo (min)	Conc. Solvente (%)	m:V _s (g:mL)
1	- 1 (30)	- 1 (50)	- 1 (01:20)
2	+ 1 (90)	- 1 (50)	- 1 (01:20)
3	- 1 (30)	+ 1 (70)	- 1 (01:20)
4	+ 1 (90)	+ 1 (70)	- 1 (01:20)
5	- 1 (30)	- 1 (50)	+ 1 (01:60)
6	+ 1 (90)	- 1 (50)	+ 1 (01:60)
7	- 1 (30)	+ 1 (70)	+ 1 (01:60)
8	+ 1 (90)	+ 1 (70)	+ 1 (01:60)
9	0 (60)	0 (60)	0 (01:40)
10	0 (60)	0 (60)	0 (01:40)
11	0 (60)	0 (60)	0 (01:40)

Fonte: Autor (2022).

O planejamento experimental seguirá os níveis estipulados na Tabela 4.2. A matriz do planejamento está apresentada na Tabela 4.3, que apresenta as variáveis utilizadas no planejamento, bem como suas codificações e seus níveis. A análise do planejamento experimental foi realizada utilizando-se o software Statistica 12.0.

4.8 Obtenção do Extrato hidroetanólico para o microencapsulamento

Para a obtenção do extrato hidroetanólico, para o processo de microencapsulamento do conteúdo fenólico total, foi utilizado 25 g do pó do resíduo agroindustrial de acerola, em seguida, foi misturado a 225 mL da solução de etanol 50%, depois, sendo submetido à agitação em agitador mecânico digital, em temperatura ambiente por 1 hora. Após esse período, a mistura foi filtrada e depois centrifugada, 3000rpm, por 5 min. Os sobrenadantes foram coletados e aferidos, sendo seu volume final adicionado aos extratos obtidos, o encapsulante Capsul® (amido modificado), no percentual indicado para cada condição da otimização.

4.9 Otimização do processo de microencapsulamento no *Spray Dryer*

As temperaturas do ar de secagem, a velocidade do ar e concentração do encapsulante, serão de acordo com o planejamento, sendo fixados: volume de injeção de amostra em 200 mL/h (20% da capacidade do equipamento), bico de pulverização de 1,0 mm e volume de ar no bico em 35 L/min. O equipamento utilizado foi um secador tipo “*Spray Dryer*” modelo MSDi 1.0 fabricado pela Labmaq (Brasil).

Figura 4. *Spray Dryer*.



Fonte: Autor, 2022.

O processo de microencapsulamento por *Spray Dryer* do extrato do resíduo da acerola verde, foi realizado através de um planejamento experimental 2^3 , com 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios, sendo estes, realizados de forma aleatória para avaliar a influência e o comportamento experimental das variáveis independentes. O planejamento experimental seguirá os níveis estipulados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Níveis do planejamento fatorial do microencapsulamento.

Variável	(-1)	(0)	(+1)
Temperatura de secagem (°C)	120	140	160
Velocidade do ar de secagem (m.s ⁻¹)	15	20	25
Encapsulante (%)	5	7,5	10

Fonte: Autor (2022).

A matriz de planejamento, com suas respectivas variáveis independentes e seus níveis reais e codificados, encontram-se na Tabela 4.5. O efeito das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes foi avaliado através de análise estatística, utilizando-se o software Statistica 12.0.

Tabela 4.5. Matriz do planejamento para o processo de secagem por *spray dryer*.

Ensaio	Temperatura (°C)	Velocidade do ar (m.s ⁻¹)	Encapsulante (%)
1	-1 (120)	-1 (15)	-1 (5)
2	-1 (120)	-1 (15)	+1 (10)
3	-1 (120)	+1 (25)	-1 (5)
4	-1 (120)	+1 (25)	+1 (10)
5	+1 (160)	-1 (15)	-1 (5)
6	+1 (160)	-1 (15)	+1 (10)
7	+1 (160)	+1 (25)	-1 (5)
8	+1 (160)	+1 (25)	+1 (10)
9	0 (140)	0 (20)	0 (7,5)
10	0 (140)	0 (20)	0 (7,5)
11	0 (140)	0 (20)	0 (7,5)

Fonte: Autor (2022).

O microencapsulado que apresentou maior teor de fenólicos totais e, atividade antioxidante, obtido segundo as melhores condições de processo apontadas no planejamento fatorial (assim como o extrato obtido pela extração assistida por ultrassom) foi utilizado na caracterização por cromatografia líquida de alta eficiência para avaliar o perfil de fenólicos.

4.10 Caracterização dos compostos bioativos por HPLC

O perfil de compostos bioativos, presentes no extrato preparado com o resíduo *in natura* pó do resíduo de acerola verde na condição ótima de secagem, da extração por ultrassom e da microencapsulação por *spray dryer*, foi determinado por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), utilizando um sistema HPLC Agilent modelo 1260 Infinity LC (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) equipado com bomba quaternária de solventes (modelo G1311C), degaseificador, compartimento de colunas termostaticado (modelo G1316A) e amostrador automático (modelo G1329B); acoplado em Detector de Arranjos de Diodos (DAD) (modelo G1315D). Os dados obtidos foram processados utilizando o software OpenLAB CDS ChemStation Edition™ (Agilent Technologies). O procedimento analítico foi conforme a metodologia de determinação rápida validada por Padilha et al. (2017).

4.11 Caracterização do perfil de minerais

O perfil de minerais presente no pó do resíduo de acerola verde foi identificado e quantificado em Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDX-7000, Shimadzu), onde os resultados foram expressos em mg/100 g. As amostras na forma de cinzas foram colocadas em cubetas cobertas por um filme de polipropileno de 5 µm de espessura e, posteriormente submetidas a vácuo. Foram utilizadas as seguintes condições de operação do equipamento: tensão do tubo de 15 keV (Na a Sc) e 50 keV (Ti a U), e um colimador de 10 mm com detector de estado sólido Si (Li).

4.12 Caracterização físico-química do pó

A caracterização da farinha foi realizada quanto à umidade, cinzas, sólidos solúveis, acidez titulável, pH, clorofilas totais, carotenoides e cor, com a farinha que apresentou maior atividade bioativa e teor de compostos fenólicos totais. As análises serão realizadas em três repetições para que seja feita uma análise estatística dos resultados obtidos.

4.12.1 Teor de umidade

A determinação da umidade (U (%)) do material foi realizada seguindo a metodologia descrita em IAL (2008). Para o desenvolvimento da metodologia foram pesados aproximadamente 3 g do resíduo (m_A) em um cadinho de porcelana, previamente seco e pesado (m_C). Em seguida, a amostra foi levada a uma estufa sem circulação forçada de ar, a uma temperatura de 105 °C até atingir massa constante. Após a secagem, o material foi colocado em um dessecador, no qual permaneceu até resfriamento total da amostra e, por fim, a amostra seca (m_{AS105}) foi pesada. A umidade foi determinada seguindo a Equação 11.

$$U(\%) = \frac{(P - P_{as}) * 100}{P} \quad (11)$$

Onde:

P = Massa da amostra (g);

P_{as} = Massa da amostra seca (última pesagem – peso do cadinho vazio).

4.12.2 Atividade de água

A atividade de água do resíduo agroindustrial de acerola verde na sua forma *in natura* e desidratada foi determinada utilizando-se o equipamento Aqualab CX-2T, Decagon a 25 °C.

4.12.3 Cinzas

O teor de cinzas contidos no resíduo foi determinado seguindo a metodologia descrita em IAL (2008). Um cadinho de porcelana foi colocado em uma mufla a uma temperatura de 600 °C, por aproximadamente 1 hora. Após esse tempo, o cadinho foi colocado em um dessecador até total resfriamento e pesado (m_C). Em seguida, foram pesados aproximadamente 3 g do material a ser analisado (m_A) e, levados para uma estufa a 105 °C por 24 horas. Após esse tempo, o cadinho com a amostra foi levado para a mufla e submetido a um aquecimento gradativo, com uma velocidade máxima de 9,6 °C.min⁻¹ até alcançar 600 °C. O material ficou mantido nessa temperatura por um período de 3 horas e, em seguida, a temperatura do equipamento foi diminuída de forma que alcançasse 200 °C em 2 horas. Por

fim, a amostra foi colocada em um dessecador, contendo sílica gel, até total resfriamento e pesada (m_{AS600}). O teor de cinzas foi calculado seguindo a Equação 12.

$$Cinzas (\%) = \frac{100 * N}{P} \quad (12)$$

Onde:

N = Número de gramas de cinzas (última pesagem – peso do cadinho vazio);

P = Massa da amostra (g).

4.12.4 Sólidos solúveis

Determinado a partir da leitura do índice de refração no refratômetro ABBE, segundo a recomendação proposta pela AOAC (2005); para essa análise, o refratômetro digital foi previamente higienizado e zerado com água destilada. Para análise no pó, foi pesado 5g da farinha, diluiu-se em 50 mL de água destilada, em seguida, foi filtrada com auxílio de papel de filtro qualitativo para diminuir os riscos de erros na leitura.

4.12.5 Acidez titulável - AT (Expressa em acidez total)

Metodologia do IAL (2008). Para essa análise, utilizou-se 5g da farinha em 5 mL de água destilada, acrescida com 3 gotas de fenolftaleína 1% (solução indicadora). Com auxílio de uma bureta, contendo solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1N, procedeu-se a titulação até o ponto de viragem da fenolftaleína em pH próximo a 8,3. O teor de acidez total foi calculado seguindo a Equação 13.

$$AT = \frac{V * f * M * 100}{A} \quad (13)$$

Onde:

V = Volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação em mL;

f = Fator de correção da solução de hidróxido de sódio.

M = Molaridade da solução de hidróxido de sódio;

A = Volume da amostra em mL ou peso da amostra em g.

4.12.6 Pontencial hidrogenionico (pH)

O pH do resíduo de acerola verde na sua forma *in natura* e desidratada foi determinado seguindo a metodologia descrita em IAL (2008), na qual foi preparada uma suspensão de 4 g de amostra com 40 mL de água destilada. Após completa homogeneização, a suspensão foi deixada em repouso por 30 min e, em seguida, o pH foi medido diretamente em um potenciômetro digital, previamente calibrado.

4.12.7 Clorofilas totais e Carotenoides

Os teores de clorofilas totais e carotenoides foram determinados de acordo com Lichtenthaler (1987) e, calculados pelas Equações 14 e 15, dados a seguir. Cerca de 0,5 g de amostra foi macerada em almofariz, com 0,2 g de carbonato de cálcio (CaCO₃) e 10 mL de acetona (80%) gelada em ambiente escuro. Em seguida, as amostras serão centrifugadas a 10 °C e 3.000 rpm por 10 min e, os sobrenadantes serão lidos em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 470, 646 e 663 nm.

$$\text{Carotenoides} = [(1000\text{Abs. } 470 - 1,82\text{Ca} - 85,02\text{Cb})/198]*100/1000 \quad (14)$$

$$\text{Clorofila Total} = [(17,3\text{Abs. } 646 + 7,18\text{Abs. } 663)\text{massa}(g)] * 100/1000 \quad (15)$$

Onde:

$$\text{Ca} = [(12,21\text{Abs. } 663 - 2,81\text{Abs. } 646)/\text{massa}(g)] * 100/1000$$

$$\text{Cb} = [(20,13\text{Abs. } 646 - 5,03\text{Abs. } 663)/\text{massa}(g)] * 100/1000$$

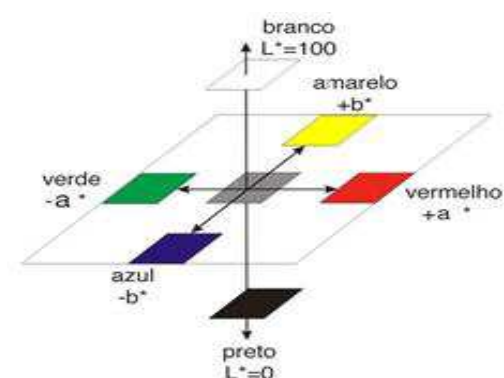
Abs. = absorvância

4.12.7 Cor

A cor foi determinada por leitura direta, utilizando-se espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus, modelo 4500 L, com sistema de cor Cielab. O instrumento, equipado com iluminante D65/10° calibrado com placa preta e placa branca padrão (x = 80,5, y = 85,3, z = 90,0), conforme instruções do fabricante. As coordenadas determinadas foram: L* que representa a luminosidade, transição do preto (0) para o branco (100); a* que representa a

transição da cor verde (-a*) para vermelha (+a*); e b* a transição da cor azul (- b*) para amarela (+b*), conforme apresentado na figura 5.

Figura 5. Representação da cor no espaço L* a* b*.



Fonte: A Cor dos Dias

Disponível: <http://a-cordosdias.blogspot.com/2010/12/lab-color.html>.

4.13 Caracterização física do pó

A caracterização da farinha foi realizada quanto à molhabilidade, solubilidade, higroscopicidade, densidade aparente e compactada, índice de compressibilidade e fator de hausner, com a farinha que apresentou maior atividade biotiva e teor de compostos fenólicos. As análises foram realizadas em três repetições para que seja realizada uma análise estatística dos resultados obtidos.

4.13.1 Rendimento do pó

Após trituração, o pó do resíduo de acerola verde foi pesado para posterior cálculo de rendimento. Esta operação foi realizada em balança semianalítica, da marca TECNAL, modelo BG 1000, com precisão de duas casas decimais. O rendimento foi calculado visando obter a eficiência do processo aplicado, de acordo com a Equação (16).

$$Rendimento (\%) = \frac{Mf(g)}{Mi(g)} * 100 \tag{16}$$

Onde:

Mf = massa do produto em pó (g);

Mi = massa inicial do resíduo (g).

4.13.2 Molhabilidade

A molhabilidade foi determinada segundo o método de molhabilidade estático proposto por Ceballos et al. (2012). Esse método consiste em colocar suavemente 1 g de amostra sobre 100 mL de água destilada a 25 °C e, determinar visualmente o tempo necessário para que todas as partículas se molhem, registrando o tempo com o auxílio de um cronômetro. A molhabilidade foi calculada de acordo com a Equação 17.

$$M = \frac{\eta}{t} \quad (17)$$

Onde:

M = molhabilidade;

η = massa da amostra (g);

t = tempo (s).

4.13.3 Solubilidade

Determinada pelo método de Eastman e Moore (1984) e modificado por Cano-Chauca et al. (2005), que consiste na adição de 0,5 g de amostra em um recipiente contendo 50 mL de água destilada, sob agitação magnética de 1000 rpm por 5 minutos, e seguida por centrifugação a 2600 rpm por 5 min. Uma alíquota de 12,5 mL do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri, previamente pesada e submetida à secagem em estufa a 105 °C por 24 h. A solubilidade foi calculada de acordo com a Equação 18.

$$S = \frac{[(Ms) * 4]}{Ma} * 100 \quad (18)$$

Onde:

S = Solubilidade;

Ms = Massa dos sólidos dissolvidos no sobrenadante (g);

Ma = Massa da amostra (g).

4.13.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada de acordo com o método proposto por Goula e Adamopoulos (2010). O pó (± 1 g) foi pesado em cápsulas de vidro e colocado em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) a 25 °C por sete dias, com posterior pesagem do pó e, calculada por meio da Equação 19.

$$H = \frac{X}{U * a} * 100 \quad (19)$$

Onde:

H = higroscopicidade (%);

X = massa de água absorvida (g);

U = teor de água do pó em base seca ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$);

a = massa da amostra (g).

4.13.5 Índice de absorção de água

A determinação do índice de absorção de água foi realizada seguindo a metodologia descrita por Beuchat (1977). O pó (± 1 g) foi pesado em tubos de centrífuga, sendo adicionados 10 mL de água destilada, em seguida, a suspensão foi homogeneizada em vórtex durante 2 min e deixada em repouso por 30 min. Posteriormente, os tubos foram fechados e centrifugados por 10 min a 2.500 rpm. O sedimento no tubo da centrífuga foi pesado após a separação do sobrenadante e, o índice de absorção de água foi calculado de acordo com a Equação 20.

$$IAA = (MS - MT) * 100 \quad (20)$$

Onde:

IAA = Índice de absorção de água (%);

MS = Massa do sedimento (g);

MT = Massa total da amostra (g).

4.13.6 Densidade aparente

Determinada através da pesagem de 6 g do pó, em proveta graduada de 10 mL sem compactação, para determinação do volume total ocupado pelo sólido, de acordo com o

método utilizado por Souza et al. (2010). A densidade aparente foi calculada de acordo com a Equação 21.

$$\rho_a = \frac{M_s}{V_t} \quad (21)$$

Onde:

ρ_a = Densidade aparente;

M_s = Massa do sólido (g);

V_t = Volume total (mL).

4.13.7 Densidade compactada

Foi pesada uma massa do pó até completar uma proveta graduada de 10 mL. A densidade compactada foi determinada a partir da massa de pó contida na proveta, depois de ser batida manualmente 50 vezes sobre a superfície de bancada a uma altura de 10 cm (TONON et al., 2013) e, calculada conforme a Equação 22.

$$\rho_c = \frac{M_s}{V_t} \quad (22)$$

Onde:

ρ_c = Densidade aparente;

M_s = Massa do sólido (g);

V_t = Volume total (mL).

4.13.8 Densidade absoluta

A densidade absoluta do pó do resíduo agroindustrial de acerola, que consiste na medida da massa em relação ao volume da amostra, foi realizada em picnômetro de vidro, utilizando hexano como líquido imiscível na temperatura de 25 °C.

4.13.9 Índice de compressibilidade

O índice de compressibilidade é um método simples para avaliar indiretamente as propriedades de fluxo de pós, através da comparação da densidade aparente (ρ_a) e, da densidade compactada (ρ_c) do pó, podendo ser calculado de acordo com a Equação 23.

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_a}{\rho_c} * 100 \quad (23)$$

Onde:

IC = Índice de compressibilidade;

ρ_c = Densidade compactada;

ρ_a = Densidade aparente.

4.13.10 Fator de Hausner

O fator de Hausner é usado para avaliar indiretamente as propriedades de fluxo de pós. A partir da densidade aparente (ρ_a) e da densidade compactada (ρ_c), determina-se o fator de Hausner, de acordo com a metodologia de Hausner (1967), onde o fator está correlacionado com a fluidez de um pó ou material granulado, sendo calculado conforme a Equação 24.

$$FH = \frac{\rho_c}{\rho_a} \quad (24)$$

Onde:

FH = Fator de Hausner;

ρ_c = Densidade compactada;

ρ_a = Densidade aparente.

4.15 Análise Estatística

Os dados obtidos com relação à composição bioativa total, caracterização física e físico-química das amostras desidratadas, foram avaliados estatisticamente pela análise descritiva, teste shapiro-wilk para normalidade, e, as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.7beta (SILVA e AZEVEDO, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização físico-química e composição bioativa total do resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura*.

Os resultados obtidos para caracterização físico-química do resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura* estão descritos na Tabela 5.1. Destaca-se que os resultados são médias aritméticas acompanhadas do desvio padrão da triplicata feita em cada análise.

Tabela 5.1. Caracterização físico-química do resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura*.

Análise	Resultados
Umidade (%)	75,26 ± 0,8
Atividade de Água	0,96 ± 0,0
pH	3,45 ± 0,0
°Brix	6,33 ± 0,5
Acidez Titulável (%)	14,25 ± 1,1
Cinzas (%)	0,28 ± 0,0
Clorofila a (µg/mL)	1,33 ± 0,1
Clorofila b (µg/mL)	1,01 ± 0,1
Clorofila Totais (µg/mL)	2,36 ± 0,2
Carotenoides Totais (µg/mL)	0,11 ± 0,8
Vitamina C (mg/100g)	272,68 ± 0,1

Fonte: Autor (2022).

O conteúdo de umidade do resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura* correspondeu a um valor médio de 75,28%, evidenciando a sua alta perecibilidade, devido ser um produto com um alto teor de água livre. Dessa forma, o resultado encontrado é considerado elevado, tendo em vista que pode contribuir tanto para o desenvolvimento de microrganismo, quanto para reações químicas de degradação, reduzindo o tempo de vida útil deste resíduo.

No que se refere a atividade de água presente no resíduo, verificou-se uma quantidade de 0,96, onde este índice se encontra na faixa em que a disponibilidade de água está elevada e, que pode ocasionar no crescimento microbiano, reações químicas e enzimáticas. Feitosa et al

(2019), obteve um teor de 0,95 de atividade de água, valor próximo do encontrado no presente estudo. Contudo, o resultado encontrado é aceitável, devido a matéria-prima ser gerada pelo processamento de uma fruta que possui alto teor de água em sua composição.

De acordo com os autores Mélo et al. (2016) e Sancho et al. (2015), a faixa de pH esperada para o resíduo de acerola verde compreende entre 3,45 a 3,54. Com isso, o pH de 3,5 encontrado, no presente estudo, encontra-se dentro dessa limitação. Segundo Vilar et al. (2020), o pH dos alimentos é uma propriedade que depende de alguns fatores, entre eles, o estado de preservação e condições das matérias-primas utilizadas. Sendo assim, o pH encontrado para o resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura* é considerado ótimo do ponto de vista microbiológico.

Quanto ao parâmetro do °Brix, de acordo com CEAGESP (2016), aponta que um teor elevado de sólidos solúveis significa que é uma fruta colhida em um estágio de maturação mais avançado, com todos os compostos responsáveis pelo seu aroma, sabor e características organolépticas. Com isso, a utilização do resíduo agroindustrial de acerola, no seu estágio de maturação verde, obteve um teor de 6,33 de °Brix, comprovando que esta característica não foi tão acentuada, devido aos compostos estarem em processo de transformação, conforme o avanço da maturação.

Quanto ao parâmetro da acidez titulável, a qual está relacionada à adstringência do produto, bem como é um fator muito importante para avaliar o estado de conservação dos alimentos, pôde-se observar que o resíduo apresentou um valor médio de 14,25% indicando uma baixa acidez, influenciando assim, na redução da predisposição ao desenvolvimento de microrganismos.

Em relação ao resultado das cinzas (que representa os componentes inorgânicos da incineração da matéria orgânica) obteve-se um teor de 0,28% indicando uma baixa quantidade de componentes minerais, visto que o resíduo *in natura* possui uma alta concentração de água e se encontra no estágio de maturação verde.

Sabe-se que as clorofilas e carotenoides são um dos pigmentos mais importantes presentes nas frutas e vegetais, os quais são responsáveis pela coloração e por seu papel antioxidante e, a sua identificação e quantificação são influenciados pela cor e variedade do vegetal. Nesse contexto, é possível observar que o resíduo *in natura* possui quantidades significativas de clorofilas por encontrar-se no estágio de maturação verde e, apesar da influência das condições do processamento ao qual foi submetido, apresentou proporções expressivas, proporcionando em um produto de maior valor agregado.

Em relação à vitamina C observou-se um teor de $272,68 \pm 0,1$ mg/100g, sendo este valor expressivo, tendo em vista o processamento ao qual foi submetido, constatando que o

resíduo possui quantidades significativas desse parâmetro, uma vez que segundo Prakash e Baskaran (2018), a quantidade diária necessária para o consumo adulto é na faixa de 75 mg/dia e 90 mg/dia para mulher e homem, respectivamente. Diante disso, a utilização do resíduo na elaboração de produtos ou na extração desses compostos, é de extrema relevância para a obtenção de um produto com maior valor agregado.

Os resultados obtidos para análise de cor do resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura* estão descritos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Análise de cor do resíduo de acerola verde *in natura*.

Análise	Parâmetro	Resultados
Cor	*L	64,4 ± 0,7
	*a	3,2 ± 0,5
	*b	33,9 ± 0,5

Fonte: Autor (2022).

A cor é um importante atributo de qualidade de frutas frescas e processadas, uma vez que ela está intimamente relacionada à aceitação dos alimentos pelo consumidor, sendo o aspecto visual o principal fator decisivo na escolha de um produto (RIBEIRO et al., 2012). Com relação ao resultado encontrado para o parâmetro de luminosidade (L*), que é a escala que aponta a variação da cor preta (0) para branca (100), o resíduo de acerola verde *in natura* apresentou um valor de 64,4, indicando que o produto possui uma coloração mais clara.

Quanto aos valores encontrados para a coordenada a* (3,2) que indica a cor para tons de vermelho e verde, e para coordenada b* (33,9) que reflete a mudança de tons entre o amarelo e azul, devido o resíduo estar em um estágio de maturação verde, observou-se que houve a predominância da coloração amarelo-esverdeado.

Os resultados obtidos para caracterização da composição fenólica total e capacidade antioxidante do resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura* estão descritos na Tabela 5.3.

O resíduo *in natura* do fruto verde apresentou uma quantidade de compostos fenólicos totais (18545,1 mg. L⁻¹) significativos, o que resulta em um produto de alto valor agregado e com diversas aplicabilidades. Segundo Garcia (2016), a quantidade de compostos bioativos presentes nos frutos e vegetais estão sujeitos a diversas variações, devido a fatores como o estágio de maturação do fruto, variedade da espécie, origem geográfica, condições climáticas de cultivo e colheita. Com isso, apesar desses fatores influenciarem na quantidade desses

compostos, o teor encontrado indica que mesmo após o processamento boa parte desses compostos permaneceu no resíduo.

Tabela 5.3. Caracterização dos fenólicos totais e atividade antioxidante do resíduo *in natura*.

Análise	Resultados
CBT ^Ψ (mg/L)	18545,1 ± 3,1
DPPH (mMTrolx/L)	39,91 ± 2,4
ABTS (mMTrolx/L)	48,96 ± 2,2
FRAP (mmol/Kg)	141,28 ± 0,1

Nota: AOX DPPH- Atividade antioxidante expressa como equivalente ao Trolox em mM.Kg⁻¹ (mM TEAC L⁻¹). FRAP- poder antioxidante de redução de ferro expresso em milimols de Fe²⁺ (mM Fe²⁺ Kg⁻¹). ^ΨConteúdo Bioativo Total medidos com Folin-Ciocalteu expresso como mg.L⁻¹ equivalente ao ácido gálico. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2022).

No que se refere aos resultados da capacidade antioxidante pelo sequestro de radical livre DPPH (39,91 mMTrolx/L) e ABTS (48,96 mMTrolx/L), observou-se quantidades significativas desses parâmetros, exibindo, dessa forma, uma elevada capacidade de sequestro desses radicais, atribuído ao fato do resíduo estar no estágio de maturação verde, contendo fenólicos com capacidade antioxidante mais presentes em relação aos frutos maduros, onde, com o avanço da maturação, esses podem ser polimerizados em fenóis solúveis ou oxidados por enzimas, atrelado com a redução de substratos essenciais para biossínteses desses compostos (FAWOLE e OPARA, 2013; FRANCA, 2016; GRUZ et al., 2011; SERAGLIO et al., 2018a).

Sabe-se que em relação às frutas cítricas, os métodos FRAP e ABTS são usualmente utilizados para avaliar a atividade antioxidante *in vitro*, indicando associação de mais de um método (ZOU et al. 2016). A atividade antioxidante do extrato do resíduo de acerola verde *in natura*, pelo método FRAP, o qual determina o poder antioxidante de redução do ferro, apresentou resultado significativo (141,28 mmol/Kg), evidenciando que mesmo após o processamento, os compostos fenólicos com capacidade antioxidante permaneceram no resíduo, podendo ser considerado uma potência redutora deste radical.

Com isso, a partir da análise da composição fenólica total e atividade antioxidante o resíduo de acerola verde *in natura* constatou-se o seu elevado potencial nutricional, o qual pode ser utilizado para auxiliar a suplementação de dietas, amenizando assim, a deficiência

quanto aos nutrientes que fazem parte da composição química dessa natureza. Além disso, esses resíduos com baixo ou nenhum valor econômico agregado podem ter uma destinação comercial por meio da sua utilização na indústria de alimentos em substituição aos antioxidantes sintéticos, como também na elaboração de alimentos funcionais.

5.2 Modelos matemáticos

Os parâmetros obtidos, a partir dos ajustes dos modelos de Midili, Henderson & Pabis, Page, Logarítmico, Lewis e Aproximação da difusão aos dados experimentais das cinéticas de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde, encontram-se descritos a seguir, bem como o coeficiente de determinação (R^2), desvio médio quadrático (DQM) e qui-quadrado (χ^2), obtidos para as secagens nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, tendo em vista que estas condições de temperaturas, utilizadas no trabalho, são aplicadas para produtos agrícolas.

Com a obtenção dos dados experimentais encontrados através da secagem e calculado a razão de umidade no decorrer do tempo nas temperaturas utilizadas, foram ajustados quanto aos modelos matemáticos. Observou-se que a temperatura do ar de secagem, utilizada no processo, teve bastante influência nas curvas de secagem, tendo em vista que quanto maior a temperatura, mais rápido se obtém a umidade de equilíbrio constante, uma vez que a estabilidade do produto é atingida de acordo com o teor de água de equilíbrio (SILVA et al., 2014).

O melhor modelo ajustado para a secagem apresenta valor de R^2 , o qual varia de 0 a 1, indicando proximidade entre os dados obtidos e os estimados (MOSCON et al., 2017) e valor de DQM o mais próximo de zero. Verifica-se, nas tabelas abaixo, que todos os modelos matemáticos aplicados para os ajustes apresentaram valores do coeficiente de variação (R^2) próximos à unidade (entre 0,98 e 0,99) e baixos valores (entre 0,015 e 0,041) do desvio médio quadrático (DQM) para as temperaturas utilizadas, representando adequadamente os dados experimentais do processo de secagem estudado.

Na tabela 5.4 encontram-se os resultados dos parâmetros obtidos a partir do ajuste do Modelo de Midili aos dados experimentais da cinética de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde.

Tabela 5.4. Ajuste do modelo de Midili aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Midili							
T(°C)	Parâmetros				R²	DQM	χ²
	a	k	n	b			
50	0,9797	0,0160	1,0647	-0,000	0,9972	0,016	0,1856
60	0,9859	0,0213	1,1316	-0,000	0,9974	0,015	0,1908
70	0,9840	0,0361	1,1012	-0,001	0,9904	0,025	0,2148

Fonte: Autor (2022).

Verifica-se na tabela acima que a constante ‘a’ aumentou com a elevação da temperatura de secagem e, aos valores da constante ‘b’ não houve variação significativa nas temperaturas utilizadas. Observou-se, nesse modelo, que o valor de ‘n’ apresentou variação em função da temperatura, sendo menor para a temperatura de 50 °C. Em relação à constante ‘k’ (que está relacionada com a difusividade no processo de secagem), demonstrou uma tendência clara, apresentando um aumento com elevação da temperatura do ar de secagem.

Na tabela 5.5 encontram-se os resultados dos parâmetros obtidos a partir do ajuste do Modelo de Henderson & Pabis aos dados experimentais da cinética de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde.

Tabela 5.5. Ajuste do modelo de Henderson & Pabis aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Henderson & Pabis					
T(°C)	Parâmetros		R²	DQM	χ²
	a	k			
50	0,9978	0,0210	0,9968	0,018	0,1607
60	1,0178	0,0346	0,9953	0,022	0,1616
70	1,0189	0,0556	0,9844	0,040	0,1738

Fonte: Autor (2022).

A partir dos parâmetros de ajuste, do modelo de Henderson & Pabis, aos dados experimentais, da secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde, observa-se que para o parâmetro ‘a’ houve um comportamento definido nas temperaturas. Quanto à constante ‘k’ os valores apresentaram uma relação direta com o aumento da temperatura.

Na tabela 5.6 encontram-se os resultados dos parâmetros, obtidos a partir do ajuste do Modelo de Page aos dados experimentais da cinética de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde.

Tabela 5.6. Ajuste do modelo de Page aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Page					
T(°C)	Parâmetros		R²	DQM	χ²
	k	n			
50	0,0184	1,0370	0,9976	0,017	0,1613
60	0,0231	1,1151	0,9974	0,016	0,1595
70	0,0314	1,1819	0,9940	0,021	0,1716

Fonte: Autor (2022).

Segundo Perez et al. (2013), a constante ‘n’ nos modelos de Midili, Page e Page modificado, está relacionada com a resistência do material de secagem. Verificou-se que a constante ‘n’ apresentou comportamento padrão com base nos resultados. No entanto, para a constante ‘k’ que representa a velocidade da difusão da água do material, observou-se que foi diretamente proporcional à elevação da temperatura do ar de secagem.

Na tabela 5.7 encontram-se os resultados dos parâmetros obtidos a partir do ajuste do Modelo de Logarítmico aos dados experimentais da cinética secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde.

Tabela 5.7. Ajuste do modelo de Logarítmico aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Logarítmico						
T(°C)	Parâmetros			R²	DQM	χ²
	a	k	c			
50	1,0129	0,0201	-0,0202	0,9974	0,016	0,1675
60	1,0390	0,0325	-0,0280	0,9965	0,019	0,1712
70	1,1091	0,0434	-0,1134	0,9941	0,025	0,1837

Fonte: Autor (2022).

Analisando os resultados encontrados para o modelo de Logarítmico é possível afirmar que as constantes ‘a’ e ‘c’ apresentaram comportamentos padrões, indicando que é um modelo consistente. Enquanto para a constante ‘k’ quando a temperatura aumenta, ocorre também um aumento no valor do parâmetro, apresentando uma tendência mais clara.

Na tabela 5.8 encontram-se os resultados dos parâmetros, obtidos a partir do ajuste do Modelo de Lewis aos dados experimentais da cinética de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde.

Tabela 5.8. Ajuste do modelo de Lewis aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Lewis						
T(°C)	Parâmetros			R ²	DQM	χ^2
	k					
50	0,0211			0,9968	0,018	0,1495
60	0,0339			0,9948	0,023	0,1460
70	0,0545			0,9839	0,041	0,1519

Fonte: Autor (2022).

Os dados experimentais, encontrados a partir dos parâmetros de ajuste do modelo de Lewis aos dados experimentais da secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde, demonstram um comportamento definido para o parâmetro ‘k’, podendo-se afirmar que o aumento da temperatura provocou a elevação desse parâmetro.

Na tabela 5.9 encontram-se os resultados dos parâmetros obtidos a partir do ajuste do Modelo de Aproximação da difusão aos dados experimentais da cinética de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde.

Tabela 5.9. Ajuste do modelo de Aproximação da difusão aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

Aproximação da difusão						
T(°C)	Parâmetros			R ²	DQM	χ^2
	a	k	b			
50	-49,019	0,0286	0,9938	0,9974	0,017	0,1742
60	-78,437	0,0529	0,9940	0,9978	0,015	0,1747
70	-193,048	0,0886	0,9971	0,9912	0,030	0,1958

Fonte: Autor (2022).

Com base nos resultados obtidos para o modelo de Aproximação da difusão, é perceptível que os parâmetros 'a' e 'b' apresentaram uma disposição mais clara e, para a constante 'k' quando a temperatura aumenta, ocorre também uma elevação no valor do parâmetro apresentando comportamentos padrões.

5.3 Cinética de Secagem

As condições de secagem, o tipo de secador e todas as propriedades do material a ser seco afetam a cinética de secagem. Os modelos cinéticos de secagem são significativos na determinação de uma condição ideal de secagem, composta por parâmetros importantes para a otimização do equipamento e melhoria da qualidade do produto (TRAN et al., 2020).

Após a análise dos parâmetros, todos os modelos matemáticos analisados podem ser utilizados para representar o processo de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde, devido aos elevados coeficientes de determinação (R^2) e baixos valores do desvio quadrático médio (DQM), o que favorece no aumento do nível de confiança dos ajustes e com baixos valores de qui-quadrado (χ^2).

Dentre os modelos aplicados, o de Midili, Page e Aproximação da Difusão ajustaram-se melhor aos dados experimentais nas três temperaturas utilizadas, variando de 0,9904 a 0,9972, de 0,9940 a 0,9976 e de 0,9912 a 0,9978, respectivamente, corroborando com o autor Araújo et al. (2017), que afirma que valores de R^2 acima de 0,98 indicam que os modelos matemáticos representam de maneira satisfatória o comportamento de secagem. Com isso, pode-se afirmar que esses modelos permitem uma melhor representação do fenômeno de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde, quando comparados com os outros modelos testados, devido às curvas ajustadas por esses modelos terem sido as que mais se adequaram dos resultados experimentais, assim, confirmando o desempenho dos modelos.

De acordo com Martins et al. (2015) e Santos et al. (2020b), o R^2 quando avaliado de maneira isolada, não constitui um bom critério de seleção de modelos não-lineares. Com isso, ao avaliar o qui-quadrado (χ^2) observou-se que o modelo de Page apresentou valores inferiores, variando de 0,1595 a 0,1716 para as temperaturas aplicadas quando comparados aos outros modelos testados. Portanto, devido aos baixos valores deste parâmetro e aplicação mais simples, o modelo de Page é considerado o mais adequado para representar o fenômeno estudado neste trabalho em comparação com outros modelos matemáticos utilizados. Santos et al. (2020a), ao realizarem a cinética de secagem em cascas de toranja nas temperaturas de

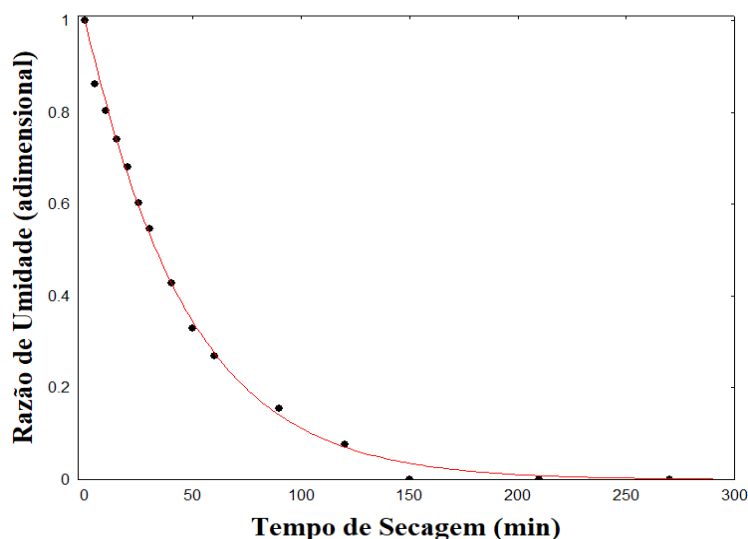
60, 70, 80 e 90 °C, também observaram que o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais obtidos.

As Figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam os dados experimentais, obtidos para cinética de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde submetido à secagem convectiva, determinada através do modelo de Page nas temperaturas de 50, 60, 70 e, a superposição das três temperaturas.

As curvas de secagem do resíduo de acerola verde, obtidas nas diferentes temperaturas (50, 60, 70 °C), estão apresentadas nas figuras abaixo, representadas pela razão de umidade em função do tempo. Os resultados mostram que com o aumento da temperatura acarreta a diminuição no tempo de secagem, com isso, influencia o aumento da taxa de perda de água, principalmente no início do processo. Isso porque, segundo Ribeiro et al. (2019), a elevação da temperatura do ar de secagem desenvolve maior gradiente de umidade entre o produto e o ar, ocasionando maior taxa de remoção de água, independentemente do tipo do material utilizado.

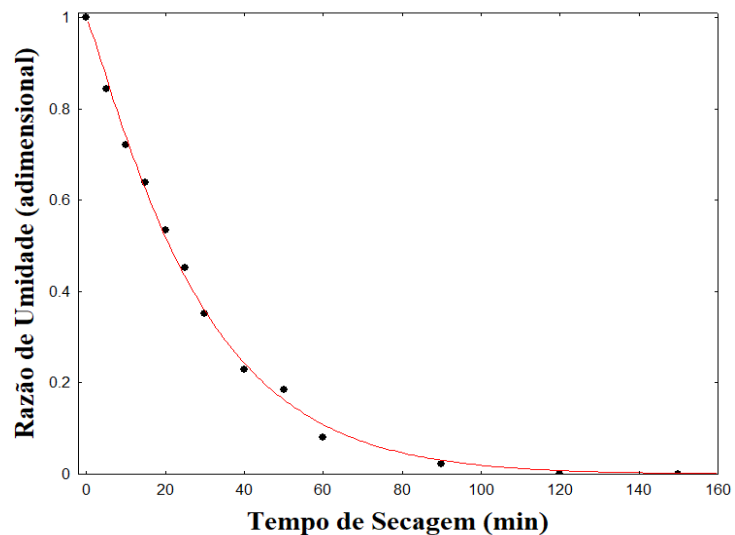
De acordo com a Food Ingredients Brasil (2013), o período de secagem dura em torno de 180 a 300 minutos, quando as temperaturas de secagem utilizadas se encontram dentro do intervalo de 60 a 100 °C, fato observado no presente estudo.

Figura 6. Cinética de secagem do modelo de Page na temperatura de 50 °C.



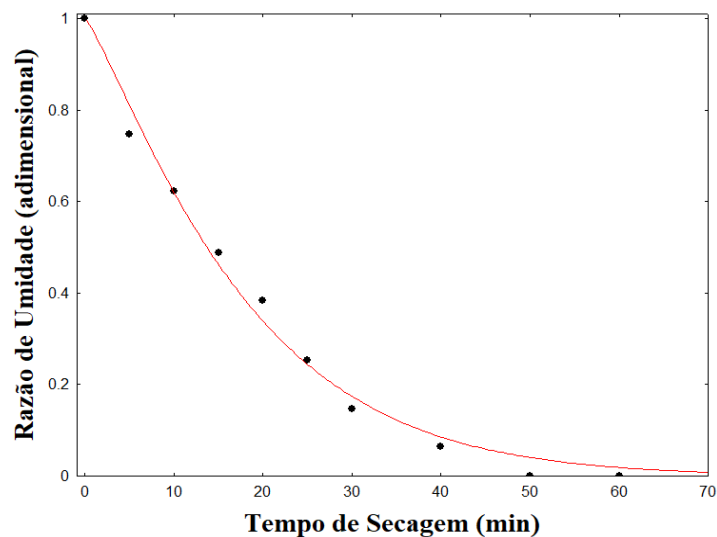
Fonte: Autor (2022).

Figura 7. Cinética de secagem do modelo de Page na temperatura de 60 °C.



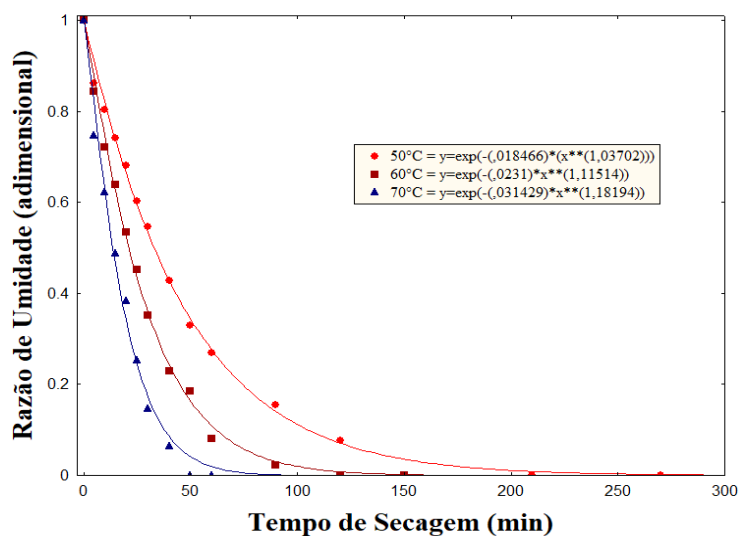
Fonte: Autor (2022).

Figura 8. Cinética de secagem do modelo de Page na temperatura de 70 °C.



Fonte: Autor (2022).

Figura 9. Cinética de secagem do resíduo de acerola verde descrito pelo ajuste do modelo de Page nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.



Fonte: Autor (2022).

Segundo Santos et al. (2020a), percebe-se maiores inclinações das curvas durante os instantes iniciais do processo de secagem, indicando maiores gradientes de temperatura entre o ar de secagem e o produto. Verifica-se nas figuras acima que a temperatura apresenta um efeito significativo nas curvas de secagem, uma vez que o período de secagem demonstrou comportamento decrescente com o aumento da temperatura do ar. Essa relação direta também pode estar relacionada à natureza da matéria-prima, neste caso, o resíduo da acerola verde, que é composto principalmente por uma película e sobra de polpa, o que ajuda a reduzir o tempo de secagem em todas as temperaturas avaliadas, fato observado também por Barros (2019), onde os resultados estão próximos aos encontrados no estudo da autora.

No presente trabalho, o período de secagem variou significativamente de 270 a 70 minutos, para as temperaturas de 50 e 70°C, respectivamente. Sendo observado que os valores iniciais são correspondentes ao período em que o resíduo começa a ter sua água livre evaporada e, com o passar do tempo, cada vez menos água está na superfície do produto para evaporar, tornando a amostra cada vez mais seca, atingindo assim, a umidade de equilíbrio para as condições de temperatura e umidade relativa do ar. O comportamento em relação ao aumento da temperatura é devido ao fato onde as maiores taxas de remoção de água do produto acontecem em temperaturas mais altas, o que diminui o tempo de secagem (MELO et al., 2015).

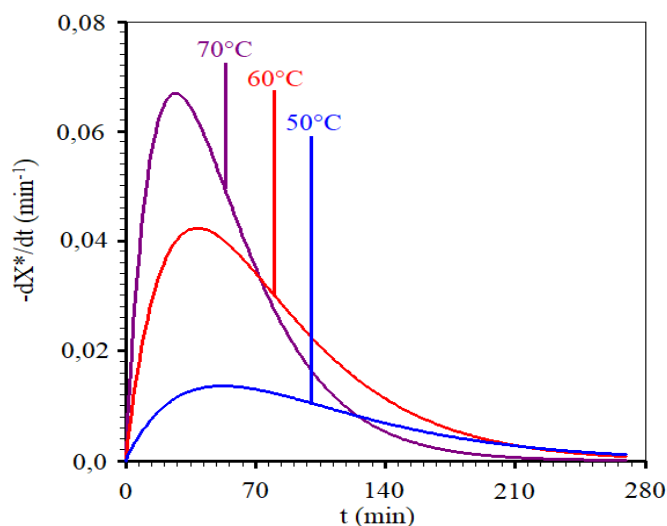
A aplicação do processo de secagem em produtos agrícolas proporciona a diminuição do teor de água para um nível de armazenamento seguro, porque envolve transferência de calor e massa (RESENDE et al., 2010), além de aumentar o tempo de preservação reduzindo a

degradação do produto e substâncias nocivas aos consumidores (TONTUL e TOPUZ, 2017). Dessa forma, a utilização da secagem convectiva no resíduo de acerola verde permitiu o desenvolvimento de um novo produto, devido à redução dessa quantidade de água presente na matéria-prima, com potencial praticidade de consumo.

5.4 Taxas de secagem

Os resultados obtidos para as taxas de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde, determinadas através do modelo de Page para as temperaturas de 50, 60, 70 °C estão representadas na Figura 10.

Figura 10. Taxa de secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde desidratado nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.



Fonte: Autor (2022).

Os resultados observados na figura acima indicam que quanto maior a temperatura, menor o tempo de secagem, principalmente no início do processo, ilustrado pela maior inclinação das curvas, onde, Kaveh et al. (2017), atribuem esse comportamento ao fato de que a umidade da superfície evapora muito rapidamente, devido aos altos coeficientes de transferência de calor e massa nos processos de secagem em camada fina, salientando que a taxa de secagem reduz exponencialmente quando toda a umidade da superfície evapora e, a secagem se difunde para dentro do material.

O valor da taxa de secagem obtido muda com o tempo, aumentando gradativamente até atingir o valor máximo e caindo drasticamente. Isso porque, no início da secagem, a difusão do líquido é o principal mecanismo de transporte da umidade, à medida que a

secagem avança, a difusão do vapor passa a ser o principal meio, aumentando assim a velocidade de secagem. No entanto, conforme o processo continua, a amostra se torna insaturada e a difusão da umidade diminui, então, a taxa de secagem também diminui (CHEN et al., 2017).

5.5 Propriedades termodinâmicas

5.5.1 Difusividade Efetiva

A difusividade efetiva determinada para o pó do resíduo agroindustrial de acerola verde nas faixas de temperatura estudadas (50, 60 e 70 °C), baseada na teoria da difusão líquida, representada pela equação da segunda Lei de Fick com cinco termos ($n = 5$) na tabela 5.10 abaixo.

Tabela 5.10. Difusividade efetiva do pó do resíduo de acerola verde.

Temperatura (°C)	D (m ² .s ⁻¹)	R ²
50	6,58 x 10 ⁻¹⁰	0,9738
60	1,10 x 10 ⁻⁹	0,9674
70	1,85 x 10 ⁻⁹	0,9568

Fonte: Autor (2022).

A medição da difusividade efetiva (D_{ef}) é um atributo importante na avaliação e otimização de processos que envolvem transferência de umidade no interior do produto (FRANCO et al., 2017). O D_{ef} descreve diferentes propriedades de transferência de massa de umidade, como difusão molecular, difusão de líquido e vapor, hidrodinâmica e outros mecanismos de transferência de massa em sistemas alimentares. Além disso, representa a interação de todos os parâmetros que são eficazes nos fenômenos de transferência de massa (DEHGHANNYA et al., 2018).

Os coeficientes de difusão efetiva apresentaram magnitudes entre 6,58 x 10⁻¹⁰ e 1,85 x 10⁻⁹ m².s⁻¹ para a faixa de temperatura de 50 °C e 70 °C, apresentando ajustes satisfatórios com R² superiores a 0,9568. Observa-se que ao aumentar a temperatura, o coeficiente de difusão também aumenta, tendo em vista que este parâmetro indica a facilidade com que a água é removida do material (OLIVEIRA et al., 2006), ou seja, a difusividade aumentou com

a elevação da temperatura do ar, por causa da resistência do fluido em fluir e aumentar a atividade das moléculas de água em altas temperaturas.

O aumento da difusividade efetiva, com o aumento da temperatura, é um comportamento esperado em materiais biológicos, tendo em vista que quando se eleva a temperatura, maior é o valor obtido para este parâmetro, já que em temperaturas inferiores, como a de 50 °C, as moléculas de água sofrem maior resistência ao sair do corpo, devido sua composição e estrutura física, fazendo com que a água seja mais ligada às moléculas que constituem a massa seca. Comportamento semelhante foi observado por Doymaz (2017), ao analisar a difusividade efetiva na secagem de rodela de cenoura em diferentes temperaturas.

5.5.2 Energia de ativação, entalpia (ΔH), entropia (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG)

A energia de ativação é um indicativo do grau de difusividade de água no produto, dessa forma, quanto menor for o valor dessa propriedade, maior será a difusão de água no produto, sendo necessária menos energia para a remoção de umidade no mesmo (DE OLIVEIRA et al., 2014).

A energia de ativação, para desencadear o início do processo de secagem, foi de 47,7382 (kJ.mol⁻¹) para o resíduo de acerola verde. Sabe-se que a energia de ativação é diferente para cada produto agrícola, no entanto, é frequentemente relatado na literatura valores na faixa entre 12,7 e 110 kJ.mol⁻¹ (KAVEH et al., 2017). Essa variação de valores se deve ao fato da estrutura do produto estudado, bem como sua composição química e especificações do secador.

O valor da energia de ativação, encontrado no presente estudo, foi ligeiramente superior ao encontrado por Mendes (2018), ao avaliar a cinética de secagem de sementes de acerola nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C que verificou um valor de 21,58 kJ.mol⁻¹, assim, como por Leite Filho et al. (2020), que trabalhando com a cinética de secagem de resíduos agroindustriais de abacaxi nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70 °C, encontraram valores da ordem de 25 kJ.mol⁻¹. A diferença entre os valores de energia de ativação, empregando a mesma faixa de temperatura, pode ser explicada pela diferença na composição das amostras (JORGE et al., 2021), indicando assim, que o resíduo de acerola verde necessitou de um maior valor na energia de ativação, refletindo em uma menor difusividade da água do produto devido à baixa mobilidade da água no interior do produto (JORGE et al., 2021).

Na Tabela 5.11, estão apresentados os resultados obtidos para as propriedades termodinâmicas, nas diferentes condições do processo de secagem, do resíduo agroindustrial de acerola verde.

Tabela 5.11. Propriedades termodinâmicas do resíduo de acerola verde desidratado.

Temperatura (°C)	ΔH (J.mol ⁻¹)	ΔS (J.mol ⁻¹)	ΔG (J.mol ⁻¹)
50	45050	-273,3	133500
60	44970	-274,0	136240
70	44850	-274,2	138980

Fonte: Autor (2022).

Compreender os fenômenos que acontecem durante o processo é fundamental no desenvolvimento e otimização de equipamentos, uma vez que, a relação usual da difusividade com a equação de Arrhenius, não se mostra satisfatória em diversos materiais (TOUIL et al., 2014; DOTTO et al., 2018). Com isso, a análise termodinâmica fornece uma compreensão abrangente da cinética térmica durante o processo de secagem (SARPONG et al., 2019).

Ao analisar os resultados presentes na tabela 5.11, observa-se que o aumento da temperatura resultou na diminuição dos valores obtidos para a entalpia do resíduo de acerola verde, tendo em vista, que a entalpia possui uma relação com a energia necessária para remover a água aderida ao produto durante o processo de secagem (OLIVEIRA et al., 2010), observa-se que o resíduo de acerola verde necessitou de mais energia no processo de secagem, diferente do efeito da temperatura, uma vez que, o aumento dessa condição diminuiu a necessidade de energia para remover a água presente no produto.

Os valores de entropia (ΔS) que medem a mudança desordenada de moléculas em um sistema foram negativos (Tabela 5.11). De acordo com Rashid et al. (2019), valores negativos de entropia indicam que o estado de transição tem um grau de liberdade estrutural menor do que os reagentes. Além disso, as temperaturas mais elevadas podem aumentar o valor absoluto de entropia, o que torna o equilíbrio termodinâmico do material diferente do sistema original. A redução do valor absoluto de entropia foi observada quando aumentou a temperatura de secagem do resíduo de acerola verde, onde este comportamento pode estar relacionado à organização das moléculas devido à interação do sistema, água e produto.

Em relação à energia livre de Gibbs (ΔG), a qual está relacionada à atividade do sistema no processo de adsorção ou dessorção e, fornece uma melhor visão sobre quais forças termodinâmicas de acionamento influenciam as reações (KALEEMULLAH et al., 2007;

NADI et al., 2018), observou-se que os valores de ΔG (obtidos nas diferentes temperaturas de secagem do resíduo de acerola verde), apresentados na Tabela 5.11, indicam a ocorrência de reações não espontâneas. Os valores foram positivos revelando que o processo de secagem envolve uma reação endergônica que requer calor do meio para que ocorra (SANTOS et al., 2020c), ou seja, necessita de uma fonte de energia para disponibilizar os locais de sorção (SILVA et al. 2017). Nota-se que os valores obtidos tendem a aumentar com o aumento da temperatura, sendo que esse comportamento é frequentemente relatado para produtos como: maçã (NADI et al., 2018), goiaba (SANTOS et al., 2020c) e batata doce (RASHID et al., 2019) entre outros produtos agrícolas.

5.6 Caracterização dos compostos bioativos totais dos pós

Após a desidratação do resíduo agroindustrial de acerola verde, foram realizadas análises preliminares, com intuito de verificar a influência da secagem e, determinar a condição ótima sobre o teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante dos pós, obtidos nas temperaturas utilizadas.

Os resultados obtidos, para caracterização dos compostos fenólicos totais e, atividade antioxidante dos pós obtidos (a partir da secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde nas temperaturas de 50, 60 e 70°C), estão descritos na Tabela 5.12.

Tabela 5.12. Caracterização dos compostos bioativos dos pós nas diferentes temperaturas.

AMOSTRA	RESULTADOS			
	CBT ^Ψ (mg/L)	DPPH (mMTrolx/L)	ABTS (mMTrolx/L)	FRAP (mmol/Kg)
50 °C	74716,16 ± 1,6 a	167,83 ± 0,5 b	247,33 ± 0,8 a	175,05 ± 0,1 a
60 °C	65745,44 ± 1,8 b	164,99 ± 3,6 b	239,85 ± 1,5 b	142,67 ± 0,3 c
70 °C	65643,50 ± 2,4 b	206,88 ± 1,2 a	247,26 ± 1,2 a	152,03 ± 1,5 b

Nota: AOX DPPH- Atividade antioxidante expressa como equivalente ao Trolox em mM.Kg⁻¹ (mM TEAC L⁻¹). FRAP- poder antioxidante de redução de ferro expresso em milimols de Fe²⁺ (mM Fe²⁺ Kg⁻¹). Ψ Conteúdo Bioativo Total medidos com Folin-Ciocalteu expresso como mg.L⁻¹ equivalente ao ácido gálico. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2022).

Os compostos fenólicos são moléculas encontradas em frutas e outros vegetais e têm atraído cada vez mais interesse por causa de seu grande poder antioxidante (MOO-HUCHIN et al., 2014). Verifica-se na tabela 5.12 que o teor de fenólicos totais apresentou uma maior concentração para o resíduo desidratado na temperatura de 50 °C ($74716,16 \pm 1,6$ mg/L), diferindo-se estatisticamente do resíduo seco a 60 e 70 °C, no entanto, foram superiores ao encontrado no resíduo *in natura*, evidenciando que o processo de secagem convectiva proporcionou a concentração desses compostos. O aumento para o valor de compostos fenólicos também foi relatado na literatura. Isto justifica que os teores dos compostos fenólicos sofrem concentração de compostos com a perda de umidade (SCORSATTO et al., 2017).

Em acerolas desidratadas (a 70 °C e pré-tratadas com etanol) foi observado um conteúdo de 726,60 mg EAG/100 g da fruta, resultando em um aumento de aproximadamente 60% em comparação com as amostras *in natura* (SILVA et al., 2016). A diferença entre os valores pode ser associada às diferentes práticas agrícolas, composição do solo, clima, tipo de secagem, método de extração e solvente usado e, diferentes estádios de amadurecimento dos frutos (MORALES-SOTO et al., 2014; PAZ et al., 2015).

A determinação da atividade antioxidante de um alimento pode ser vista como um reflexo dos compostos bioativos presentes. Ademais, essa propriedade é essencial na prevenção de danos ao DNA por meio dos radicais livres e, tem sido associada à prevenção de enfermidades como doenças cardiovasculares e cânceres (GABRIEL et al., 2015). Para a determinação da atividade antioxidante, pelo método DPPH, nota-se uma concentração superior na temperatura de 70 °C (206,88 mM Trolox/L), apresentando diferença estatística em comparação com as outras temperaturas.

Em relação à atividade antioxidante do pó, pelo método de ABTS, observa-se que o efeito do processamento térmico não apresentou diferença estatística entre as temperaturas de 50 °C (247,33 mM Trolox/L) e 70 °C (247,26 mM Trolox/L), indicando que os compostos antioxidantes não foram afetados pelo aumento da temperatura e pelo tempo de exposição. Para o método FRAP ocorreu uma leve redução da atividade antioxidante, sendo que para temperatura de 50 °C (175,05 mmol/Kg) foi superior em comparação com a de 60 °C (142,67 mmol/Kg) e 70 °C (152,03 mmol/Kg), apresentando um elevado poder antioxidante de redução do ferro.

Com a existência da correlação entre os compostos bioativos e atividade antioxidante verificou-se que a desidratação pela secagem convectiva se configura como alternativa eficaz na manutenção da qualidade nutricional do resíduo de acerola verde. Com isso, de maneira geral, os resíduos secos apresentaram valores próximos entre si, apesar da diferença

significativa entre os parâmetros. No entanto, devido à atividade antioxidante mostrar correlação positiva e forte, com os compostos fenólicos para a temperatura de 50 °C superior à de 60 e 70 °C pode-se considerar que, esses, possuem um elevado potencial antioxidante. Sendo assim, a temperatura considerada ótima devido à diferença significativa ($p>0,05$), em relação às demais temperaturas estudadas, foi a de 50 °C para compostos fenólicos totais e atividade antioxidante pelo método ABTS e FRAP.

5.6 Caracterização físico-química do pó

Os resultados obtidos para caracterização físico-química do pó do resíduo agroindustrial de acerola verde (obtido da secagem convectiva na temperatura de 50 °C que apresentou maior atividade bioativa, verificando os efeitos do tratamento térmico sobre o resíduo desidratado) estão descritos na Tabela 5.13

Tabela 5.13. Caracterização físico-química do resíduo desidratado a 50 °C.

ANÁLISE	RESULTADOS
Umidade (%)	5,38 ± 0,5
Atividade de Água	0,494 ± 0,0
pH	3,09 ± 0,2
Acidez Titulável (%)	21,8 ± 0,5
°Brix	2,6 ± 0,9
Cinzas (%)	6,58 ± 0,2
Clorofila a (µg/mL)	13901,9 ± 0,1
Clorofila b (µg/mL)	25391,1 ± 0,0
Clorofila Totais (µg/mL)	39293,0 ± 0,7
Carotenoides Totais (µg/mL)	3401,2 ± 0,4
Vitamina C (mg/100g)	145,38 ± 0,0

Fonte: Autor (2022).

De acordo com os dados apresentados na Tabela 5.13, pode-se observar que processo de secagem convectiva reduziu o teor de umidade para 5,38% permitindo, portanto, um produto com maior durabilidade e maior estabilidade, uma vez que, o teor de umidade é uma propriedade que apresenta uma relação direta com a conservação e qualidade do alimento. Soares et al. (2017), obtiveram teor de umidade levemente superior (5,95%) na farinha de

resíduo de goiaba, bem como Alves et al. (2019), com um teor de umidade superior (8,99%) para a farinha do resíduo de acerola verde. Contudo, todas as farinhas exibem adequação ao padrão de qualidade estabelecida pela legislação através da resolução de número 263, que delimita o teor de umidade de farinhas até 15% (BRASIL, 2005), promovendo assim condições de maior vida de prateleira do produto.

Comprovando a ação efetiva do processo de secagem convectiva do resíduo de acerola verde observa-se um decréscimo da atividade de água do resíduo *in natura* para o resíduo desidratado ($A_w = 0,494$), assim, assegurando uma maior vida útil do produto devido à baixa presença de água, tendo em vista que o desenvolvimento microbiano é evitado quando a disponibilidade de água (representada pela atividade de água) é inferior a 0,60. Resultado semelhante foi encontrado por Rodrigues et al. (2019), os quais obtiveram um valor de 0,463 para a farinha do resíduo de acerola oriundo da secagem solar.

Observa-se que processo de secagem convectiva promoveu uma diminuição para o parâmetro pH, tendo como resultado médio de 3,09, estando em concordância com valores considerados ideais para o produto analisado, caracterizando-o como um produto ácido devido estar abaixo do pH de segurança (sendo a faixa decisiva para o desenvolvimento de microrganismos) com isso, o pó do resíduo de acerola verde obtido apresenta uma maior resistência ao crescimento microbiano.

A análise de acidez e pH são úteis na determinação da conservação de alimentos, como também para a adequação aos parâmetros do controle de qualidade e da legislação (SOUZA et al., 2014). Verifica-se que o pó apresentou uma maior acidez (21,8%) em comparação com o resíduo *in natura*, evidenciando que o processo de secagem concentrou mais a presença de ácidos orgânicos, sendo este resultado considerado aceitável, devido ser um apropriado indicador para a conservação, uma vez que, produtos ácidos são menos susceptíveis ao desenvolvimento de microrganismos ao longo de um armazenamento (PEREIRA et al., 2013).

O teor de sólidos solúveis é um dos indicadores de qualidade mais utilizados (SUN et al., 2017). Verifica-se que o teor de °Brix, encontrado para o pó, foi inferior ao do resíduo *in natura*, sendo justificado pelo fato da matéria-prima estar no estágio de maturação verde, o que o caracteriza como produto ácido, devido à transformação dos açúcares que acontece com o avanço da maturação. Além disso, as variações ainda podem ocorrer de acordo com o seu genótipo, bem como: solo, fatores climáticos e irrigação em excesso; o que pode causar redução dos sólidos solúveis (MACIEL et al., 2016).

Quanto ao parâmetro cinzas, o qual é uma propriedade importante devido apresentar o teor total de minerais (Na, K, Ca etc.) presente na amostra, uma vez que farinhas que

apresentam elevados teores de cinzas, exibem maior capacidade tamponante (MONTEIRO et al., 2019). Nota-se que após a desidratação, houve a concentração desse componente com uma quantidade média de 6,58%, sendo este resultado superior ao encontrado por Barbosa et al. (2016) e Leda (2017) ao analisarem a farinha do resíduo de acerola. Com isso, o teor de cinzas demonstra que o pó do resíduo de acerola verde é uma fonte de minerais, podendo ser utilizado como uma alternativa complementar para a alimentação.

Segundo Albuquerque et al. (2018), a quantificação das substâncias bioativas vem sendo pesquisada mundialmente por acrescentar qualidade nutricional e valor aos produtos que os contenha. Conforme Dias (2020), os compostos como clorofila e carotenoides, variam de acordo com a cultura estudada. Entretanto, Silva (2016), relaciona esse pigmento à aparência e qualidade das hortaliças. Observa-se que após a desidratação, a quantidade de todos os compostos bioativos e pigmentos analisados (clorofila a, b, total e carotenoides totais) exibiram um aumento na quantidade quando comparados ao do resíduo *in natura*, tendo em vista o estágio da matéria-prima e o processo de secagem, proporcionou a concentração no pó do resíduo de acerola verde, evidenciando a eficiência da secagem convectiva, atrelada à geração de produtos com teores elevados de componentes importantes para o enriquecimento de alimentos funcionais.

Segundo Rebouças et al. (2013) e Silva et al. (2018), as vitaminas são compostos muito sensíveis e podem ser degradadas por vários fatores, como temperatura, presença de oxigênio, luz, umidade, pH, duração do tratamento a que o alimento foi submetido, entre outros. Verifica-se na tabela 5.13 um resultado médio de 145,38 mg/100g de vitamina C, sendo este inferior ao encontrado no resíduo *in natura*, devido ao efeito do processamento térmico acometido pela secagem convectiva que reduziu a concentração desse componente. No entanto, o valor encontrado está acima do teor da ingestão diária recomendada de vitamina C de 45 mg para adultos, segundo o ministério da saúde (BRASIL, 2005), com isso, pode-se afirmar que o pó do resíduo de acerola verde apresenta teores de vitamina C significativos podendo ser utilizados em diferentes aplicações industriais, principalmente no desenvolvimento de alimentos funcionais.

Os resultados obtidos para a análise de cor no pó obtido da secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde estão descritos na Tabela 5.14.

A cor apresenta fator impactante na qualidade e apreciação pelo consumidor e, é fundamental para aceitação do produto. O índice (L*) que mede a luminosidade variando entre “0” (preto) e o “100” (branco) expressou uma diminuição em comparação a resíduo *in natura*, indicando assim, que este apresenta uma coloração levemente mais clara em relação ao pó (50,89 ± 0,7) obtido na condição ótima de secagem. Esta leve alteração de cor, que

ocorre durante o processo de secagem de frutas, deve-se tanto às reações enzimáticas como não enzimáticas, assim como às condições aplicadas no processo (SABAREZ, 2017; KROKIDA e MAROULIS, 2001).

Tabela 5.14. Análise de cor do pó do resíduo desidratado a 50 °C.

ANÁLISE	PARÂMETRO	RESULTADOS
Cor	*L	50,89 ± 0,7
	*a	16,94 ± 0,6
	*b	20,55 ± 0,3

Fonte: Autor (2022).

Observa-se que para as coordenadas a* e b* os valores encontrados foram positivos, indicando tendência às cores vermelho e amarelo, respectivamente. Segundo Rocha e Reed (2014), a cor é determinada pela presença de pigmentos e alguns deles podem desempenhar um papel importante na saúde. Devido ao aumento na intensidade de a* o pó do resíduo de acerola apresentou uma leve tendência à coloração vermelha. No entanto, o resultado para a intensidade de b* foi superior, demonstrando uma maior presença de componentes amarelos, onde valores maiores de b* podem ser associados à presença de carotenoides no pó, uma vez que são pigmentos de coloração característica amarela, laranja e vermelha, presente nas frutas e vegetais (SILVA et al., 2010).

5.7 Caracterização física do pó

Os resultados obtidos, para caracterização física do pó obtido da secagem do resíduo agroindustrial de acerola verde na temperatura que melhor apresentou atividade bioativa, estão descritos na Tabela 5.15.

A realização das análises físicas permite uma maior explanação acerca de características do pó, que são de fundamental importância para compreender o comportamento do material vegetal estudado, tendo em vista sua aplicação, seja na indústria farmacêutica ou alimentícia (ALBUQUERQUE et al., 2018).

O rendimento de farinhas depende de vários fatores, entre eles a porcentagem de desidratação, a variedade, quantidade de nutriente e água que o resíduo apresenta (SOUSA et al., 2011; HEIDMANN e PANTEL, 2016). Verifica-se na tabela 5.15 que o pó do resíduo de acerola verde, obtido através da secagem convectiva, teve um rendimento final de 19,9%, devido perda de água durante a desidratação do produto. Meneses et al. (2018), encontraram

valor inferior ao do presente estudo para resíduos de acerola desidratados (13,85%). Apesar disso, estes baixos rendimentos podem ser considerados significativos do ponto de vista ambiental, tendo em vista que para elaboração do pó é necessário um maior volume de resíduo, o que reduzirá este tipo de produto no meio ambiente.

Tabela 5.15. Caracterização física do pó que apresentou maior atividade bioativa.

ANÁLISE	RESULTADOS
Rendimento (%)	19,9 ± 0,9
Molhabilidade (g/min)	0,5655 ± 0,8
Solubilidade (%)	33,84 ± 0,0
Higroscopicidade (%)	19,23 ± 0,5
Índice de Absorção de Água (%)	314,8 ± 0,2
Densidade Aparente (g/cm ³)	0,161 ± 0,0
Densidade Compactada (g/cm ³)	0,213 ± 0,3
Densidade Absoluta (g/cm ³)	0,99 ± 0,0
Índice de Compressibilidade (%)	24,30 ± 0,2
Fator de Hausner (%)	1,32 ± 0,0

Fonte: Autor (2022).

Segundo Mattos (2012), a taxa de molhabilidade pode ser representada como o período necessário, em que partículas de um sólido (em um valor determinado) gastam para se encontrarem inteiramente molhadas por um solvente, ou seja, esta propriedade descreve a potencialidade em que um produto em pó alcance sua capacidade máxima de absorção de água. Verificou-se que o tempo para que o pó do resíduo de acerola verde, obtido por secagem convectiva, se encontrasse todo molhado foi de (0,5655 g/min), justificado pelo período de difusão, que apresenta relação direta com a molhabilidade do pó, uma vez que é acelerado devido a vários fatores, como o diâmetro e a porosidade das partículas, que influenciam na facilidade de penetração da água em função da maior quantidade de espaços vazios (OLSZEWSKI, 2013).

Referindo-se à solubilidade, que é o parâmetro mais seguro para verificar o seu comportamento em solução aquosa (FERNANDES et al., 2014), observou-se que o pó do resíduo de acerola verde possui uma solubilidade de 33,84%, sendo este resultado significativo devido ao baixo valor do teor de umidade, corroborando com Sousa et al. (2021), que afirmam que a solubilidade do pó está relacionado a fatores como as condições de

secagem (temperatura de secagem) e o teor de umidade, onde, os pós com baixo teor de umidade têm uma boa solubilidade. Dessa forma, o pó do resíduo de acerola representa uma solução adequada para a utilização como ingrediente na indústria alimentícia por causa da sua boa solubilidade, uma vez que, a solubilidade do pó em água é um critério relevante que determina sua qualidade.

A higroscopicidade é um parâmetro relevante a ser estudado em produtos desidratados, tendo em vista que quando se obtém elevados valores pode acontecer o fenômeno do aglomerado, que nada mais é que a aglomeração espontânea de alimentos, devido grande quantidade de água adsorvida, o que afeta seu uso (OLIVEIRA et al., 2014). Verifica-se que o pó do resíduo de acerola apresentou um percentual de higroscopicidade de 19,23%, o qual se encontra superior ao do estudo de Araújo et al. (2014), que avaliaram a higroscopicidade do suco de acerola desidratado em leite de jorro, com diferentes porcentagens de maltodextrina, exibindo maior capacidade higroscópica.

Em relação ao índice de absorção de água, que mede a quantidade de água que os grânulos do pó são capazes de absorver quando em excesso deste (FARIA, 2014), é uma característica funcional importante devido à melhoria da textura e retenção de sabor no alimento, bem como o índice de absorção de óleo (SOHAIMY et al., 2018). O pó do resíduo de acerola apresentou um índice de absorção de água de 314,8% podendo estar associado ao alto teor de fibras do resíduo, comportamento semelhante foi observado no estudo de Vieira et al. (2021), ao avaliarem a farinha de semente de abóbora obtida por secagem em micro-ondas e estufa.

O conhecimento da densidade de uma farinha está diretamente relacionado com sua capacidade em absorver água (SOUSA, 2015), e, esta é utilizada na especificação de embalagens, transporte e armazenamento. Com isso a densidade aparente do pó do resíduo de acerola verde (realizada com a finalidade de observar o volume ocupado pelo pó) apresentou um valor de $0,161 \text{ g/cm}^3$, sendo este resultado próximo ao encontrado por Gomes et al. (2017), para a caracterização de acerola em pó por camada de espuma, justificados devido aos muitos espaços vazios presentes entre as partículas do pó, explicando uma menor densidade, indicando uma facilidade a se compactar e, uma melhor capacidade de absorver água.

Em relação à densidade compactada realizada para retirar o ar, por meio de batidas contínuas, para fazê-lo ocupar um espaço menor; o pó do resíduo de acerola verde apresentou facilidade de compactação com um valor de $0,213 \text{ g/cm}^3$, observando um valor próximo ao encontrado por Gomes et al. (2017) com valores médios de densidade compactada para os pós de acerola que foram de 0,177; 0,258 e $0,284 \text{ g/cm}^3$.

Em relação à densidade absoluta do pó do resíduo agroindustrial de acerola observou-se um valor médio de $0,99 \pm 0,00 \text{ g/cm}^3$, resultado próximo ao encontrado por Mahdavi et al. (2016) de $0,909 \pm 0,2$ de pós de bérberis (*Berberis vulgaris*) secos por secador por aspersão encapsulados com maltodextrina e goma arábica.

A fluidez depende de vários fatores: tamanho e distribuição das partículas, densidade e umidade. Com isso, quanto menor o valor de Índice de Compressibilidade (IC) melhor a fluidez (MARTINS, 2019). O pó do resíduo agroindustrial de acerola verde apresentou um IC de 24,30%. De acordo com Rayo (2013), farinhas com IC entre 20-35 apresentam fluidez moderada, dessa forma, uma boa fluidez pode garantir a distribuição eficiente da farinha na elaboração dos produtos.

A fluidez de um pó é um índice de importância tecnológica que pode ser caracterizada pelos índices de Hausner e de Carr, também conhecido como índice de compressibilidade (OLIVA, 2016). Diante disso, em relação ao parâmetro da fluidez, compatibilidade do pó e coesividade (que é expressa pelo fator de Hausner) o pó do resíduo de acerola verde apresentou um valor médio de 1,32%, onde está de acordo com Campos (2012), podendo ser caracterizada como de médio escoamento das partículas.

5.8 Perfil de Minerais

Na Tabela 5.16 estão apresentados os resultados obtidos para a caracterização do perfil de minerais do pó do resíduo de acerola que apresentou maior atividade bioativa obtido por secagem convectiva na temperatura de $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Os minerais são importantes componentes para a saúde e garantem o equilíbrio metabólico, além de presentes nos organismos, são necessários em pequenas quantidades diárias e, estes podem ser considerados componentes essenciais (SOUZA, 2021). Em relação aos macrominerais observou-se que todos os componentes apresentaram níveis expressivos de metais essenciais para o organismo, tais como Ca, P, K e Mg, que são metais que desempenham papéis importantes no metabolismo do organismo (GROPPER et al., 2017). O principal macromineral quantificado no pó do resíduo de acerola verde foi o potássio ($3941,14 \text{ mg.100 g}^{-1}$), o qual é um aliado do funcionamento dos músculos e na redução da pressão arterial (LINUS et al., 2021; POOROLAJAL et al., 2017), seguido do magnésio ($1124,56 \text{ mg.100 g}^{-1}$) que é importante em muitos processos do corpo, incluindo a regulação da função muscular e nervosa (NIH, 2021). Em relação aos micronutrientes observou-se que os minerais quantificados apresentaram teores significativos, sendo o ferro ($6,06 \text{ mg.100 g}^{-1}$) o micromineral majoritário, seguido do zinco ($4,01 \text{ mg.100 g}^{-1}$), onde estes auxiliam na

síntese de hemácias no sangue (MENÃO, 2020) e como componentes da defesa enzimática contra o estresse oxidativo (BIEL et al., 2020), respectivamente.

Tabela 5.16. Perfil de minerais do pó do resíduo de acerola verde.

Minerais		
Macro (mg.100g ⁻¹)	Pó	IDR (mg.dia⁻¹)*
P	952,77 ± 0,60	700
K	3941,14 ± 0,98	2600-3400
Ca	880,46 ± 0,74	1000-1200
Mg	1124,56 ± 0,08	310-420
Na	116,39 ± 0,05	1500
Micro (mg.100g ⁻¹)		
Cu	2,28 ± 0,01	0,9
Zn	4,01 ± 0,02	8-11
Fe	6,06 ± 0,02	8-18
Mn	2,33 ± 0,05	1,8-2,3
Conteúdo Mineral Total	7030,04	-

Nota: *Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Dietary Allowances (RDA) and Adequate Intakes (AI) para homens e mulheres > 19 anos (Fonte: IOM – Institute of Medicine, 2019).

Fonte: Autor (2022).

Segundo a RDC nº 54 (BRASIL, 2012), a alegação nutricional de "fontes de minerais" em alimentos só pode ser classificada se pelo menos 15% da Ingestão Diária Recomendada (IDR) estiver presente por 100 gramas de amostra. Considerando as Recomendações Diárias de Referências (RDA) e/ou a Ingestão Adequada (AI) (IOM, 2019) para homens e mulheres acima de 19 anos, o pó do resíduo de acerola verde pode ser considerado como fonte dos minerais. Neste estudo, a determinação do perfil de minerais apresentou valores superiores aos encontrados por Freitas (2017), ao avaliar o resíduo de acerola desidratado em estufa de circulação forçada a 60 °C e, por Silva (2018), quando analisou o resíduo de acerola desidratado em secador roto-aerado. Com base nesses resultados, nota-se que o pó do resíduo de acerola verde, submetido à técnica de secagem convectiva, apresentou resultados

satisfatórios em relação ao conteúdo de minerais, indicando seu potencial tecnológico para incorporação em produtos alimentícios.

5.9 Otimização do processo de extração assistida por ultrassom

Os resultados obtidos para o teor de fenólicos totais e atividade antioxidante do pó desidratado a 50 °C submetido à otimização do processo de extração, para avaliar o efeito da das variáveis independentes estão descritos na Tabela 5.17.

Tabela 5.17. Caracterização dos extratos nos ensaios na extração assistida por ultrassom.

ENSAIO	RESULTADOS			
	CBT ^Ψ (mg/L)	DPPH (mMTrolx/L)	ABTS (mMTrolx/L)	FRAP (mmol/Kg)
1	73085,12 ± 1,6	421,6 ± 0,6	190,5 ± 0,6	175,3 ± 0,6
2	72881,24 ± 2,0	447,9 ± 1,0	188,5 ± 0,4	174,7 ± 0,4
3	57692,18 ± 1,7	262,2 ± 0,2	141,8 ± 0,5	175,0 ± 0,6
4	81240,32 ± 2,1	465,0 ± 0,2	194,1 ± 0,7	175,5 ± 0,4
5	55653,38 ± 1,3	254,6 ± 1,4	172,5 ± 0,3	175,2 ± 0,4
6	71352,14 ± 1,0	436,5 ± 0,7	181,8 ± 0,3	175,4 ± 0,2
7	45867,14 ± 1,7	244,0 ± 1,3	123,3 ± 1,1	174,5 ± 0,1
8	64624,10 ± 0,8	435,3 ± 2,4	174,9 ± 0,5	174,9 ± 0,4
9	70740,50 ± 1,8	453,2 ± 0,4	228,4 ± 0,2	175,1 ± 0,2
10	65133,80 ± 1,9	443,3 ± 1,9	234,6 ± 1,4	174,9 ± 0,1
11	63910,52 ± 1,3	431,2 ± 0,2	211,3 ± 0,8	175,0 ± 0,4

Nota: AOX DPPH- Atividade antioxidante expressa como equivalente ao Trolox em mM.Kg⁻¹ (mM TEAC L⁻¹). FRAP- poder antioxidante de redução de ferro expresso em milimols de Fe²⁺ (mM Fe²⁺ Kg⁻¹). Ψ Conteúdo Bioativo Total medidos com Folin-Ciocalteu expresso como mg.Kg⁻¹ equivalente ao ácido gálico. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2022).

Mediante a ferramenta do planejamento experimental/fatorial e, análise de superfícies de resposta, além de obter valores de variáveis que otimizam o processo de pesquisa, também é possível avaliar o impacto das variáveis no processo e a forma como elas interagem. O

objetivo da seleção do solvente etanol foi com intuito de aplicar o extrato em alimentos ou no processamento de produtos alimentícios, devido apresentar baixa toxicidade em comparação com outros solventes orgânicos. A temperatura ambiente aplicada no processo foi determinada em razão de que temperaturas mais elevadas acarretam um maior consumo energético e, na degradação de compostos com capacidade antioxidante.

A eficiência de extração do composto está intimamente relacionada às condições do processo de extração. A concentração dos componentes de interesse no extrato é afetada por fatores como temperatura, tempo de extração, fração sólido-líquido, polaridade do solvente e tamanho de partícula (IGNAT et al., 2011; STAFUSSA et al., 2016). A utilização do ultrassom nas extrações pode ser realizada em tempos até 100 vezes menores do que quando se utiliza métodos convencionais (GOULA et al., 2016). Esse fato ocorre por conta das cavitações que rompem a estrutura do material, tornando mais fácil o contato com o solvente.

A eficiência da extração assistida por ultrassom está relacionada ao processo de cavitação que ocorre no ultrassom e a polaridade do solvente utilizado. O processo de cavitação ocasiona o rompimento das estruturas do material, beneficiando o contato do solvente. Além disso, a polaridade média do solvente e sua afinidade com os polifenóis facilitam a extração dos compostos. Portanto, o método da extração assistida por ultrassom, utilizando como solvente extrator uma solução hidroalcolica, é eficiente para a extração simultânea de compostos fenólicos, flavonoides e para analisar a atividade antioxidante presente no pó do resíduo de acerola verde.

Através dos resultados apresentados na tabela 5.17, foi observado que mesmo nas condições em que foram obtidos os menores conteúdos de compostos fenólicos totais, os extratos ainda apresentaram alta quantidade desses antioxidantes. É possível observar que para extração de compostos com capacidade antioxidante do pó do resíduo de acerola verde, principalmente no ensaio 4 (que exibiu maiores resultados e foram as condições que potencializaram a obtenção desses compostos, levando em consideração a viabilidade do processo), houve uma variação entre as respostas avaliadas, apresentando uma variação de 70,9 e 31,1% para a atividade estabilizadora de radicais livres pelo método DPPH e ABTS, respectivamente.

No estudo realizado por Cruz et al. (2017), ao avaliar a capacidade antioxidante nos extratos hidroetanólicos de frutos verdes de acerola, também observaram diferenças na atividade estabilizadora dos radicais livres pelo método de DPPH e ABTS, onde essa diferença pode estar relacionada a diversos fatores referente à composição química dos extratos e sua afinidade com os radicais livres, que por sua vez apresentam estruturas e interações diferentes que podem ou não favorecer reações de estabilização de radicais livres.

5.9.1 Compostos fenólicos totais

Os parâmetros avaliados (tempo de ultrassom e relação massa/volume) foram considerados significativos quando $p < 0,05$, enquanto a concentração de etanol não afetou de forma significativa sobre a resposta estudada, como ilustrado na tabela 5.18, os coeficientes de regressão e para os cálculos da análise de variância (ANOVA) utilizada para validação do modelo preditivo estão apresentados (Tabela 5.19).

Tabela 5.18. Coeficientes de regressão para resposta do conteúdo bioativo total do pó do resíduo de acerola verde.

Fatores	Coefficientes de Regressão	Erro Padrão	P
Tempo (min)	-336.8	345.2	0.384475
Concentração (%)	-1201.6	485.2	0.068479
m:Vs (g/mL)	95568.7	621408.0	0.885219
T x C	11.2	5.4	0.106995
T x m:Vs	-2777.9	3234.9	0.438912
C x m:Vs	7110.3	9704.8	0.504384

Fonte: Autor (2022).

De acordo com os resultados exibidos na tabela 5.19, o modelo é validado, ou seja, apresenta ajuste satisfatório aos dados experimentais, quando $F_{\text{CALCULADO}}(7,04) > F_{\text{TABELADO}}(0,22)$, calculados a partir da tabela ANOVA e tabulados, respectivamente. Box e Wetz (1973) sugeriram que para uma regressão ser significativa (não apenas estatisticamente, mas também ser útil para fins preditivos) o valor de $F_{\text{CALCULADO}}$ para a regressão deve ser de quatro a cinco vezes superior ao valor de F_{TABELADO} , fato observado no presente estudo confirmando predição adequada dos dados experimentais. A regressão obteve R^2 igual a 0,84 explicando 84% das respostas obtidas, e o teste F de Fisher foi significativo, demonstrando que o modelo foi capaz de representar os dados experimentais na faixa experimental avaliada. Aplicou-se também o teste F para avaliar a falta de ajuste dos modelos e corroborou-se que o valor do $F_{\text{CALCULADO}}$ foi superior ao valor de F_{TABELADO} , indicando que a falta de ajuste não teve significância, ao nível de 95%, no modelo proposto.

Tabela 5.19. Análise de variância (ANOVA) para o conteúdo bioativo total do pó do resíduo de acerola verde.

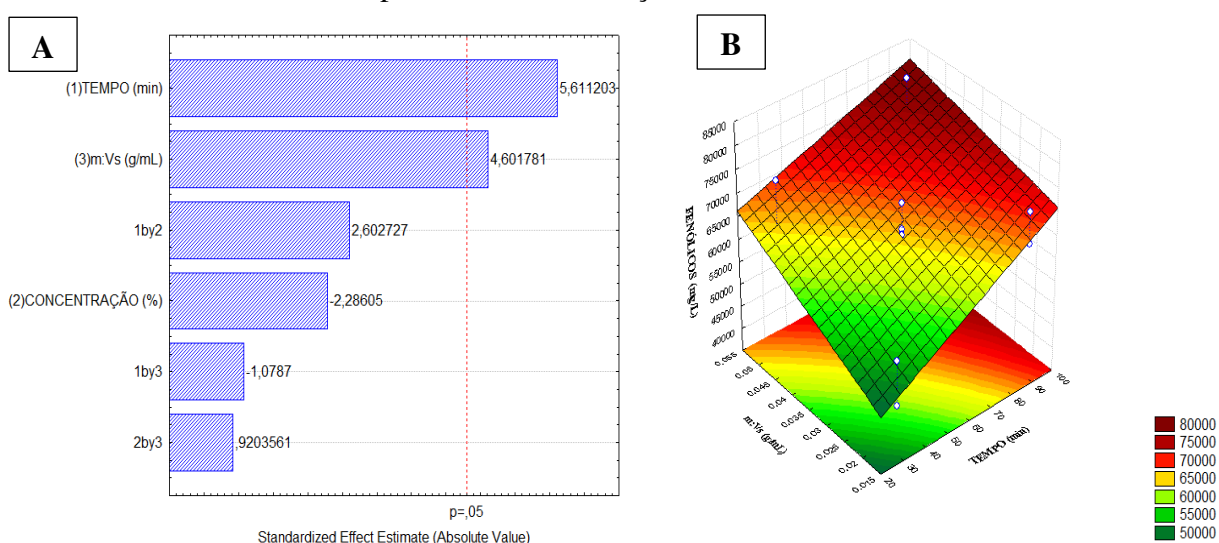
Fonte de Variação	SM	GL	QM	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
Regressão	884305309,1	6	147384218,2		
Resíduos	57190992,2	2	28595496,12	7,04	0,22
Total	26526708,5	2	13263354,27		

Fonte: Autor (2022).

Diante os resultados apresentados na tabela 5.17, obteve-se o gráfico de Pareto (Figura 11) e a superfície de resposta, representando o efeito das variáveis operacionais na extração do conteúdo bioativo total do pó do resíduo de acerola verde.

Os efeitos das variáveis estudadas e, de suas interações podem ser melhor visualizados através gráfico de Pareto, no qual a linha tracejada ($p = 0,5$) indica a região acima da qual os efeitos são considerados significativos, onde pode-se observar que o tempo de contato entre o solvente e o pó de resíduo de acerola verde e, a relação massa/volume, foram as variáveis que apresentaram maiores efeitos significativos na extração dos compostos bioativos totais, que devido ao maior tempo e menor relação, facilitou na sua penetração na amostra, consequentemente, a extração dos compostos bioativos totais.

Figura 11. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais na extração do conteúdo bioativo total.



Fonte: Autor (2022).

De acordo com Yingngam et al. (2015), tempos reduzidos de extração não permitem a penetração eficiente do solvente no extrato, impedindo a extração dos compostos de interesse. A partir da superfície de resposta, nota-se que maiores tempos de extração e menores proporções de massa/volume apresentam uma tendência para maiores concentrações. Além disso, analisando a superfície de resposta pode-se verificar a existência de uma região ótima para o percentual de compostos fenólicos totais. Considera-se assim, que é ideal operar em uma faixa de tempo que varia entre 60 e 90 minutos e, em uma relação de massa/volume entre 1:20 e 1:40 por possui maior eficiência na extração.

Os resultados do presente estudo, apresentaram comportamento semelhante ao do estudo de Graton et al. (2017), sendo o tempo de extração a variável que expressou maior influência no processo de extração dos compostos bioativos totais para o resíduo de acerola, assim como nos estudos de Mourão et al. (2011), Stefanello et al. (2014) e He et al. (2016), que relataram um acréscimo significativo nos compostos bioativos totais quando aumenta o tempo de extração. Rezende et al. (2018) e Xu et al. (2020), recomendam que o emprego do ultrassom (mesmo em tempos menores) pode proporcionar uma maior eficácia e menor tempo de extração, podendo auxiliar a alcançar o valor máximo de compostos bioativos totais que podem ser extraídos do material vegetal.

5.9.2 Capacidade antioxidante

Quanto aos resultados do método de redução do radical DPPH observou-se, que diante as condições avaliadas, somente o tempo de extração e relação massa/volume indicaram que estes exercem influência significativa sobre a resposta ao nível de 95%, enquanto para o método de redução do radical ABTS todas as variáveis analisadas não apresentaram efeitos significativos ($p < 0,05$). E em relação ao poder de redução de ferro pelo método FRAP nota-se que as interações tempo x concentração e, concentração x massa/volume apresentaram influência significativa. Os resultados dos coeficientes de regressão e para os cálculos da análise de variância (ANOVA) estão descritos na tabela 5.20 e 5.21, respectivamente.

Tabela 5.20. Coeficientes de regressão para resposta da capacidade antioxidante do pó do resíduo de acerola verde.

Análise	Fatores	Coeficientes de Regressão	Erro Padrão	P
ABTS	Tempo (min)	27.7798	8.535335	0.082841
	Concentração (%)	-24.7461	8.535335	0.101225
	m:Vs (g/mL)	15.5808	8.535335	0.209479
	T x C	24.1279	8.535335	0.105674
	T x m:Vs	-2.6790	8.535335	0.783334
	C x m:Vs	3.2263	8.535335	0.741781
DPPH	Tempo (min)	150.5429	11.40449	0.005690
	Concentração (%)	-38.5004	11.40449	0.077661
	m:Vs (g/mL)	56.5727	11.40449	0.038318
	T x C	46.4864	11.40449	0.055246
	T x m:Vs	-36.0370	11.40449	0.087244
	C x m:Vs	-32.6525	11.40449	0.103410
FRAP	Tempo (min)	0.1619	0.069936	0.146680
	Concentração (%)	-0.1727	0.069936	0.132278
	m:Vs (g/mL)	0.1079	0.069936	0.262790
	T x C	0.3129	0.069936	0.046486
	T x m:Vs	-0.2266	0.069936	0.083485
	C x m:Vs	0.4748	0.069936	0.021013

Fonte: Autor (2022).

A análise de variância (ANOVA) reportou que o modelo de regressão é considerado válido para as respostas da capacidade antioxidante pelos métodos DPPH e FRAP. O modelo ajustado para a resposta estabilizadora (determinada pelo método ABTS) não foi significativo, como indicado pelo teste F, bem como o baixo valor do coeficiente de determinação (R^2) de 16%, apontando que mais de 80% da variação não é explicada pelo modelo.

Nota-se que o valor de $F_{\text{CALCULADO}}$ da regressão é bem maior que F_{TABELADO} , indicando que o modelo pode ser utilizado para fins preditivos para os parâmetros DPPH e FRAP. Além disso, o coeficiente de determinação (R^2) foi superior, com resultados de 63% e 72% respectivamente.

Tabela 5.21. Análise de variância (ANOVA) para a capacidade antioxidante do pó do resíduo de acerola verde.

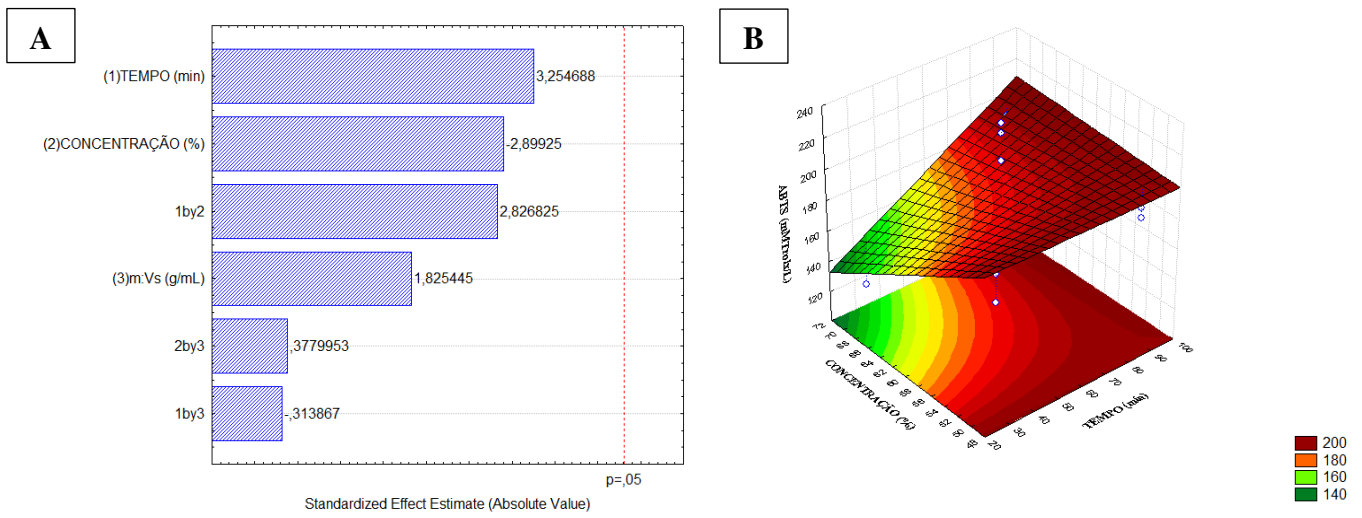
Análise	Fonte de Variação	SM	GL	QM	F _{CALCULADO}	F _{TABELADO}
ABTS	Regressão	4453,2	6	742,20	0,44	
	Resíduos	6345,4	2	3172,69		
	Total	291,4	2	145,70		
DPPH	Regressão	63743,5	6	10623,92	2,61	0,22
	Resíduos	15765,5	2	7882,75		
	Total	520,2	2	260,12		
FRAP	Regressão	0,884809	6	0,14746816	3,71	
	Resíduos	0,139468	2	0,06973410		
	Total	0,019564	2	0,00978204		

Fonte: Autor (2022).

Diante os resultados apresentados na tabela 5.17 obteve-se o gráfico de Pareto e Superfície de resposta (Figura 12, 13 e 14) representando o efeito das variáveis operacionais na extração dos compostos antioxidantes do pó do resíduo de acerola verde.

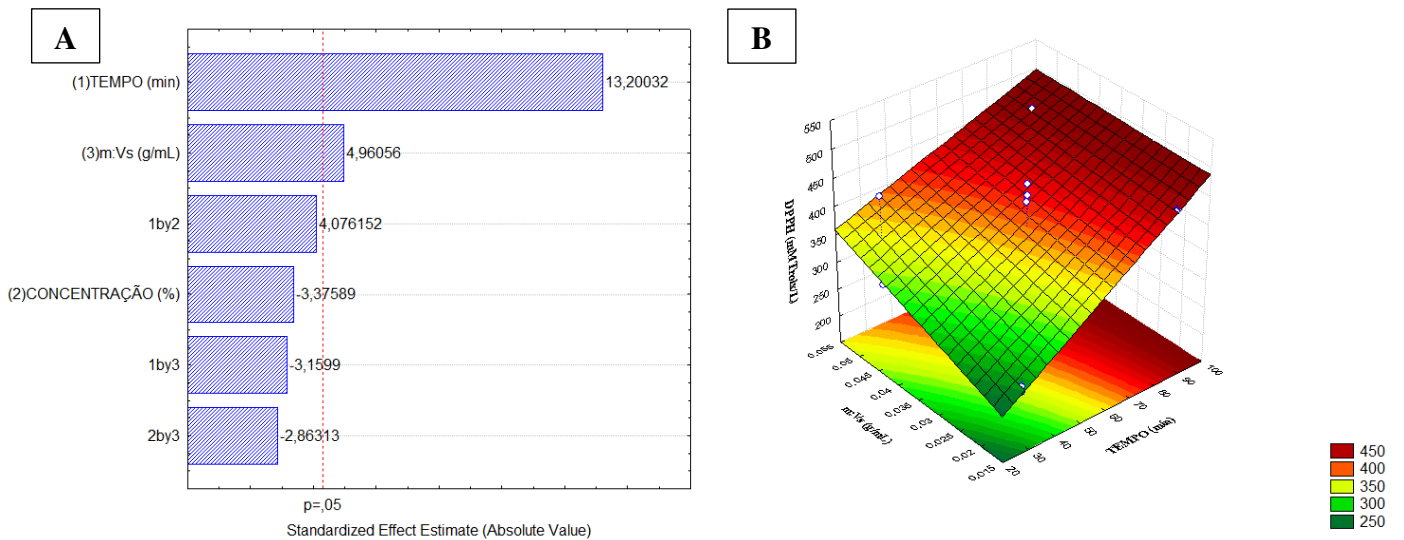
O efeito das variáveis avaliadas apresentou uma influência negativa e significativa para a capacidade antioxidante pelo sequestro de radical livre ABTS, o que pode ser observado pela pronunciada inclinação na superfície de resposta para esta variável, tanto em relação à variável tempo, quanto em relação à variável concentração de solvente, significando que as concentrações medianas de etanol proporcionam maior eficiência na extração. Nota-se que apesar do modelo de regressão não descrever as condições, os ensaios exibiram resultados significativos, sendo que para as condições dos pontos centrais, com tempo de extração de 60 min, concentração de solvente de 60% e, relação massa/volume 01g:40mL foram superiores que as demais condições.

Figura 12. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais para o método ABTS.



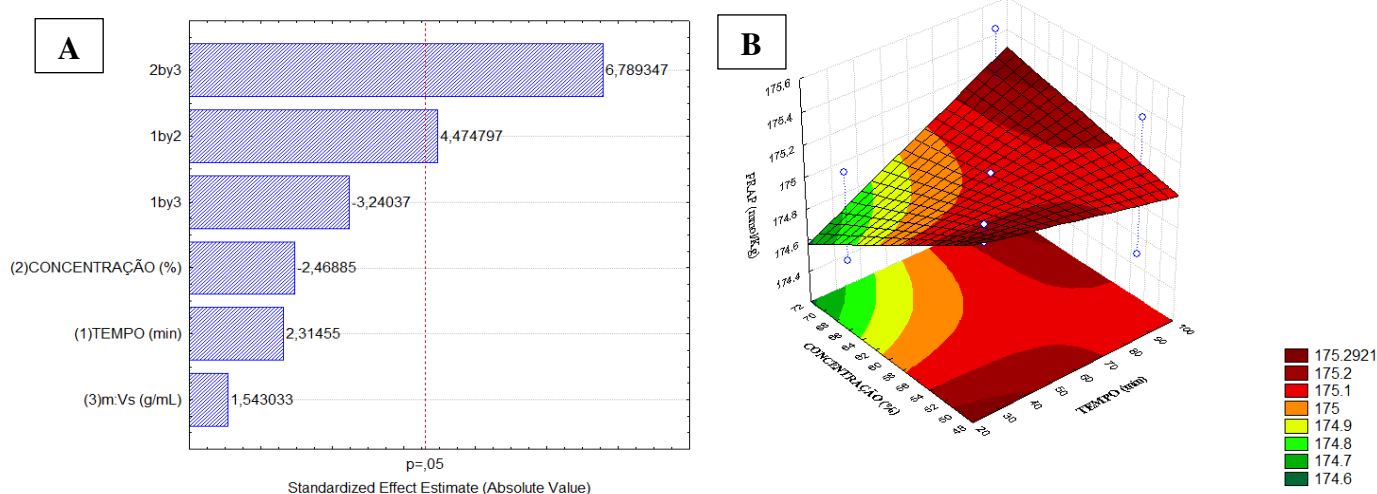
Fonte: Autor (2022).

Figura 13. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais para o método DPPH.



Fonte: Autor (2022).

Figura 14. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais para o método FRAP.



Fonte: Autor (2022).

Quanto ao parâmetro do sequestro do radical DPPH, pode-se observar que ao aplicar maiores tempos de extração e, menores relação massa/volume, é possível obter maior poder de atividade redutora e antioxidante. Devido à correlação que existe com o teor de compostos fenólicos totais com a atividade antioxidante, a melhor relação das variáveis para a extração de compostos fenólicos antioxidantes é utilizando a porcentagem de etanol de 70% na solução extratora hidroalcolólica, o tempo de exposição ao ultrassom de 90 minutos e relação massa/volume (01:20), tendo em vista que soluções mais concentradas favorecem o processo de transferência de massa do soluto para o solvente.

Em relação ao poder antioxidante de redução de ferro expresso pelo método FRAP notou-se que os resultados foram próximos entre si e, a interação das variáveis tempo x concentração e concentração x massa/volume, apresentaram influência na capacidade antioxidante do pó do resíduo de acerola verde, demonstrado pelo gráfico de Pareto, onde as variáveis isoladas não exibiram efeito significativo. No entanto, a melhor resposta quanto a este parâmetro foi aplicando maiores tempo de extração e, menor relação massa/volume, pelo fato de que a atividade antioxidante depende da contribuição global de diferentes compostos, incluindo a interações entre eles.

Segundo Escher et al. (2020), os extratos vegetais exibem ampla possibilidade de serem incorporados em alimentos, atuando como corantes naturais e conservantes de alimentos, possibilitando a substituição de corantes sintéticos (que podem provocar efeitos tóxicos e adversos em humanos). Além disso, a aplicação de ondas ultrassônicas, nas indústrias de alimentos e farmacêuticas, vem crescendo nos últimos anos, isso porque, há uma

grande redução de tempo de extração de biocompostos ou homogeneização da mistura de soluções (TÉLLEZ-MORALES et al., 2020), como foi observado neste trabalho.

Sendo assim, a extração assistida por ultrassom apresentou viabilidade para obtenção dos resultados alcançados, comprovando o potencial de extração de compostos bioativos quando se utiliza essa técnica. Com isso, é possível definir que a melhor condição de extração assistida por ultrassom de compostos fenólicos e capacidade antioxidante do pó do resíduo de acerola, é aplicando o tempo de extração de 90 minutos e relação massa/volume 01g:20mL, com concentrações de solvente na faixa de 70% (Ensaio 4), devido apresentar teores mais elevados de bioativos, podendo assim, incorporar-se em produtos alimentícios, substituindo aditivos sintéticos e preservando o produto devido aos efeitos antioxidantes dos compostos bioativos presentes.

5.10 Otimização do processo de microencapsulação por *Spray Dryer*

Os resultados obtidos para o teor de fenólicos totais e atividade antioxidante do pó submetido à otimização do processo de microencapsulamento, a partir do pó do resíduo agroindustrial de acerola verde na temperatura de 50 °C que melhor apresentou atividade bioativa nas etapas anteriores, para avaliar o efeito da temperatura (°C), velocidade do ar ($m.s^{-1}$) e percentual de encapsulante (%) estão descritos na Tabela 5.22.

Assim como na extração assistida por ultrassom, foi utilizado o planejamento experimental/fatorial no processo de microencapsulamento por *spray dryer*, com intuito de avaliar as condições que otimizam o processo de pesquisa e o impacto das variáveis no processo e, a forma como interagem.

Após a extração dos compostos bioativos totais, essas moléculas são facilmente degradadas por fatores externos, como luz, oxigênio e temperatura (FANG e BHANDARI, 2010; NASSARI et al., 2012). Com isso, a microencapsulação é uma alternativa de preservação desses compostos, uma vez que esses se degradam com facilidade no decorrer do processamento e armazenamento, protegendo-os da luz, umidade, altas temperaturas e oxigênio, aumentando a estabilidade, preservando as propriedades antioxidantes e facilitando a introdução nos alimentos (CARPES et al., 2020; CRIZEL et al., 2018; JYOTHI et al., 2010; TATAR et al., 2019).

Com base nos resultados observados na tabela 5.22, pode-se verificar que todas as condições apresentaram teores significativos de compostos bioativos totais e atividade antioxidante, evidenciando a eficiência do processo de proteção dessas substâncias pela

microencapsulação, através do *spray dryer*, para a preservação de moléculas funcionais presentes no pó do resíduo de acerola verde.

Tabela 5.22. Caracterização dos compostos bioativos totais e da atividade antioxidante em cada ensaio da microencapsulação.

ENSAIO	RESULTADOS			
	CBT ^Ψ (mg/L)	DPPH (mMTrolox/L)	ABTS (mMTrolox/L)	FRAP (mmol/Kg)
1	31037,80 ± 1,7	85,2 ± 1,8	95,3 ± 1,9	80,6 ± 1,3
2	30986,83 ± 1,4	78,3 ± 1,6	67,8 ± 1,8	82,7 ± 1,5
3	41690,53 ± 0,9	96,1 ± 1,5	134,3 ± 1,6	112,6 ± 0,0
4	19671,49 ± 0,3	61,3 ± 0,2	47,9 ± 0,7	51,1 ± 1,2
5	37188,18 ± 1,9	87,3 ± 1,2	88,0 ± 1,3	103,9 ± 1,3
6	23494,24 ± 1,4	76,5 ± 0,9	70,1 ± 1,2	63,8 ± 1,5
7	38479,42 ± 1,2	85,9 ± 1,6	77,4 ± 1,3	82,7 ± 1,4
8	24768,49 ± 1,8	83,2 ± 1,3	65,8 ± 1,5	64,5 ± 1,2
9	26501,47 ± 1,6	76,2 ± 1,5	71,7 ± 1,8	85,6 ± 1,3
10	27215,05 ± 1,8	84,6 ± 1,1	63,8 ± 1,4	93,9 ± 1,3
11	27011,17 ± 1,0	73,7 ± 1,2	61,9 ± 1,7	77,2 ± 1,1

Nota: AOX DPPH- Atividade antioxidante expressa como equivalente ao Trolox em mM.Kg⁻¹ (mM TEAC L⁻¹). FRAP- poder antioxidante de redução de ferro expresso em milimols de Fe²⁺ (mM Fe²⁺ Kg⁻¹). Ψ Conteúdo Bioativo Total medido com Folin-Ciocalteu expresso como mg.Kg⁻¹ equivalente ao ácido gálico. Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2022).

Através dos resultados apresentados na tabela 5.22, nota-se que mesmo nas condições em que foram obtidos conteúdos de compostos bioativos totais mais baixos, os extratos ainda apresentaram alta quantidade desses antioxidantes. Os resultados mostraram que para a microencapsulação de compostos fenólicos totais do pó do resíduo de acerola verde, a temperatura de 120 °C, velocidade do ar de 25 m.s⁻¹ e percentual de encapsulante de 5 % quanto a todos os parâmetros analisados (CBT^Ψ, DPPH, ABTS e FRAP) são as condições que potencializam a proteção desses compostos, levando em consideração a viabilidade do processo.

O teor de compostos fenólicos totais nos pós microencapsulados aumentou em relação ao encontrado no resíduo de acerola verde *in natura* e, diminuiu quando comparado aos níveis encontrados no extrato do resíduo de acerola verde do pó seco a 50 °C, devido às condições de secagem aplicadas que afetam adversamente esses compostos. Como a capacidade antioxidante está relacionada à presença de compostos fenólicos na amostra, a capacidade antioxidante encontrada nos pós microencapsulados foi menor que a encontrada no extrato do pó do resíduo de acerola verde, no entanto, apesar dessa redução, o processo de microencapsulação foi eficiente e satisfatório.

Ao analisar os compostos fenólicos totais e os métodos de capacidades antioxidantes ABTS e FRAP dos ensaios dos microencapsulados, a variável do agente encapsulante foi significativa a 5% de probabilidade, com isso, a verificação dos resultados foi feita considerando a dependência desse fator. Os resultados do presente estudo foram superiores ao encontrado por Gomes (2020), ao avaliarem os compostos bioativos e capacidade antioxidante dos extratos de resíduos de acerola em pó secos por liofilização e *spray dryer* com diferentes agentes encapsulantes, demonstrando que o encapsulante Capsul® (amido modificado), utilizado nesse trabalho, foi mais eficiente na proteção desses compostos em todos os ensaios do processo de otimização.

5.10.1 Compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante

Para uma melhor compreensão do comportamento do sistema, a Tabela 5.23 e 5.24 apresentam os resultados sobre os efeitos das variáveis com os coeficientes de regressão e análise de variância (ANOVA), respectivamente. Dessa forma, é possível verificar se os fatores, ou seja, as variáveis independentes e de suas interações foram significativos quanto aos parâmetros aplicados. Com isso, dentre os parâmetros analisados, observou-se que diante das condições avaliadas apenas o percentual de encapsulante e, a relação encapsulante x temperatura indicaram que estes exercem influência significativa nos compostos bioativos.

O p-valor, que pode variar de 0 a 1 e que simboliza a probabilidade ou chance de o efeito observado pelas variáveis ser devido ao acaso e, não aos fatores que estão sendo analisados, observa-se que para que os efeitos observados sejam significativos estatisticamente, o p-valor deve ser menor ou igual a 0,05, assumindo como margem de segurança 5% de chances de erro (FERREIRA e PATINO 2015). Portanto, estatisticamente para todos os parâmetros analisados o modelo experimental foi capaz de representar os dados experimentais na faixa avaliada, onde, dentre os parâmetros estudados, o percentual de

encapsulante apresentou maior efeito significativo no processo de proteção dos compostos bioativos totais e capacidade antioxidante por meio da microencapsulação no *Spray Dryer*.

Tabela 5.23. Coeficientes de regressão para resposta de compostos bioativos totais e antioxidante do pó do resíduo de acerola verde.

Análise	Fatores	Coefficientes de Regressão	Erro Padrão	P
CBT^Ψ	Encapsulante (%)	3790.47	422.283	0.012185
	Velocidade (m/s)	1131.53	199.631	0.029744
	Temperatura (°C)	22.72	33.130	0.563614
	E (%) x V (m/s)	-219.85	10.396	0.002229
	E (%) x T (°C)	-13.34	2.599	0.035939
	V (m/s) x T (°C)	4.04	1.299	0.089940
ABTS	Encapsulante (%)	-35.8235	3.697756	0.010487
	Velocidade (m/s)	1.0525	3.697756	0.802690
	Temperatura (°C)	-11.0418	3.697756	0.096234
	E (%) x V (m/s)	-13.1851	3.697756	0.070443
	E (%) x T (°C)	21.1076	3.697756	0.029346
	V (m/s) x T (°C)	-8.5349	3.697756	0.147326
DPPH	Encapsulante (%)	-13.8051	5.631857	0.070350
	Velocidade (m/s)	-0.2224	5.631857	0.970389
	Temperatura (°C)	3.0101	5.631857	0.621332
	E (%) x V (m/s)	-4.9378	5.631857	0.430115
	E (%) x T (°C)	7.0731	5.631857	0.277503
	V (m/s) x T (°C)	2.8619	5.631857	0.638086
FRAP	Encapsulante (%)	-29.3902	5.917553	0.038230
	Velocidade (m/s)	-5.0503	5.917553	0.483314
	Temperatura (°C)	-3.0432	5.917553	0.658257
	E (%) x V (m/s)	-10.4028	5.917553	0.220830
	E (%) x T (°C)	0.2698	5.917553	0.967779
	V (m/s) x T (°C)	-5.2284	5.917553	0.470149

Fonte: Autor (2022).

A tabela 5.24 contém os valores dos coeficientes do $F_{\text{CALCULADO}}$ correspondente do teste de Fisher com seus graus de liberdade, sendo ambos os fatores observados obtidos por meio da análise de variância (ANOVA) realizada no planejamento experimental, onde, por meio desses valores é possível observar que as variáveis independentes apresentaram coeficientes de determinação (R^2) com valores mais elevados para CBT^ψ (58,6%) e ABTS (63,3%) considerados significativos e com um bom ajuste ao modelo.

O teste F de Fisher foi significativo para todos os parâmetros ao nível de significância estabelecido (95%) em razão de que segundo Rodrigues et al. (2014), o modelo só é estatisticamente significativo quando o valor de $F_{\text{CALCULADO}}$ for superior ao de F_{TABELADO} , sendo esse o comportamento observado pelas variáveis impostas, demonstrando que o modelo pode ser empregado para fins preditivos.

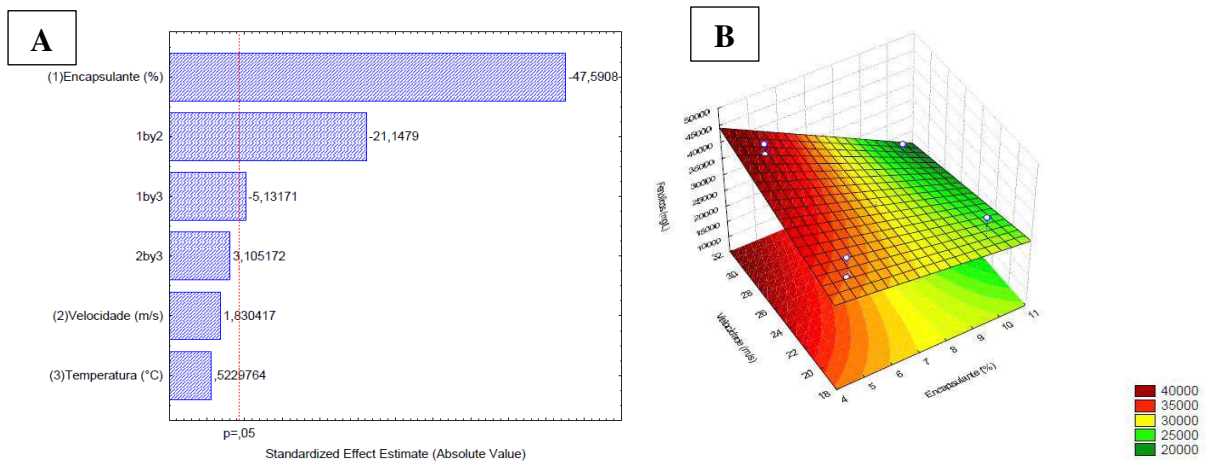
Tabela 5.24. Análise de variância para os fenólicos totais e atividade antioxidante.

Análise	Fonte de Variação	SM	GL	QM	$F_{\text{CALCULADO}}$	F_{TABELADO}
CBT	Regressão	371738064,4	6	61956344,07	2,59	
	Resíduos	95234517,1	2	47617258,57		
	Total	270185,9	2	135092,93		
ABTS	Regressão	4197,1	6	699,52468	2,60	0,22
	Resíduos	1024,0	2	512,01		
	Total	54,7	2	27,35		
DPPH	Regressão	564,6	6	94,09774147	1,48	
	Resíduos	189,1	2	94,54		
	Total	64,7	2	32,33		
FRAP	Regressão	2068,4	6	344,7261882	1,23	
	Resíduos	975,2	2	487,60		
	Total	140,1	2	70,03		

Fonte: Autor (2022).

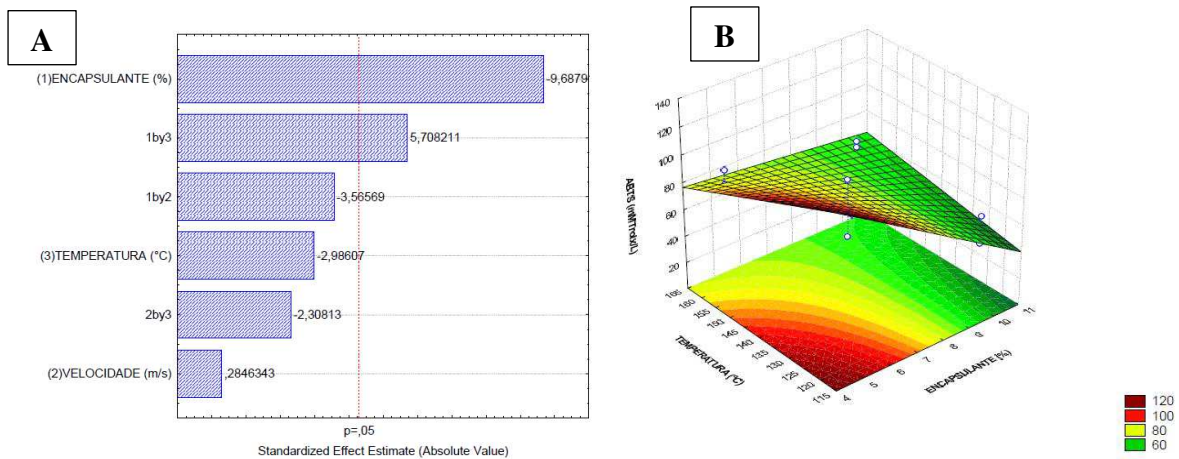
Diante os resultados apresentados na tabela 5.22, obteve-se o gráfico de Pareto e a superfície de reposta (Figura 15, 16, 17 e 18) representando o efeito das variáveis operacionais no microencapsulamento dos compostos antioxidantes do pó do resíduo de acerola verde.

Figura 15. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais no microencapsulamento dos compostos bioativos totais.



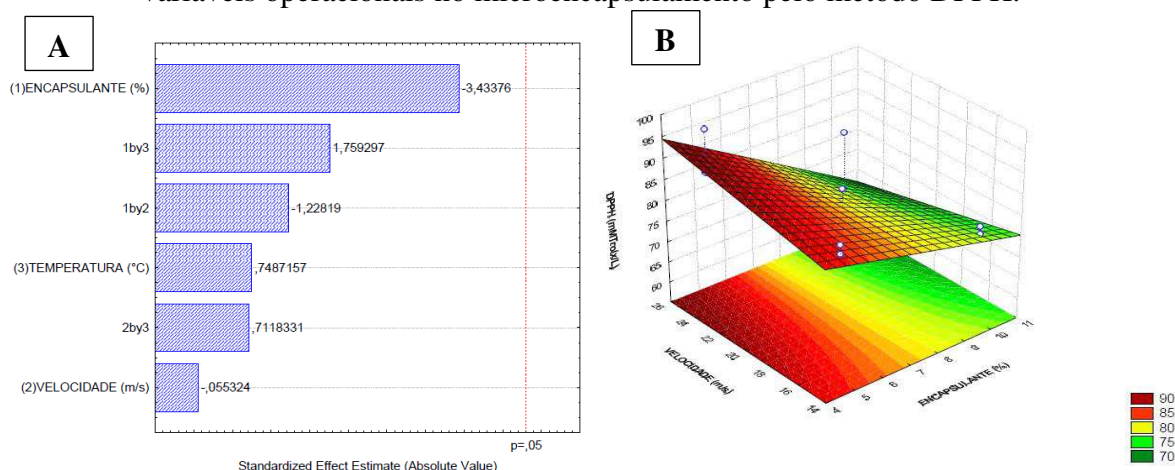
Fonte: Autor (2022).

Figura 16. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais no microencapsulamento pelo método ABTS.



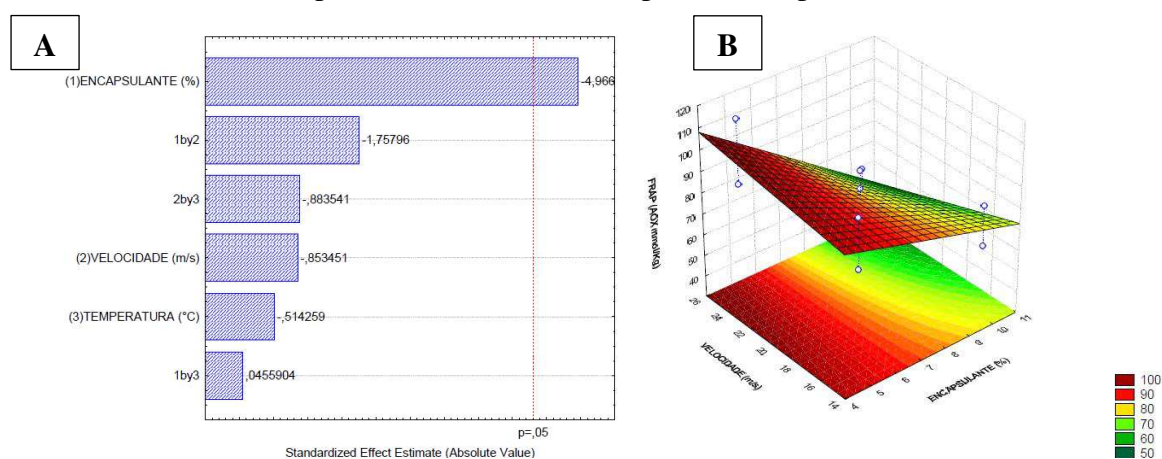
Fonte: Autor (2022).

Figura 17. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais no microencapsulamento pelo método DPPH.



Fonte: Autor (2022).

Figura 18. Gráfico de Pareto (a) e Superfície de Resposta (b) representando o efeito das variáveis operacionais no microencapsulamento pelo método FRAP.



Fonte: Autor (2022).

A partir do Gráfico de Pareto é possível verificar uma melhor compreensão visual do comportamento dos parâmetros analisados em relação às variáveis independentes e suas interações. A linha em vermelho indica a região onde as variáveis devem alcançar para demonstrar significância estatística. Deste modo, pode-se visualizar que a variável percentual de encapsulante, as relações encapsulante x velocidade do ar e, encapsulante x temperatura foram significativas para os compostos bioativos totais, para capacidade antioxidante pelos métodos ABTS (encapsulante x temperatura) e FRAP (encapsulante), não apresentando efeito significativo para o parâmetro DPPH.

Analisando os gráficos de superfície de resposta é possível observar que todos apresentaram inclinação semelhante, as regiões ótimas de microencapsulação estão

localizadas onde se obtém as maiores concentrações de compostos bioativos totais e capacidade antioxidante, sendo o percentual do encapsulante determinante na eficiência do processo como no experimento “3”, uma vez que a proteção dos compostos fenólicos também ocorre em função do tipo de material encapsulante usado no processo, onde o Capsul® (amido modificado) se mostrou bastante eficaz no processo de microencapsulação.

Dessa forma, a escolha do agente encapsulante influencia diretamente no rendimento de processo e comportamento do produto, visto que contribui com o aumento da temperatura de transição vítrea do pó, reduzindo possíveis problemas de higroscopicidade (BHANDARI et al. 1997; OLIVEIRA et al., 2013). Assim como a maltodextrina, o Capsul® (amido modificado) propicia a produção de pós com alta solubilidade em água, a qual é uma condição ideal para uso dos pós como ingredientes alimentícios (OLIVEIRA et al., 2013), destacando-se também por proporcionar uma ótima retenção de compostos bioativos, devido a capacidade que o Capsul® apresenta em aprisionar as moléculas com tecnologias de liberação controlada de substâncias bioativas, por causa da sua fração amilose, que forma estruturas helicoidais resultando em complexos muito estáveis (SHAHIDI e HAN, 1993; ZHU, 2017).

Sendo assim, a microencapsulação do extrato do pó do resíduo de acerola verde utilizando o *Spray Dryer* demonstrou influência significativa de maneira distinta no conteúdo fenólico total e, nas capacidades antioxidantes pelo sequestro de radicais livres ABTS, DPPH e FRAP, porém, comprovando o potencial de microencapsulamento de compostos bioativos. Dessa forma, é possível definir que a melhor condição de encapsulamento de compostos fenólicos e, capacidade antioxidante do pó do resíduo de acerola verde é observada ao fixar a temperatura em 120 °C, velocidade do ar em 25 m.s⁻¹ e percentual de encapsulante em 5% (Ensaio 3) apresentando assim, maiores concentrações dos compostos, desempenhando em uma redução de energia e menores perdas durante o processo.

5.11 Perfil de compostos fenólicos por cromatografia líquida

Os resultados obtidos para a análise do perfil de compostos fenólicos (g.100 g⁻¹) do resíduo de agroindustrial acerola verde *in natura* (IN), secagem convectiva a 50 °C (S), melhor ensaio do extrato do ultrassom (E) e, melhor ensaio do microencapsulamento (M) estão apresentados na Tabela 5.25.

Tabela 5.25. Perfil de compostos fenólicos (g.100 g⁻¹) do resíduo de agroindustrial acerola verde *in natura* (IN), secagem convectiva a 50 °C (S), melhor ensaio do extrato do ultrassom (U) e melhor ensaio do microencapsulamento (M).

AMOSTRAS	IN	S	U	M
Flavanóis				
(-) -Epigallocatequina galato	4,27±0,20 d	6,19±0,04 c	7,72±0,08 b	368,76±0,19 a
Procianidina B1	2,11±0,18 a	1,24±0,09 b	ND	ND
Procianidina B2	2,61±0,31 c	ND	29,52±1,8 b	549,18±0,16 a
Flavonóis				
Kaempferol-3-glicosídeo	1,93±0,10 d	16,11±0,05 c	45,33±0,39 b	221,25±0,15 a
Rutina	0,84±0,17 d	5,52±0,02 c	13,66±0,29 b	64,54±0,63 a
Quercetina 3-glicosídeo	ND	1,29±0,08 b	2,45±0,20 a	2,74±0,03 a
Estilbenos				
Cis-Resveratrol	ND	2,30±0,07 c	7,92±0,81 b	38,94±0,36 a
trans-Resveratrol	3,79±0,27 a	ND	ND	1,61±0,04 b
Ácidos fenólicos				
Ácido caftárico	ND	ND	40,38±0,28 a	4,17±0,46 b
Ácido caféico	ND	ND	0,61±0,07 b	4,88±0,09 a
Ácido <i>p</i> -Cumárico	ND	ND	ND	1,01±0,10 a
Ácido siríngico	ND	ND	0,47±0,04 b	4,30±0,24 a
Ácido clorogênico	ND	ND	2,99±0,03 b	29,26±0,82 a
Flavanonas				
Hesperidina	ND	6,76±0,02 c	20,01±1,10 b	139,18±0,39 a
Naringenina	ND	ND	ND	5,48±0,37 a
TFQ por HPLC	15,57±0,42 d	39,41±0,88 c	171,08±0,35 b	1.435,3±0,95 a

Nota: Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados são expressos como média ± desvio padrão (n = 3). ND - Não detectado. (TFQ) Total de fenólicos Quantificados por HPLC.

Fonte: Autor (2022).

O papel nutracêutico dos compostos fenólicos está relacionado à capacidade dessas substâncias de neutralizar os radicais livres e reduzir os danos oxidativos no organismo, o que poderia desencadear processos degenerativos e patológicos em humanos (GRANATO et al., 2018). Considerando os compostos fenólicos investigados nas quatro amostras citadas foram

quantificados 15 compostos: 3 flavanóides (Epigallocatequina galato, Procianidina B1 e Procianidina B2), 3 flavonóides (Kaempferol-3-glicosídeo, Rutina e Quercetina 3-glicosídeo), 2 estilbenos (Cis-resveratrol e trans-resveratrol), 5 ácidos fenólicos (Ácido caftárico, Ácido caféico, Ácido p-Cumárico, Ácido siríngico e Ácido clorogênico) e 2 flavanonas (Hesperidina e Naringenina).

5.10.1 Flavanóis

Os resultados obtidos para o resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura* (IN) submetida ao processo de secagem convectiva a 50 °C (S), melhor ensaio ultrassônico (U) e melhor ensaio microencapsulado do pó por secagem convectiva a 50 °C (M) indicaram que o extrato do ultrassom e o microencapsulado foram os que apresentaram maiores valores para somas de flavanóis quantificados por CLAE, onde os valores variaram de 37,24 a 917,94 g.100 mg⁻¹, respectivamente.

O principal flavanol quantificado foi a Procianidina B2, obtendo-se valores superiores para o extrato microencapsulado obtido do pó resíduo de acerola verde, com concentração de 549,18 g.100 mg⁻¹, seguido do extrato do pó obtido na extração assistida por ultrassom (7,72 g.100 mg⁻¹). O segundo flavanol quantificado foi a Epigallocatequina galato, sendo o extrato do pó microencapsulado o que apresentou maior concentração (368,76 g.100 mg⁻¹). O terceiro flavanol quantificado foi a Procianidina B1, com teores variando de 1,24 e 2,11 g.100mg⁻¹ para o pó e o resíduo de acerola verde *in natura*, respectivamente. No entanto, para o extrato do pó obtido na extração assistida por ultrassom e microencapsulado não foi detectado nenhuma presença nas amostras, devido aos compostos fenólicos exibirem alguns graus de sensibilidade diante algumas variáveis, como a luz, a oxidação e o calor (NICOLSI et al. 2018).

Os compostos identificados nas amostras obtiveram diferenças significativas entre os resultados, com o extrato do pó microencapsulado superior em relação às outras amostras, tendo a Procianidina B2 como composto majoritário. Ferreira et al. (2021) ao analisar variedades de acerola, observou que no grupo de flavanóis a catequina foi o composto presente em maiores concentrações e, os valores encontrados para Procianidina B2 variaram entre 2,49 e 8,10 mg.kg⁻¹, esses resultados identificados pela autora acima foram inferiores ao encontrado no presente estudo, principalmente para extrato do pó microencapsulado, indicando que mesmo após o processamento o resíduo apresenta teores superiores ao fruto *in natura*, assim como o processo de microencapsulação que permitiu a proteção desses compostos.

5.10.2 Flavonóis e Estilbenos

Para quantificação dos flavonóis foi possível verificar que houve diferença significativa entre as amostras IN, S, U, M. Na Tabela 5.25, destacou-se com maiores concentrações de flavonóis as amostras M, com valor de soma para este grupo de 288,53 g.100 mg⁻¹, tendo o Kaempferol-3-glicosídeo como composto majoritário (221,25 g.100 mg⁻¹), seguido da Rutina e Quercetina-3-glicosídeo. O mesmo comportamento foi observado para todas as amostras. O Kaempferol-3-glicosídeo foi predominante para todas as amostras analisadas, com valores variando de 1,93 a 221,25 g.100 mg⁻¹.

Seraglio et al. (2018), em estudo realizado para determinação de compostos fenólicos e capacidade antioxidante de acerola em três estádios de maturação, identificaram como compostos principais no grupo de flavonóis o Kaempferol (36,53-52,89 mg.Kg⁻¹) e Quercitina (312,95-358,30 mg.Kg⁻¹). Já no estudo de Nascimento et al. (2018), além de alguns ácidos fenólicos, os compostos rutina e quercetina foram os compostos majoritários encontrados em frutos de acerola e, na pesquisa de Bataglion et al. (2015), também mostraram a presença de Kaempferol na acerola madura desidratada na concentração de 14,26 mg/kg. Essa variação nas quantidades de bioativos pode acontecer devido diferença no cultivo e na maturação da fruta. Com base nos valores dos flavonóis quantificados pelos autores acima, observa-se que foram inferiores aos valores obtidos para esses compostos no presente estudo, indicando assim, que os processos de secagem convectiva, extração assistida no ultrassom e microencapsulação pelo *spray dryer* realizados, foram processos tecnológicos adequados para preservação de flavonóis do resíduo de acerola verde.

Em relação aos estilbenos, o cis-resveratrol e o trans-resveratrol foram quantificados no presente estudo. No entanto, apenas o cis-resveratrol foi detectado na maioria das amostras, com exceção do resíduo de acerola *in natura*. Para o composto cis-resveratrol os resultados apresentaram valores médios para o pó de (2,30 g.100⁻¹), para o extrato do ultrassom (7,29 g.100⁻¹) e para o microencapsulado (38,94 g.100⁻¹). Já para o composto trans-resveratrol, observou-se uma maior concentração para o resíduo de acerola *in natura* (3,79 g.100⁻¹) em relação ao extrato do pó microencapsulado (1,61 g.100⁻¹). Os Estilbenos trans e cis resveratrol têm sido amplamente estudados pelos seus benefícios para a saúde dos consumidores, onde as uvas e bebidas derivadas da uva têm sido a principal fonte estudada para estes compostos (SANTOS et al., 2021). Esses resultados mostram a presença de quantidades significativas nos extratos analisados, uma vez que esse grupo de fenólicos exerce um papel relevante nas propriedades nutracêuticos da fruta, assim, conferindo interesse nutricional devido a esses compostos bioativos.

5.10.3 Ácidos Fenólicos

Para os ácidos fenólicos pode-se observar pelos resultados mostrados na Tabela 5.25 que os cinco ácidos analisados foram identificados apenas para amostras do ultrassom e microencapsulado, demonstrando que esses processos foram eficientes e proporcionaram a recuperação desses compostos. É possível observar que para as amostras obtidas na extração assistida por ultrassom, os ácidos fenólicos variaram de 0,61 a 40,38 01 $\text{g}\cdot 100^{-1}$, sendo o ácido caftárico o composto majoritário. Já para as amostras microencapsuladas, os resultados variaram de 1,01 a 29,26 $\text{g}\cdot 100^{-1}$ com o ácido clorogênico em maior concentração.

Dessa forma, os resultados deste trabalho mostraram que a extração assistida por ultrassom e a microencapsulação a partir do pó do resíduo de acerola verde são alternativas para reaproveitamento desse material, gerando um produto com quantidades significativas de compostos bioativos, especialmente os ácidos fenólicos, podendo ser utilizados como ingrediente funcional e/ou aditivo natural, uma vez que as propriedades antioxidantes dos ácidos fenólicos estão relacionadas à prevenção de doenças cardíacas e câncer, inibição do colesterol e envelhecimento saudável (ZHAO et al. 2017), ajudando a evitar o descarte incorreto e agregar valor a esse material.

5.10.4 Flavononas

Dentre os fitoquímicos quantificados foi possível detectar também as Flavanonas, sendo a hesperidina que estava presente nas amostras S (6,76 $\text{g}\cdot 100^{-1}$), U (20,01 $\text{g}\cdot 100^{-1}$) e M (139,18 $\text{g}\cdot 100^{-1}$) diferindo-se estatisticamente, com exceção do resíduo de acerola verde *in natura* que não apresentou nenhuma quantidade desse composto, e a naringenina, que apresentou quantidades desse composto apenas no pó microencapsulado. De acordo com Oroion e Escheriche (2015), flavanonas são compostos bioativos normalmente encontrados nos citrinos, tais como laranjas, limões e tangerinas. Além disso, Tabart et al. (2009), mencionaram também que naringenina e hesperidina têm atividade antioxidante *in vitro*, que pode apresentar uma função importante no aumento das propriedades bioativas da acerola.

A análise do perfil de compostos fenólicos possibilitou verificar que os processos tecnológicos aplicados ao resíduo agroindustrial de acerola verde foram eficientes e, apresentaram comportamentos diferenciados entre os grupos de compostos quantificados, indicando assim, que as técnicas utilizadas são uma boa alternativa para agregar valor a este material e recuperar os compostos bioativos. O total de fenólicos quantificados (TFQ)

evidenciou que as amostras U e M apresentaram o maior conteúdo de compostos fenólicos, com valores de 171,08 e 1.435,3 g.100 mg⁻¹, respectivamente.

6. CONCLUSÃO

O resíduo agroindustrial de acerola verde *in natura* apresentou características físico-químicas favoráveis e potencial funcional satisfatório.

Com relação à cinética de secagem, observou-se que dentre os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais, o modelo de Page foi considerado como o mais adequado para representar o fenômeno investigado no presente estudo.

Após as análises preliminares, a temperatura que proporcionou melhores condições para secagem do resíduo de acerola foi a de 50°C, proporcionando a aquisição de um pó com potencialidade funcional e com boas características nutricionais, principalmente no conteúdo de compostos bioativos e atividade antioxidante.

O processo de secagem possibilitou o desenvolvimento de um pó do resíduo de acerola verde, com baixos valores no teor de água e de atividade de água, com maiores concentrações de carotenoides e clorofilas totais e, com quantidades expressivas em relação ao conteúdo de minerais, evidenciando que este é um produto com alto valor nutricional e elevada estabilidade durante o armazenamento. Com relação às propriedades físicas, o produto obtido nesse estudo, apresentou bom rendimento, fluidez moderada, boa solubilidade e capacidade higroscópica, representando uma solução adequada para a utilização como ingrediente na indústria alimentícia.

No processo de otimização de extração assistida por ultrassom é possível concluir que o método de extração realizado foi eficaz na obtenção do extrato do pó do resíduo de acerola verde, garantindo a recuperação e preservação dos compostos bioativos. Após caracterização dos experimentos, constatou-se que o método de extração e as condições estabelecidas foram cruciais para a eficácia da concentração dos compostos bioativos, onde o modelo de regressão apresentou ajuste satisfatório aos dados experimentais, sendo o tempo de ultrassom e relação massa/volume, as variáveis que apresentaram efeitos significativos. Os parâmetros que afetam a extração foram otimizados e, considerando os resultados obtidos, a condição ideal para extração de compostos fenólicos do pó do resíduo de acerola verde é aplicando um tempo de 90 min, 70% de concentração de etanol e relação de 01:20 g/mL de massa/volume.

O processo de otimização do microencapsulamento do pó do resíduo de acerola foi bastante satisfatório quanto proteção e preservação dos compostos bioativos. Com a aplicação do planejamento fatorial, análise em cada condição e avaliação da interação das variáveis, com base nos resultados obtidos, o modelo de regressão pode ser empregado para fins preditivos, onde dentre as condições o percentual do encapsulante foi a principal variável que

exibiu efeitos significativos, o que permitiu obter micropartículas ricas em compostos antioxidantes, devido utilização do encapsulante Capsul® (amido modificado), que favoreceu uma maior retenção dos compostos bioativos. Considerando os resultados encontrados, a condição ideal para maximizar o processo de microencapsulação dos compostos bioativos do pó do resíduo de acerola é aplicando o percentual de 5% de encapsulante, temperatura de 120 °C e velocidade do ar de 25 m.s⁻¹. Portanto, a otimização da microencapsulação, utilizando amido modificado como material de parede, provou ser uma alternativa viável para a obtenção de compostos bioativos, apresentando um maior potencial para a sua utilização em produtos funcionais e alimentos nutraceuticos.

O perfil de compostos fenólicos, através do CLAE, possibilitou verificar e quantificar 15 compostos presentes no resíduo *in natura* no pó obtido por secagem convectiva e, nos extratos da extração assistida por ultrassom e microencapsulação por *spray dryer*, onde os compostos em maior concentração foram a Epigallocatequina galato (368,76 g.100⁻¹), Procianidina B2 (549,18 g.100⁻¹), Kaempferol-3-glicosídeo (221,25 g.100⁻¹) e Hesperidina (139,18 g.100⁻¹) presentes na amostra do pó do resíduo de acerola verde microencapsulado, seguido da amostra do ultrassom do pó e do resíduo *in natura*, indicando que o processamento possibilitou a extração e proteção desses compostos. Dessa forma, o aproveitamento desse tipo de resíduo, além de minimizar o impacto ambiental, pode ser utilizado na indústria de alimentos em substituição aos antioxidantes sintéticos, como também em elaboração de alimentos funcionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAFRUTAS - **Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados**. Dados estatísticos do setor: Estatísticas das exportações de frutas em 2020, (2021).

AGRIANUAL. **Anuário de Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2019. Disponível em: <<http://www.agriannual.com.br/>>. Acesso em: 8/01/21.

AHMAD, P.; LATEF, A.A.A.; HASHEM, A.; ABD_ALLAH, E.F.; GUCEL, S.; TRAN, L.S.P. **Nitric oxide mitigates salt stress by regulating levels of osmolytes and antioxidant enzymes in chickpea**. *Frontiers in Plant Science*, 7. 2016.

ALBUQUERQUE, A. P. ROCHA, A.P.T.; ARAÚJO, G.T. **Extração hidroalcoólica da casca de cebola roxa: caracterização de compostos bioativos extraídos da casca de cebola roxa**. Novas Edições Acadêmicas. Beau-Bassin, Mauritius. 2018.

ALVES, A. S. S. **Obtenção e caracterização físico-química da farinha do resíduo da acerola**. Vitória de Santo Antão. 2019.

ANCOS de, B.; FERNÁNDEZ, J.I.; SÁNCHEZ, M.C. **Compuestos funcionales en productos de IV y V gama**. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*. 17(2): 130-148, 2017.

AOAC. (2005). Methods-W. In: Horwitz (Ed.). **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th Ed. AOAC International Gaithersburg, MD, USA.

ARARUNA, S. M.; SILVA, A. H.; CANUTO, K. M.; SILVEIRA, E. R.; LEAL, L. K. A. M. **Influence of process conditions on the physicochemical characteristics of cumaru (*Amburana cearensis*) powder produced by spray drying**. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, Curitiba, PR, v. 23, n. 1, p.132-137, jan./feb. 2013.

ARAÚJO, A. D. A.; COELHO, R. M. D.; COSTA, J. M. C da.; RODRIGUES, S. **Higroscopicidade do suco de acerola desidratado em leite de jorro**. COBEQ – XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 19-22 de outubro de 2014, Florianópolis/SC, p. 1-4.

ARAUJO, W. D.; GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; FILHO, C. P. H. & MARTINS, E. A. S. (2017). **Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada**. *Revista Ciência Agronômica*, v. 48, n. 3, p. 448-457.

ARRÁZOLA, G.; ALVIS, A.; PAEZ, M. **Composición, análisis termofísico y sensorial de frutos colombianos**. Parte 2: Acerola (*Malpighia emarginata* L.). *Inf. Tecnol.* 25(3): 23-30, 2014.

BABU, A. K.; KUMARESAN, G.; RAJ, A. A. V.; VELRAJ, R. **Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 90, p.536–556, 2018.

BARBOSA, T. F.; SANTOS, S. L. A.; CORINGA, E. A. O. **Propriedades físico-químicas e atividade antioxidante de farinhas de frutas**. XXV Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos – Alimentação a arvore que sustenta a vida, 2016.

BARROS, V. M. **Influência do processamento de secagem nos teores de compostos bioativos e antinutricionais em farinha de resíduo de acerola**. (Dissertação de Mestrado) - São Cristóvão, SE, 2019. 81 f.: il.

BASTOS, D. H. M.; ROGERO, M. M.; ARÊAS, J. A. G. **Mecanismos de ação de compostos bioativos dos alimentos no contexto de processos inflamatórios relacionados à obesidade**. *ArqBrasEndocrinolMetab.* v. 53, n. 5, p. 647, 2009.

BATAGLION, G. A.; SILVA, F. M. A.; EBERLIN, M. N.; KOOLEN; H. H. F. **Determination of the phenolic composition from Brazilian tropical fruits by UHPLC-MS/MS**. *Food Chemistry*, v. 180, p. 280-28 2015.

BELWAL, T.; DEVKOTA, H. P.; HASSAN, H. A.; AHLUWALIA, S.; RAMADAN, M. F.; MOCAN, A.; ATANASOV, A. G. **Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia spp.*) and its potential as functional food**. *Trends Food Sci. Technol.* 74(1): 99-106, 2018.

BEUCHAT, L. R. **Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein**. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, v. 25, n. 2, p. 258-261, Mar. 1977.

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; CROOKS, R.; HOWES, T.; RIGBY, S. **A semi-empirical approach to optimise the quantity of drying aids required to spray dry sugar-rich foods**. *Drying Technology*, [S. l.], v. 15, n. 10, p. 2509–2525, 1997. DOI: 10.1080/07373939708917373. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07373939708917373>.

BIEL, W.; WITKOWICZ, R.; PIĄTKOWSKA, E.; PODSIADLO, C. **Proximate composition, minerals and antioxidant activity of artichoke leaf extracts**. *Biological Trace Element Research*, v. 194, p. 589-595, 2020.

BOTREL, D. A.; BORGES, S. V.; FERNANDES, R. V. B.; CARMO, E. L. **Optimization of fish oil spray drying using a protein: inulin system**. *Drying Technology*, Abingdon, UK, v. 32, n. 3, p. 279-290, jan. 2014.

BOX, G. E. P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by na approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, n.9, 1973.

BRAGA, A. C. D.; LIMA, M. S.; AZEVEDO, L. C.; RAMOS, M. E. C. **Caracterização e obtenção de farinha do resíduo gerado no processo industrial de clarificação do suco de acerola**. *Revista Semiárido de Visu*, 1(August 2014), p. 126–133, 2011.

BRASIL. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos**. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 54, de 12 de novembro de 2012, dispõe sobre o **Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar**. 2012.

CAMPOS, M. M. **Análise da escoabilidade de pós**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2012.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. **Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization**. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Oxford, v. 5, n. 4, p. 420-428, 2005.

CARNEIRO, T. B.; MELLO, J. G. **Frutos e polpa desidratada 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.

CARPES, S. T., PEREIRA, D., MOURA, C. DE, REIS, A. S. DOS, SILVA, L. D. DA, OLDONI, T. L. C., PLATA-OVIEDO, M. V. S. **Lyophilized and microencapsulated extracts of grape pomace from winemaking industry to prevent lipid oxidation in chicken pâté**. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23(e2019112), 1–13. 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1981-6723.11219>.

CARVAJAL, U.J.; PANIAGUA, A.A.; MORALES, A.F. **Estudio técnico y financiero para la producción de una hectárea de acerola (Malpighia emarginata) en Puriscal, Costa Rica**. *Rev. e-Agronegócios*. 1(2): 1-14, 2015.

CASTRO, A. M.; MAYORGA, E. Y.; MORENO, F. L. **Mathematical modelling of convective drying of fruits: a review**. Journal of Food Engineering, v. 223, p. 152167, 2018.

CEAGESP – Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo. Centro de Qualidade, Pesquisa e Desenvolvimento. **A medida de doçura das frutas**. Cartilha técnicas 08. p. 17, São Paulo, 2016.

CEBALLOS, A. M.; GIRALDO, G. I.; ORREGO, C. E. **Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried sour sop fruit pulp**. Journal of Food Engineering, v.111, n.2, p.360-365, 2012.

CHEN, Q., Bi, J., CHEN, R., LIU, X., WU, X., ZHOU, M. **Estudo comparativo sobre as características de secagem, difusividade da umidade e alguns atributos físicos e nutricionais de fatias de cenoura escaldadas**. Journal of Food Process and Preservation, 41, 1-8. 2017.

CHIM, J. F.; ZAMBLAZI, R. C.; RUI CARLOS, R. S. R. **Stability in Acerola Juice Under Different Storage Conditions**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, 15(4), p. 321–327, 2013.

CORRÊA, C.V.; GOUVEIA, A.M.D.S.; MARTINS, B.N.; JORGE, L.G.; LANNA, N.; TAVARES, A.E.B.; MENDONÇA, V.Z.; EVANGELISTA, R.M. **Influence of ripening stages on physicochemical characteristics of acerola fruits**. Rev. Ciências Agrárias. 40(4): 808-813, 2017.

COSTA, L. DE OLIVEIRA. **Obtenção de polpa de manga em pó pelo processo de liofilização**. Fortaleza, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará, 2017.

CRIZEL, T. D. M., RIOS, A. D. O., ALVES, V. D., BANDARRA, N., MOLDÃO-MARTINS, M., FLÔRES, S. H. **Biodegradable Films Based on Gelatin and Papaya Peel Microparticles with Antioxidant Properties**. Food and Bioprocess Technology, 11, 536–550. 2018.

CRUZ, P. M. F. **Avaliação da temperatura de secagem e do armazenamento na composição química e qualidade sensorial do tomate seco**. 2011. 71f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Candido Rondon, 2011.

CRUZ, R. G. **Potencial de metabólitos da acerola como antioxidantes em diferentes sistemas oxidativos mediados por radicais livres.** Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

CRUZ, R. G.; BENEY, L.; GERVAIS, P.; LIRA, S. P.; VIEIRA, M. F. S.; DUPONT, S. **Comparison of the antioxidant property of acerola extracts with synthetic antioxidants using an in vivo method with yeasts.** Food Chemistry, v.277, p. 698-705, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.099> . Acesso em jan. 2019.

CUNHA, K. D.; SILVA, P. R.; COSTA, F.; TEODORO, A. J. **Estabilidade de ácido ascórbico em sucos de frutas frescos sob diferentes formas de armazenamento.** Brazilian Journal of Food Technology, v. 17, p. 139-145, 2014.

DE OLIVEIRA, D. E. C. et al. **Obtenção e modelagem das isotermas de dessecção e do calor isostérico para sementes de arroz em casca.** Científica, v. 42, n. 3, p. 203-210, 2014.

DEHGHANNYA, J.; POURAHMAD, M.; GHANBARZADEH, B.; GHAFFARI, H. **Heat and mass transfer modeling during foam-mat drying of lime juice as affected by different ovalbumin concentrations.** Journal of Food Engineering, v. 238, p. 164–177, 2018.

DEHGHANNYA, J.; GORBANI, R.; GHANBARZADEH, B. **Shrinkage of Mirabelle Plum during Hot Air Drying as Influenced by Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration.** International Journal of Food Properties, v.19, n.5, p.1093-1103, 2016.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A.; PAREDES-LÓPEZ, O. **Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains—characteristics, biosynthesis, processing, and stability.** Critical reviews in food science and nutrition, v. 40, n. 3, p. 173-289, 2000.

DIAS, L. A.; SILVEIRA, P. H. A. M.; OMURA, S. S.; GARCIA, B.; OLEIVEIRA, R. E. V. **Determinação de teores de clorofila e carotenoides em alface, rúcula e cebolinha.** Brazilian Journal of animals and environmental research, Curitiba, v. 3, n. 4, p. 404 3100-3107, 2020.

DOTTO, G. L.; MEILI, L.; TANABE, E. H.; CHIELLE, D. P.; MOREIRA, M. F. P. **Evaluation of the mass transfer process on thin layer drying of papaya seeds from the perspective of diffusive models.** Heat Mass Transf., v. 54, p. 463-471, 2018.

DOYMAZ, İ. **Drying kinetics, rehydration and colour characteristics of convective hotair drying of carrot slices.** Heat and Mass Transfer, v. 53, n. 1, p. 25–35, 17 jan. 2017.

DRUSCH, S.; REGIER, M.; BRUHN, M. **Recent advances in the microencapsulation of oils high in polyunsaturated fatty acids**. In: Novel Technologies in Food Science, Nova Iorque, Springer, v. 7, pp. 159-181,2012.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold Water Soluble Granular Starch for Gelled Food Composition**. U.S. Patent 4465702, 14 ago. 1984.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Ciência que Transforma: Resultados e Impactos Positivos da Pesquisa Agropecuária na Economia, no Meio Ambiente e na Mesa do Brasileiro**. Embrapa, 2020.

EMPRAPA. **Ciência que transforma: Resultados e impactos positivos da pesquisa agropecuária na economia, no meio ambiente e na mesa do brasileiro**. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/frutas-e-hortalicas>>. Acesso em 03/08/2020.

ERBAY, Z.; ICIER, F. **A review of thin layer drying of foods: Theory, modeling, and experimental results**. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 50 (5), p. 441-464, 2010.

ESCHER, G. B.; MARQUES, M. B.; DO CARMO, M. A. V.; AZEVEDO, L.; FURTADO, M. M.; SANT'ANA, A. S.; DA SILVA, M. C.; GENOVESE, M. I.; WEN, M. de alimentos P.; ZHANG, L.; OH, W. Y.; SHAHIDI, F.; ROSSO, N. D.; GRANATO, D. **Clitoria ternatea L. petal bioactive compounds display antioxidant, antihemolytic and antihypertensive effects, inhibit α -amylase and α -glucosidase activities and reduce human LDL cholesterol and DNA induced oxidation**. Food Research International, v. 128, 2020.

FANG, Z.; BHANDARI, B. **Encapsulation of polyphenols - a review**. Food Science & Technology 21,510–523, 2010.

FARIA, Carolyne Bitencourt. **Secagem da polpa de maracujá por atomização com adição de maltodextrina e farinha da sua casca**. 2014. 178 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP.

FAWOLE, Olaniyi A.; OPARA, Umezuruike Linus. **Changes in physical properties, chemical and elemental composition and antioxidant capacity of pomegranate (cv. Ruby) fruit at five maturity stages**. Scientia Horticulturae, [S. l.], v. 150, p. 37–46, 2013.

FEITOSA, B. F.; OLIVEIRA, E. N. A.; OLIVEIRA NETO, J. O.; OLIVEIRA, D. B.; FEITOSA, R. M. **Cinética de secagem dos resíduos da agroindústria processadora de**

polpas de frutas. Energia na Agricultura, v. 34, n. 1, p. 134-141, 2019.
<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2019 v34n01p134-141>.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERNANDES, R. V. B., QUEIROZ, F., BOTREL, D. A., ROCHA, V. V., DE SOUZA, V. R., DE LIMA, C. F. **Estudo da adição de albumina e da temperatura de secagem nas características de polpa de tomate em pó.** Semina: Ciências Agrárias, 35(3), 1267-1278, 2014.

FERREIRA, J. C.; PATINO, C. M. **O que realmente significa o valor-p ?.** Jornal Brasileiro de Pneumologia, v. 41, n. 5, p. 3713, 2015.

FERREIRA, I. C.; SILVA, V. P.; VILVERT, J. C.; SOUZA, F. F.; FREITAS, S. T.; LIMA, M. S. **Brazilian varieties of acerola (Malpighia emarginata DC.) produced under tropical semi-arid conditions: Bioactive phenolic compounds, sugars, organic acids, and antioxidant capacity.** Journal Food Biochemistry, 2021.

FONSECA, A.S.V. **Perfil sensorial, aceitação e caracterização em compostos bioativos de misturas de frutas tropicais.** Tese (doutorado) Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2014.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Dossiê Alimentos Desidratados.** Food Ingredients Brasil Nº 26. p. 14, 2013.

FRANCA, Lorena Galdino Da. **Indicação de clones de acerola visando a qualidade de frutos verdes para processamento.** 2016. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Limoeiro do Norte, [S. l.], 2016.

FRANCO, T. S.; PERUSSELLO, C.A.; ELLENDERSEN, L. N.; MASSON, M. L. **Effect of Process Parameters on Foam Mat Drying Kinetics of Yacon (Smallanthus sonchifolius) and Thin-Layer Drying Modeling of Experimental Data.** Journal of Food Process Engineering, v. 40, n. 1, 2017.

FREITAS, T. L. **Subprodutos de acerola como fonte de compostos fenólicos em leites fermentados.** 77f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, 2017.

GABRIEL, A. A.; CAYABYAB, J. E. C.; TAN, A. K. L.; COROOK, M. L. F.; ABLES, E. J. O.; TIANGSON-BAYAGA, C. L. P. **Development and validation of a predictive model**

for the influences of selected product and process variables on ascorbic acid degradation in simulated fruit juice. Food Chemistry, v. 177, p. 295-303, jun. 2015.

GARCIA, C. M. S. **Microencapsulação por spray drying de compostos bioativos de subprodutos do ananás.** 2016. 76 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa. 2016.

GLOBO. **Brasil é o 4º maior produto de grão, atrás de China, EUA e Índia.** 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2021/06/01/brasil-e-o-4o-maior-produtor-de-graos-atras-da-china-eua-e-india-diz-estudo.ghtml>. Acesso: 02/12/2021.

GOMES, B. T. **Microcápsulas de extrato de resíduo de acerola: aspectos físico-químicos e compostos bioativos.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre - ES. 2020.

GOMES, L. D. B. C.; ALMEIDA, E. M.; OLIVEIRA, S. N. **Cinética de secagem em camada de espuma e caracterização física de acerola em pó.** Revista Brasileira de Agrotecnologia (Brasil), ISSN: 2317-3114 v. 7, n. 2, 2017.

GOMES, M. S. FRAGA, S; MOURA, N. F; SILVA, R. S. **Aproveitamento de cascas de banana para a produção de farinha e aplicação como ingrediente em bolos.** Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Gramado, 2016.

GOULA, A. M., K THYMIATIS e K KADERIDES. **Valorization of grape pomace: Drying behavior and ultrasound extraction of phenolics.** Food and Bioproducts, 2016.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. **A new technique for spray drying orange juice concentrate.** Innovative Food Science e Emerging Technologies, v. 11, n. 2, p. 342-351, 2010.

GRANATO, D., PUTNIK, P., KOVACEVÍČ, D. B., SANTOS, J. S., CALADO, V., ROCHA, R. S., CRUZ, A. G., JARVIS, B., RODIONOVA, O. Y., & POMERANTSEV, A. **Trends in chemometrics: Food authentication, microbiology, and effects of processing.** Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 17, 663–677. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12341>.

GRATON, I. S.; MENDES, L. G.; CARRIJO, T. S.; SILVA, P. B.; BARROZO, M. A .S. **Estudo da extração e quantificação de fenólicos presentes no resíduo de acerola.** XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica UFSCar – SP, 2017.

GROPPER, S. S.; SMITH, J. L.; CARR, T. P. (2017). **Advanced nutrition and human metabolism (7th ed.)**. Boston: Cengage Learning.

GRUZ, J.; AYAZ, F. A.; TORUN, H.; STRNAD, M.. **Phenolic acid content and radical scavenging activity of extracts from medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit at different stages of ripening**. Food Chemistry, [S. l.], v. 124, n. 1, p. 271–277, 2011.

GUIMARÃES, A.; COSTA, R.; CABRAL, L.; VIEIRA, A. **Comparative anatomy and chemical analysis of the vegetative organs of three species of Stigmaphyllon (Malpighiaceae)**. Flora. 224(1): 30-41, 2016.

HE, B.; ZHANG, L.-L.; YUE, X.-Y.; LIANG, J.; JIANG, J.; GAO, X.-L.; YUE, P.-X. **Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium ashei*) wine pomace**. Food Chemistry, v. 204, p. 70–76, 2016.

HEIDMANN, P., PATEL, V. **Farinha de casca de cajá-manga e elaboração de pão: avaliação dos compostos fenólicos e atividade antioxidante**. BS thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

HIJO, A. A. C. T., COSTA, J. M. G., SILVA, E. K., AZEVEDO, V. M., YOSHIDA, M. I., BORGES, S. V. **Physical and termal properties of oregano (*Origanum vulgare* L.) essential oil microparticles**. Journal of Food Process Engineering, Westport, v.38, n. 1, p.1-10, feb. 2015.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Condição do produtor**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?t=2&z=t&o=11&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1> . Acesso em: 10/09/20.

IGNAT, I.; VOLFF, I.; POPA, V. I. **A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables**. Food Chemistry, [s. l.], v. 126, p. 1821–1835, 2011

IAL, INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª ed. São Paulo. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, 2008, p.1020.

IOM - Institute of Medicine. **Dietary reference intakes for sodium and potassium**. Washington, DC: National Academies Press, 2019.

JANKOWSKY, I. P. **Secagem de madeira equipamento e processos**. Revista da Madeira: Wood Magazine, [s.l], n.128, p.1-1, ago. 2011.

JIDEANI, V. A.; MPOTOKWANA, S. M. **Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation**. Journal of Food Engineering, v. 92, n. 2, p. 182–188, maio 2009.

JORGE, A. P. P.; JUNIOR, W. N. F.; SILVA, L. C. M.; OLIVEIRA, D. E. C.; RESENDE, O. **Drying kinetics of 'gueroba' (Syagrus oleracea) fruit pulp**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 25, n. 1, p. 2327, 2021.

JYOTHI, N. V. N., PRASANNA, P. M., SAKARKAR, S. N., PRABHA, K. S., RAMAIAH, P. S., SRAWAN, G. Y. **Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency**. Journal of Microencapsulation, 27(3), 187–197. 2010.
<https://doi.org/10.3109/02652040903131301>

KALEEMULLAH, S.; KAILAPPAN, R. **Monolayer moisture, free energy change and fractionation of bound water of red chillies**. Journal of Stored Products Research, v. 43, n. 2, p. 104–110, jan. 2007.

KAVEH, M.; AMIRI CHAYJAN, R.; NIKBAKHT, A. M. **Mass transfer characteristics of eggplant slices during length of continuous band dryer**. Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung, v. 53, n. 6, p. 2045–2059, 1 jun. 2017.

KIM, S.; PARK, J.; HWANG, I. **Composition of main carotenoids in Korean red pepper (capsicum annuum, L) and changes of pigment stability during the drying and storage process**. Journal of food science, v. 69, n. 1, p. FCT39-FCT44, 2004.

KIM, Y K.; GUO, Q.; PACKER, L. **Free radical scavenging activity of red ginseng aqueous extracts**. Toxicology, v.172, p.149-156, 2002.

KROKIDA, M.; MAROULIS, Z. **Quality changes during drying of food materials**. (A. S. Munjudar, Ed.) Drying Techonology in Agriculture and Food Science. Enfield: Science Publisher, 2001.

LEDA. A. M. **Caracterização físico-química das farinhas dos resíduos de acerola, abacaxi e do mix**. Campina Grande, 2017.

LEITE FILHO, M. T.; MARTINS, J. H.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; SILVA, A. L. C.; ALMEIDA MARTINS, I. T. **Drying kinetics of pineapple agro-industrial residues: a new approach/Cinética de secagem de resíduos agroindustriais de abacaxi**:

uma nova abordagem. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 1, p.3928-3949, 2020.

LIMA, M. S.; SILANI, I. S. V.; TOALDO, I. M.; CORRÊA, L. C.; BIASOTO, A. C. T.; PEREIRA, G. E.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; NINOW, J. L. **Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced from new Brazilian varieties planted in the Northeast Region of Brazil.** Food Chemistry, v. 161, p. 94 – 103, 2014.

LINUS PAULING INSTITUTE, OREGON STATE UNIVERSITY. **Micronutrient Information Center – Potássio.** 2021. Disponível em: <<https://lpi.oregonstate.edu/mic/minerals/potassium>>. Acesso em 22 de dezembro 2021.

MACIEL, G.M, FERNANDES, M.A.R., MELO, O.D., Oliveira, C.S. **Potencial agrônômico de híbridos de minitomate com hábito de crescimento determinado e indeterminado.** Horticultura Brasileira 34: 133-137. 2016.

MAHDAVI, S. A.; JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; DEHNAD, D. **Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 85, p. 379-385, 2016.

MARTINS, E. A. S., LAGE, E. Z., GONELI, A. L. D., HARTMANN FILHO, C. P., LOPES, J. G. **Cinética de secagem de folhas de timbó (*Serjania marginata* Casar).** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19(3), 238–244. 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n3p238-244./, 2015.

MARTINS, N.; PETROPOULOS, S.; FERREIRA, I. C. F. R. **Chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.) as affected by pre- and postharvest conditions: A review.** Food Chemistry, v. 211, p. 41-50, 2016.

MARTINS, T. S. **Produção de Coproduto de Araçá (*Psidium cattleianum*): Características da Farinha e sua aplicação como novo ingrediente na indústria de panificação.** (Trabalho de Conclusão). UFBP - João Pessoa, 2019.

MATTOS, A. C. H. **Determinação de molhabilidade de materiais particulados na indústria alimentícia.** Porto Alegre: UFRGS, 2012, 30 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MÉLO, B. C. A.; NETTO, W. S. **Produção de celulasas por fermentação em estado sólido em resíduo de acerola (*Malpighia* sp.) utilizando *Trichoderma reesei*.** 2016. 116 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MELO, J. C. S.; PEREIRA, E. D.; OLIVEIRA, K. P.; COSTA, C. H. C.; FEITOSA, R. M. **Study smell pepper drying kinetics in different temperature.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, n. 2, p. 09–14, 2015.

MENÃO F.T. **Principais Nutrientes de suplementos Alimentares Utilizados por idosos.** UniCesumar. 2020. Disponível em: <<http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/7563/1/TCC.pdf>>. Acesso em 16 de dezembro 2021.

MENDES, F. A. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais na produção de rações para peixes onívoros.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

MENESES, V. P.; SILVA, J. R. A.; NETO, J. F.; ROLIM, H. O. ARAÚJO, A. L. M.; LIMA, P. S. E. **Subprodutos de frutas tropicais desidratados por secagem convectiva.** Revista Verde -ISSN 1981-8203 - (Pombal -PB), v. 13, n.4, p.472-482, out-dez., 2018.

MGHAZLI, S.; OUHAMMOU, M.; HIDAR, N.; LAHNINE, L.; IDLIMAM, A.; MAHROUZ, M. **Drying characteristics and kinetics solar drying of Moroccan rosemary leaves.** Renewable Energy, v. 108, p. 303–310, 2017.

MONTEIRO, M. L.G.; MÁRSICO, E. T.; SOARES JUNIOR, M. S.; CALIARI, M.; CONTE-JUNIOR, C. A. **Physicochemical stability of bread fortified with tilapia-waste flour.** CyTA - Journal of Food, v. 17, n. 1, p. 36-43, 2019.

MOO-HUCHIN, V. M.; ESTRADA-MOTA, I.; ESTRADA-LEÓN, R.; CUEVAS-GLORY, L.; ORTIZ-VÁZQUEZ, E.; VARGAS, M. de L. V.; BETANCUR-ANCONA, D.; SAURIDUCH, E. **Determination of some physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity of tropical fruits from Yucatan.** Mexico. Food Chemistry, v. 152, p. 508- 515, 2014.

MORALES-SOTO, A., GARCÍA-SALAS, P., RODRÍGUEZ-PÉREZ, C., JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, C., CÁDIZ-GURREA, M. D. L., SEGURA-CARRETERO, A., FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. (2014). **Antioxidant capacity of 44 cultivars of fruits and vegetables grown in Andalusia (Spain).** FRIN, 58, 35–46.

MOSCON, E. S., MARTIN, S., Spehar, C. R., DEVILLA, I. A., RODOLFO JUNIOR, R. **Cinética de secagem de grãos de quinoa (*chenopodium quinoa w.*)**. Revista Engenharia na Agricultura, 25(4), 318-325, 2017.

MOSER, P.; TELIS, V. R. N.; GUTIÉRREZ, I. H. **Secagem por atomização do suco de uva: microencapsulação das antocianinas**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) São José do Rio Preto, 2016.

MOURÃO, F.; UMEO, S. H.; TAKEMURA, O. S.; LINDE, G. A.; COLAUTO, N. B. **Antioxidant activity of *Agaricus brasiliensis* Basidiocarps on different maturation phases**. Brazilian Journal of Microbiology, v.42, p.197-202, 2011.

NADI, F.; TZEMPELIKOS, D. **Vacuum drying of apples (cv. Golden delicious): drying characteristics, thermodynamic properties, and mass transfer parameters**. Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung, v. 54, n. 7, p. 1853–1866, 1 jul. 2018.

NAFFATI, A.; VLADIC J.; PAVLIC, B.; RADOSAVLJEVIC, R.; GAVARIC, A.; VIDOVIC, S. **Recycling of filter tea industry by-products: Application of subcriticalwater extraction for recovery of bioactive compounds from *A. uvaursi*herbal dust**. Journal of Supercritical Fluids, v, 121, p. 1–9, 2017.

NASCIMENTO, E. M. M.; RODRIGUES, F. F. G.; COSTA, W. D.; TEIXEIRA, R. N. P.; BOLIGON, A. A.; SOUSA, E. O.; RODRIGUES, F. F. G.; COUTINHO, H. D. M.; COSTA, J. G. M. **HPLC and in vitro evaluation of antioxidant properties of fruit from *Malpighia glabra* (Malpighiaceae) at different stages of maturation**. Food and Chemical Toxicology, v. 119, p. 457-463, 2018.

NASCIMENTO, S. P. **Desperdício de alimentos: um fator de insegurança alimentar e nutricional**. Segurança alimentar e nutricional, Campinas, v. 25, n. 1, p. 85 – 91, 2018.

NASSARI, F.; ORLANDO, P.; FRATIANNI, F.; COPPOLA, R. **Microencapsulation in food science and biotechnology**. Current Opinion in Biotechnology, 23,182–186, 2012.

NESTERENKO, A.; ALRIC, I.; SILVESTRE, F.; DURRIEU, V. **Vegetable proteins in microencapsulation: A review of recent interventions and their effectiveness**. Industrial Crops and Products, Amsterdam, v. 42, p. 469–479, mar. 2013.

NIH – Magnésio. 2021. **Dietary Supplement Fact Sheets**. Disponível em: <<https://ods.od.nih.gov/factsheets/Magnesium-Consumer/>>. Acesso em 26 de dezembro 2021.

NOGUEIRA, G. D. R.; SILVA, P. B.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. S. **Analysis of a hybrid packed bed dryer assisted by infrared radiation for processing acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) residue.** Food and Bioproducts Processing, 114, p. 235–244, 2019.

NICOLOSI, E.; FERLITO, F.; AMENTA, M.; RUSSO, T.; RAPISARDA, P. **Changes in the quality and antioxidant components of minimally processed table grapes during storage.** Scientia Horticulturae, v. 232, p. 175-183, 2018.

NORA, C. D.; MÜLLER, C. D. R.; BONA, G. S.; RIOS, A. O.; HERTZ, P. F.; JABLONSKI, A.; JONG, E. V.; FLÔRES, S. H. **Effect of processing on the stability of bioactive compounds from red guava (*Psidium cattleianum* Sabine) and guabiju (*Myrcianthes pungens*).** Journal of Food Composition and Analysis, v. 34, n.1, p. 18-25, maio, 2014.

OLIVA, M. P. **Desenvolvimento de dispositivo auxiliar para a determinação de densidade aparente de pós com garrafa de refrigerante.** 16º Congresso Nacional de Iniciação Científica – CONIC, SEMESP, 2016.

OLIVEIRA M. I. S.; TONON R. V.; NOGUEIRA R. I.; CABRAL L. M. C. **Estabilidade de polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores.** Brazilian Journal of Food Technology, Campinas, V. 16, n.4, p. 310-318, 2013.

OLIVEIRA P.R.; JESUS R.S.; BATISTA G.M.; LESSI E. **Avaliação sensorial, físico-química e microbiológica do pirarucu (*Arapaima gigas*, Schinz 1822) durante estocagem em gelo.** Brazilian Journal Food Technology. Mar;17(1):67-74. 2014.

OLIVEIRA, A. M. C. **Caracterização química, avaliação da atividade antioxidante in vitro e atividade antifúngica de pimentas do gênero *Capsicum* spp.** Dissertação (Mestrado em Qualidade em Alimentos) – Departamento de Nutrição - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011, 81f.

OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; VALENTE, D. S. M.; BOTELHO, F. M. **Desorption isotherms and thermodynamic properties of sweet corn cultivars (*Zea mays* L.).** International Journal of Food Science e Technology, v. 45, n. 3, p. 546–554, 1 mar. 2010.

OLIVEIRA, R. A. D.; OLIVEIRA, W. P. D.; PARK, K. J. **Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória.** Engenharia Agrícola, 2006.

OLSZEWSKI, S. M. **Influência do diâmetro do tubo e da solubilidade dos materiais particulados nas medidas de molhabilidade por ascensão capilar**. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

ONWUDE, D. I.; HASHIM, N.; JANIUS, R. B.; NAWI, N. M.; ABDAN, K. **Modeling the thin-layer drying of fruits and vegetables: A review**. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 15 (3), p. 599-618, 2016.

OROIAN, M.; ESCRICHE, I. **Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis**. *Food Research International*, v. 74, p. 10-36, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.018>

PADILHA, C. V. S.; MISKINIS, G. A.; SOUZA, M. E. A. O.; PEREIRA, Giuliano E.; OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; LIMA, MARCOS DOS SANTOS. **Rapid determination of flavonoids and phenolic acids in grape juices and wines by RP-HPLC/DAD: Method validation and characterization of commercial products of the new Brazilian varieties of grape**. *Food Chemistry*, v. 228, p. 106-115, 2017.

PAZ, M., GÚLLON, P., BARROSO, M. F., CARVALHO, A. P., DOMINGUES, V. F., GOMES, A. M., DELERUE-MATOS, C. (2015). **Brazilian fruit pulps as functional foods and additives : evaluation of bioactive compounds**. *Food Chemistry*, 172, 462–468.

PEREIRA, C. T. M., SILVA, C. R. P., LIMA, A., PEREIRA, D. M., COSTA, C. N., NETO, A. A. C. **Obtenção, caracterização físico-química e avaliação da capacidade antioxidante in vitro da farinha de resíduo de acerola (*Malpighia glabra* L.)**. *Acta Tecnológica*, v.8, n.2, p. 50-56. 2013.

PEREZ, L. G.; OLIVEIRA, F. M. N. DE; ANDRADE, J. S.; MOREIRA FILHO, M. **Cinética de secagem da polpa cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) pré desidratada por imersão impregnação**. *Revista Ciência Agronômica*, vol.44, n.1, p.102-106, 2013.

PINHEIRO, E.M.; NOBRE, C.P.; COSTA, T.V.; TAVARES, O.C.H.; ARAUJO, J.R.G. **Arbuscular mycorrhizal fungi in seedling formation of Barbados cherry (*Malpighia emarginata* D.C.)**. *Rev. Caatinga*. 32(2): 370-380, 2019.

POOROLAJAL, J.; ZERAATI, F.; SOLTANIAN, A. R.; SHEIKH, V.; HOOSHMAND, E.; MMALEKI, A. **Oral potassium supplementation for management of essential hypertension: A meta-analysis of randomized controlled trials**. *Plos One*, v. 12, n. 4, p. 1-16, 2017.

PRAKASH, A.; BASKARAN, R. **Acerola, an untapped functional superfruit: a review on latest frontiers**. Journal of Food Science and Technology, 55(9), p. 3373–3384, 2018.

PURANIK, V.; CHAUHAN, D. K.; MISHRA, V.; RAI, G. K. **Effect of drying techniques on the physicochemical and bioactive components of selected medicinal herbs**. Annals of Phytomedicine, v. 1, n. 2, p. 23–29, 2012.

RAJKUMAR, P.; KULANTHAISAMI, S.; RAGHAVAN, G.S.V.; GARIE'PY, Y.; ORSAT, V. **Drying Kinetics of Tomato Slices in Vacuum Assisted Solar and Open Sun Drying Methods**. Drying Technology, v. 25, p. 1349–1357, 2007.

RASHID, M. T.; MA, H.; JATOI, M. A.; SAFDAR, B.; EL-MESERY, H. S.; SARPONG, F.; ALI, Z.; WALI, A. **Multi-frequency ultrasound and sequential infrared drying on drying kinetics, thermodynamic properties, and quality assessment of sweet potatoes**. Journal of Food Process Engineering, v. 42, n. 5, 14 ago. 2019.

RAYO MENDEZ, L. M. **Processo de aglomeração de farinha de banana verde com alto conteúdo de amido resistente em leite fluidizado pulsado**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2013.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGEMNTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. **Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay**. Free Radical Biology Medicine, v.26, p.1234-1237, 1999.

REBOUÇAS, T. N., VALVERDE, R. M., TEIXEIRA, H. L. **Bromatologia da pimenta malagueta in natura e processada em conserva**. Horticultura Brasileira, 31(1), 163-165. 2013.

REGIER, M.; MAYER-MIEBACH, E.; BEHSNILIAN, D.; NEFF, E.; SCHUCHMANN, H. **Influences of drying and storage of lycopene-rich carrots on the carotenoid content**. Drying Technology, v. 23, n. 4, p. 989-998, 2005.

RENARD, C. M. G. C. **Extraction of bioactives from fruit and vegetables: State of the art and perspectives**. LWT – Food Science and Technology, v. 93, p. 390-395, 2018.

RESENDE, O.; FERREIRA, L. U.; ALMEIDA, D. P. **Modelagem matemática para descrição da cinética de secagem do feijão adzuki (Vignaangularis)**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 171-178, 2010.

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.

RIBEIRO, T. P., LIMA, M. A. C., ALVES, R. E. **Maturação e qualidade de uvas para suco em condições tropicais, nos primeiros ciclos de produção.** Pesquisa Agropecuária brasileira, Brasília, 47(8), 1057-1065. 2012.

RIBEIRO, V. H. A.; ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; NASCIMENTO, A. P. S. **Mathematical modeling of apple drying kinetics.** Revista Higiene Alimentar, v.33, n.288/289, p.3474-3478, 2019.

ROCHA, D. S e REED, E. **Pigmentos Naturais em Alimentos e sua Importância para a Saúde.** Estudos Vida e Saúde, 41(1), 76-85. 2014.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos.** 3. ed. Campinas: Casa do Pão Editora, 2014.

RODRIGUES, H. G. A.; REIS, P. M. C.; VIANA, A. C. **Produção de farinha do resíduo industrial da acerola por secagem solar e artificial.** Revista Semiárido De Visu, Petrolina, v. 7, n. 1, p. 25-35, 2019.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **Changes in carotenoids during processing and storage of foods.** Archivos Latinoamericanos de Nutricion, v.49, n.3, p.38s-47s, 1999.

RUFINO, M. D. S. M., ALVES, R. E., BRITO, E. S. DE., MORAIS, S. M. DE., SAMPAIO, C. D. G., JIMÉNEZE, J. P., CALIXTO, F. D. S. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP).** Comunicado Técnico 125, 1-4, 2006.

SABARAEZ, H. **Computational Modeling of Drying Processes of Food Materials.** CSIRO Agriculture and Food, p. 1-12, 2017.

SANCHO, S. D. O.; SILVA, A. R. A.; DANTAS, A.; MAGALHÃES, T. C.; LOPES, G. S.; RODRIGUES, S. COSTA, J. M. C.; FERNANDES, F. A. N. SILVA, M. G. **Characterization of the industrial residues of seven fruits and prospection of their potential application as food supplements.** Journal of Chemistry, v. 2015, p. 1-8, 2015.

SANTOS, F. B. F. **Obtenção de Cebola Seca Utilizando Pré-tratamento por Secagem Osmótica em Misturas de Solutos.** UFSC: Florianópolis, 1998.

SANTOS, N., LEITE, D., CÂMARA, G., BARROS, S., SANTOS, F., SOARES, T., LIMA, A., SOARES, T., ALBUQUERQUE, A., OLIVEIRA, M., VASCONCELOS, U., QUEIROZ, A. **Modelagem matemática da cinética de secagem de cascas da toranja** (*Citrus paradisi* Macf.). *Research, Society and Development*, 9(1), e61911609. 2020a.

SANTOS, N., BARROS, S., ALMEIDA, R., MONTEIRO, S., NASCIMENTO, A., SILVA, V., GOMES, J., LUIZ, M., VIEIRA, D. **Avaliação da Degradação dos Compostos Bioativos do Fruto *Physalis* (*P. peruviana*) Durante o Processo de Secagem**. *Research, Society and Development*, 9(1), e102911678. 2020b.

SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; SILVA, G. M.; MONTEIRO, S. S.; ANDRÉ, A. M. M. C. N. **Effect of ultrasound pre-treatment on the kinetics and thermodynamic properties of guava slices drying process**. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 66, p. 102507, dez. 2020c.

SANTOS, T. B.; ARAUJO, F. P., NETO, A. F.; FREITAS, S. T.; ARAÚJO, J. S.; VILAR, S. B. O.; ARAÚJO, A. J. B.; LIMA, M. S. **Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity of the Pulp of Two Brazilian Passion Fruit Species: *Passiflora Cincinnata* Mast. And *Passiflora Edulis* Sims**. *International Journal of Fruit Science*, 21:1, 255-269. 2021. DOI: 10.1080/15538362.2021.1872050.

SARPONG, F.; JIANG, H.; OTENG-DARKO, P.; ZHOU, C.; AMENORFE, L. P.; MUSTAPHA, A. T.; RASHID, M. T. **Mitigating effect of relative humidity (RH) on 2-furoylmethyl-Amino acid formation**. *LWT-Food Science and Technology*, v. 101, p. 551–558, 1 mar. 2019.

SCORSATTO, M.; PIMENTEL, A. C.; SILVA, A. J. R. da; SABALLY, K.; ROSA, G; OLIVEIRA, G. M. M. de **Avaliação de compostos bioativos, composição físico-química e atividade antioxidante in vitro da farinha da berinjela**. *International Journal of Cardiovascular Sciences*, v.30, p.235-242, 2017.

SEAB/DERAL - Secretaria da Agricultura e do Abastecimento/ Departamento de Economia Rural do Estado do Paraná. **Fruticultura: Análise da Conjuntura (Prognóstico 2020)**. Disponível em: <https://http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-01/fruticultura_2020.pdf>. Acesso em 11/12/2021.

SEPTEMBRE-MALATERRE, A.; REMIZE, F.; POUCHERET, P. **Fruits and vegetables, as a source of nutritional compounds and phytochemicals: Changes in bioactive compounds during lactic fermentation.** Food Research International, v. 104, p. 86-99, 2017.

SERAGLIO, S. K. T.; SCHULZ, M.; NEHRING, P.; DELLA BETTA, F.; VALESE, A. C.; DAGUER, H.; GONZAGA, L. V.; FETT, R.; COSTA, A. C. O. **Nutritional and bioactive potential of Myrtaceae fruits during ripening.** Food Chemistry, [S. l.], v. 239, p. 649–656, 2018a.

SERAGLIO, S. K. T., SCHULZ, M., NEHRING, P., BETTA, F. D., VALESE, A. C., DAGUER, H., GONZAGA, L. V, FETT, R.; COSTA, A. C. O. **Determinação de compostos fenólicos por LC-MS/MS e capacidade antioxidante de acerola em três estádios de maturação comestíveis.** Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos, 4(1), 96-110. 2018b.

SHAHIDI, F.; HAN, X. Q. **Encapsulation of food ingredients.** Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 33, n. 6, p. 501-547, 1993.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. **Measurement of antioxidant activity.** Journal of functional foods, v. 18, p. 757-781, 2015.

SILVA, F. A. S; AZEVEDO, C. A. V. **The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data.** African Journal of Agricultural Research, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

SILVA, L. M. M., SOUSA, F. C., SOUSA, E. P., MATA, M. E. R. M. C., DUARTE, M. E. M. **Prediction models of kinetic drying of pigeon pea grains.** Brazilian Journal of Food Technology, v. 17, p. 310-318, 2014.

SILVA, M. B.; RAMOS, A. M. **Composição química, textura e aceitação sensorial de doces em massa elaborados com polpa de banana e banana integral.** Revista Ceres, v.56, p. 551554, 2009.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. **Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity in plant products.** Semina: Ciência Agrárias, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SILVA, M. S. **Raleio químico de goiaba cv ‘paluma’: produção, qualidade de frutos e análise econômica** (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu – SP. 2019.

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.

SILVA, S. N., MATOS, J. D. P., SILVA, P. B., COSTA, Z. R. T., GOMES, J. P., SILVA, L. P. F. R., VIEIRA, A. F., MELO, B. A., PRIMO, S. M. B., ALEXANDRE, H. V. (2018). **Prediction of Mathematical Models of the Drying Kinetics and Physicochemical Quality of the Chili Pepper.** Journal of Agricultural Science, 10(12), 377- 384.

SILVA, P. B. **Secagem híbrida do resíduo de acerola em secador roto-aerado com infravermelho e extração de compostos bioativos.** 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.793>.

SILVA, F. P.; SIQUEIRA, V. C.; MARTINS, E. A. S; MIRANDA, F. M. N; MELO, R. M. **Thermodynamic properties and drying kinetics of *Bauhinia forficata* Link leaves.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 6167, 2017.

SINGH, R.; KUMARI, N. **Comparative determination of phytochemicals and antioxidant activity from leaf and fruit of *Sapindus mukorossi* Gaertn.** – A valuable medicinal tree. Industrial Crops and Products, v. 73, p. 1-8, 2015.

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

SOARES, D. J.; DIOGENES, A. M. G.; MOURA NETO, L. G.; COSTA, Z. R. T.; ALVES, V. R.; SANTOS, M. G.; MORAIS, B. A. **Utilização de Farinha de Resíduos de Goiaba na Elaboração de Pães.** Revista CIENTEC, v.9, n.1, p.97–103, 2017.

SOHAIMY, S. A. E.; MOHAMED, S. E.; SHEHATA, M. G.; MEHANY, T.; ZAITOUN, M. A. **Composition analysis and functional characteristics of quinoa flour.** Annual Research and Review in Biology, Hooghly, v. 22, n. 1, p.1-11, 2018.

SOTO, M. L.; FALQUÉ, E.; DOMÍNGUEZ, H. **Relevance of natural phenolics from grape and derivative products in the formulation of cosmetics.** Cosmetics, 2, 259-276, 2015.

SOUSA, E. P.; LEMOS, D. M.; FIGUÊIREDO, R. M. F.; GOMES, J. P.; QUEIROZ, A. J. M. **Influence of drying temperature and pulp layer thickness on the physical and**

physicochemical quality of pequi powder. Rev. Caatinga, Mossoró, v. 34, n. 4, p. 945 –956, out. –dez., 2021.

SOUSA, G. L. S. **Obtenção e caracterização da farinha da batata-doce.** v. 13, n. 4, p. 215-225, 2015.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; LIMA, A. de. **Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de resíduos de polpas de frutas tropicais.** Brazilian Journal Food Technology, Campinas, v.14, n.3, 2011.

SOUZA, F. P; MORAIS, J. L; SILVA, T. M. C. F. **Desenvolvimento e caracterização de farinha obtida a partir da casca de jenipapo.** Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Gramado, 2016.

SOUZA, J. P.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; LUCENA, M. N. G.; RUFINO, M. S. M. **Estabilidade de molho de pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm) armazenado à temperatura ambiente.** Revista Brasileira de Fruticultura, v. 36, n. 2, p. 425-432, 2014.

SOUZA, R. L. A.; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H.; AMORIM, B. C. **Caracterização da poligalacturonase produzida por fermentação semi-sólida utilizando-se resíduo do maracujá como substrato.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.9, p.987-992, 2010.

SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. S. **Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits.** Food Chemistry, v. 134, p. 381-386, 2012.

SOUZA, Y. C. **Revisão de literatura: estudo da composição química de Aminoácidos e minerais nas folhas de ora-pro-nóbis (*Pereskia Aculeata* Miller).** Trabalho de Conclusão de Curso, PUC – Goiânia, 2021.

STAFUSSA, A. P.; MACIEL, G. M.; ANTHERO, A. G. S.; SILVA, M. V.; ZIELINSKI, A. A. F.; HAMINIUK, C. W. I. **Biosorption of anthocyanins from grape pomace extracts by waste yeast: kinetic and isotherm studies.** Journal of Food Engineering, v. 169, p. 53-60, 2016.

STEFANELLO, F. S.; CAVALHEIRO, C. P.; LUDTKE, F. L.; SILVA, M. S.; MILANI, L. I. G.; KUBOTA, E. H. **Efeito da extração de compostos fenólicos sobre a atividade antioxidante e antibacteriana in vitro de cogumelo-do-sol.** Arquivos do Instituto Biológico, v.83, p.1-7, 2014.

SUN, M., ZHANG, D., LIU, L., WANG, Z. **How to predict the sugariness and hardness of melons: A near-infrared hyperspectral imaging method.** Food Chemistry, 218, 413–421, 2017.

TABART, J., KEVERS, C., PINCEMAIL, J., DEFRAIGNE, J.-O., DOMMES, J. **Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests.** Food Chemistry, 113, 1226–1233, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.013>

TAMARA, R. M.; CORRÊA, A. D.; CARVALHO, G. A.; SOUSA, R. V. **Extrato de bagaço de acerola: inibição de enzimas digestivas, ação antioxidante e inseticida.** Tese de Doutorado, Lavras: UFLA, 2016.

TATAR, B. C., SUMNU, G., OZTOP, M. **Microcapsule characterization of phenolic powder obtained from strawberry pomace.** Journal of Food Processing and Preservation, e13892(January), 1–8. 2019. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13892>

TÉLLEZ-MORALES, J. A.; HERNÁNDEZ-SANTO, B.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J. **Effect of ultrasound on the techno-functional properties of food components/ingredients: A review.** Ultrasonics Sonochemistry, v. 61, p. 104787, 2020.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. **Aplicação da Secagem por Atomização para a Obtenção de produtos funcionais com Alto Valor Agregado a partir do Açaí.** Brasília/DF: Inc. Soc. v. 6 n. 2, p.70- 76, jan./jun. 2013.

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

TOUIL, A.; CHEMKHI, S.; ZAGROUBA, F. **Moisture Diffusivity and Shrinkage of Fruit and Cladode of Opuntia ficus-indica during Infrared Drying.** Journal of Food Process, v. 2014, p. 1-9.

TRAN, T. N. T. et al. **Modelling drying kinetic of oyster mushroom dehydration –The optimization of drying conditions for dehydration of Pleurotus species.** Materials Science for Energy Technologies, v. 3, p. 840–845, 2020.

VALENTE, A.; ALBUQUERQUE, T. G.; SANCHES-SILVA, A.; COSTA, H. S. **Conteúdo de ácido ascórbico em frutas exóticas: Uma contribuição para produzir dados de**

qualidade para bancos de dados de composição de alimentos. Food Research International, v. 44, n. 7, pág. 2237-2243, 2011.

VASCONCELOS, M. A. S.; MELO FILHO, A. B. **Conservação de Alimentos.** Recife: Edufrpe, pag. 30, 2010.

VIEIRA, K. H.; LIMA, F. R.; MELO, R. de.; PEREIRA, K. C.; OLIVEIRA, C. D.; MENDES, C. F.; PINTO, N. A. V. D.; SOUZA, P. M. de. **Characterization of pumpkin seed flour obtained by drying in microwaves and oven.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.3, p.22267-22283, 2021.

VILAR, S. B. O.; SILVA, J. N.; OLIVEIRA, I. P.; ALBUQUERQUE, N. M. J.; COELHO, A. B. **Isoterma de Sorção de uva cv. arra 15® desidratada e armazenada em diferentes embalagens.** Congresso internacional da Agroindústria, 2020.

XU, M.; SHEN, C.; ZHENG, H.; XU, Y.; XUE, C.; ZHU, B. **Metabolomic analysis of acerola cherry (*Malpighia emarginata*) fruit during ripening development via UPLC-Q-TOF and contribution to the antioxidant activity.** Food Research International, [S. l.], v. 130, n. December 2019, p. 108915, 2020.

YINGNGAM. B.; SUPAKA, N.; RUNGSEEVIJITPRAPA, W. **Optimization of process parameters for phenolics extraction of *Cratoxylum formosum* ssp. *formosum* leaves by response surface methodology.** Journal of Food Science and Technology, Mysore, India, 52(1), 129-140, 2015.

YOUSUF, B.; GUL, K.; WANI, A. A.; & SINGH, P. **Health benefits of anthocyanins and their encapsulation for potential use in food systems: a review.** Critical Reviews in Food Science and Nutrition, v. 56, n. 13, p. 2223 – 2230, 2015.

ZHAO G.; ZHANG R.; LIU L.; DENG Y.; WEI Z.; ZHANG Y.; MA Y.; ZHANG M. **Different thermal drying methods affect the Phenolic profiles, their bioaccessibility and antioxidant activity in *Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk berries.** LWT Food Science Technology 79:260–266, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.039>

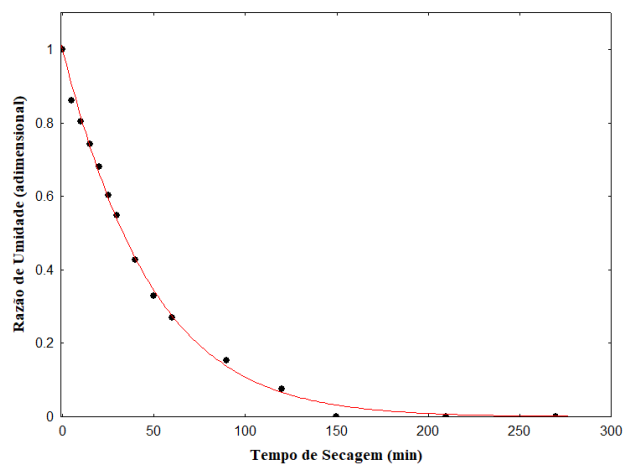
ZHU, F. **Encapsulation and delivery of food ingredients using starch based systems.** Food Chemistry, v. 229, p. 542-552, 2017.

ZOU, Z; XI, W.; HU, Y.; NIE, C.; ZHOU, Z. **Antioxidant activity of Citrus fruits.** Food Chemistry, v. 196, p. 885–896, 2016.

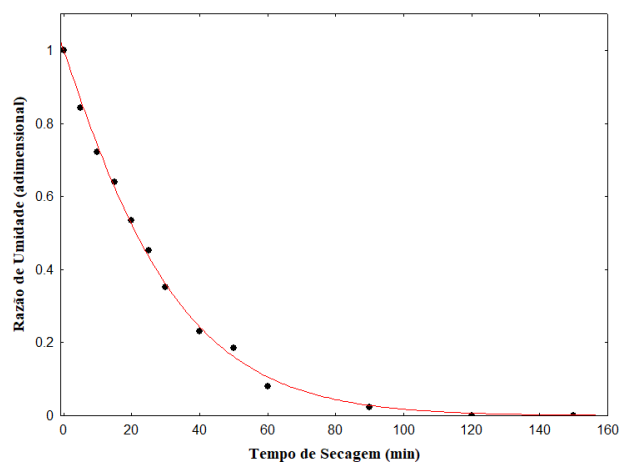
APÊNDICE A

(Gráficos dos modelos de Aproximação da difusão, Henderson e Pabis, Lewis, Logarítmico, Midili, ajustados aos dados experimentais da secagem do resíduo de acerola verde)

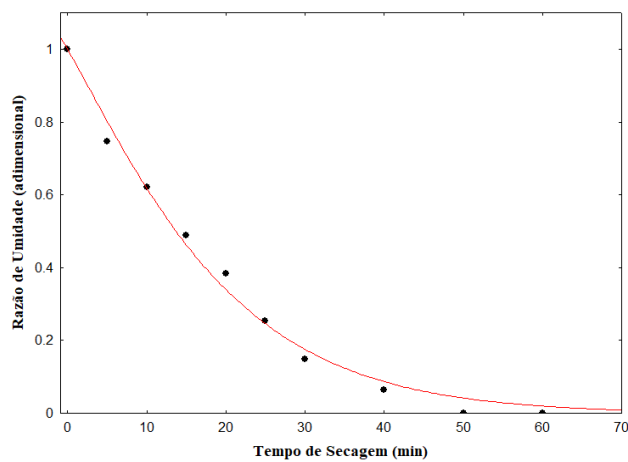
Apêndice A.1. Cinética de secagem do resíduo de acerola verde determinada através do modelo de Aproximação da Difusão nas temperaturas de (a) 50, (b) 60, (c) 70 °C.



(a)



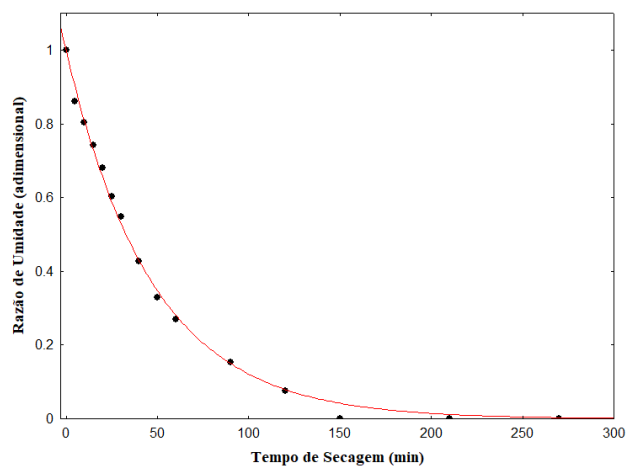
(b)



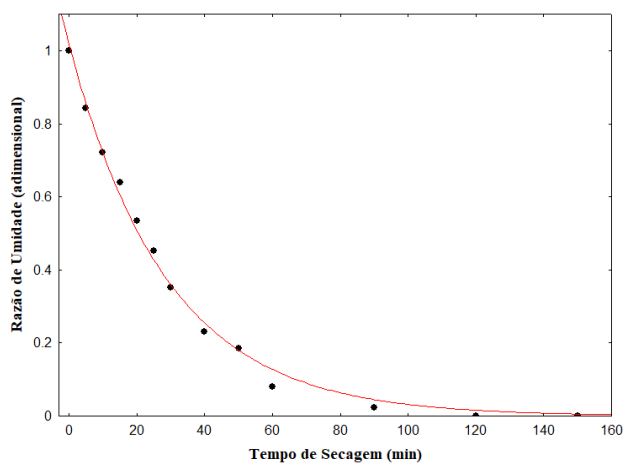
(c)

Fonte: Autor (2022).

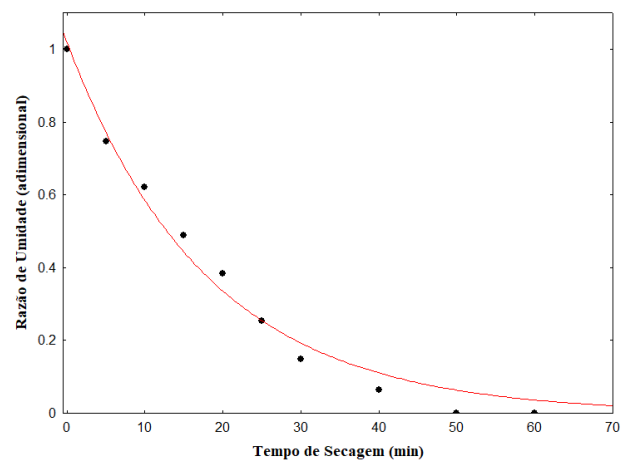
Apêndice A.2. Cinética de secagem do resíduo de acerola verde determinada através do modelo de Henderson & Pabis nas temperaturas de (a) 50, (b) 60, (c) 70 °C.



(a)



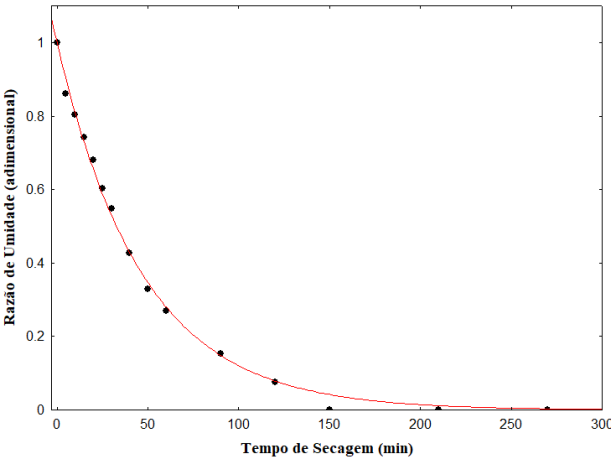
(b)



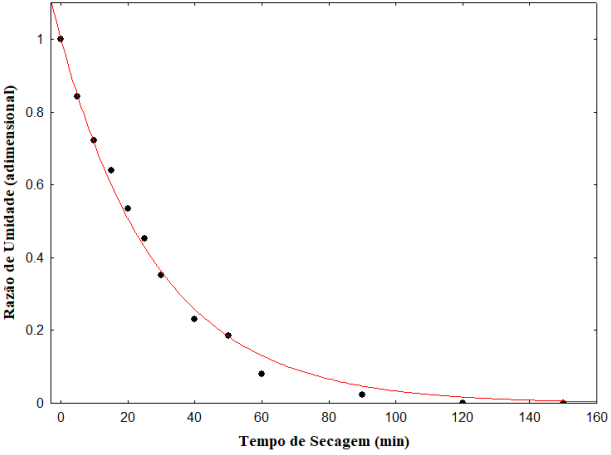
(c)

Fonte: Autor (2022).

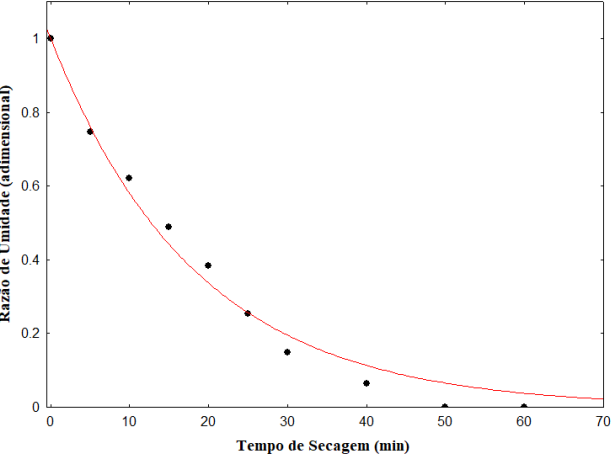
Apêndice A.3. Cinética de secagem do resíduo de acerola verde determinada através do modelo de Lewis nas temperaturas de (a) 50, (b) 60, (c) 70 °C.



(a)



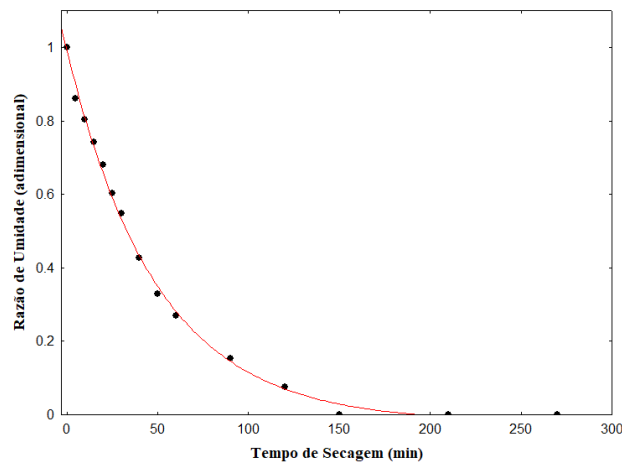
(b)



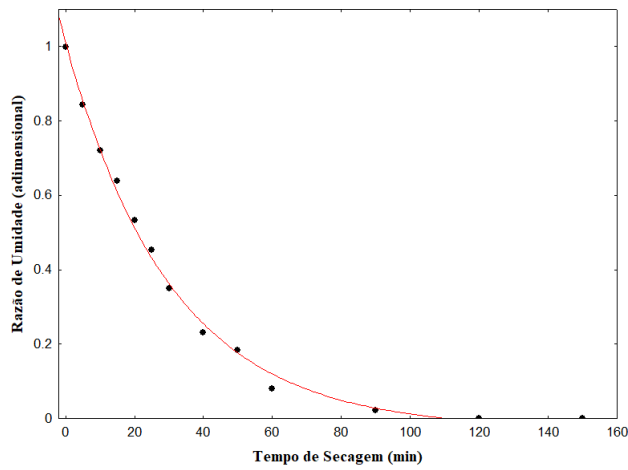
(c)

Fonte: Autor (2022).

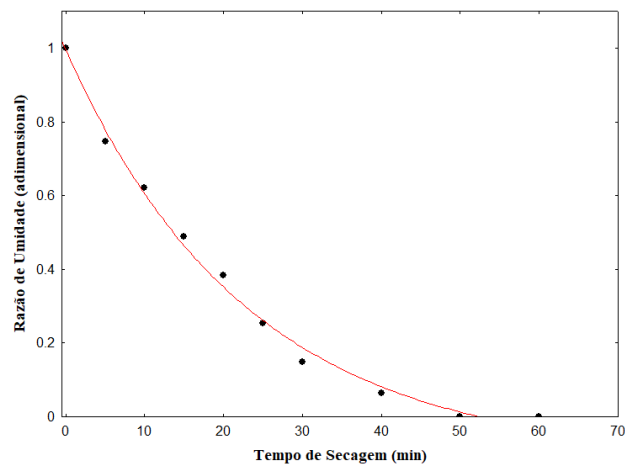
Apêndice A.4. Cinética de secagem do resíduo de acerola verde determinada através do modelo de Logarítmico nas temperaturas de (a) 50, (b) 60, (c) 70 °C.



(a)



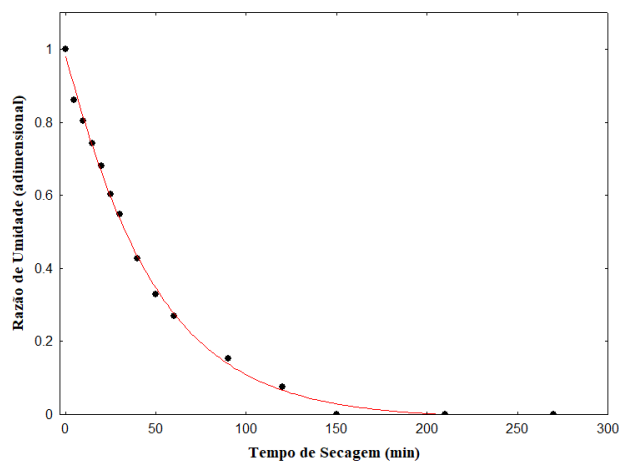
(b)



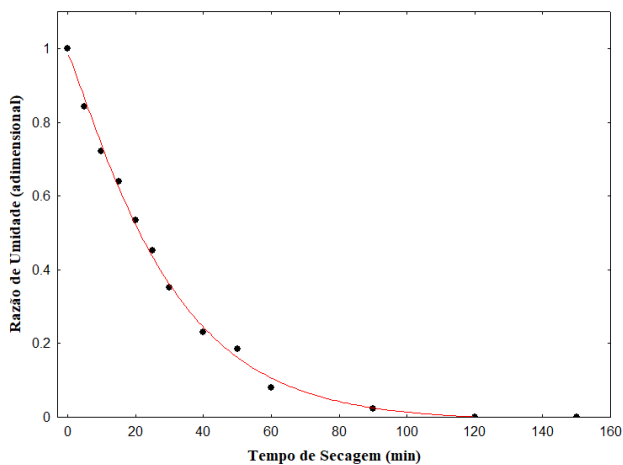
(c)

Fonte: Autor (2022).

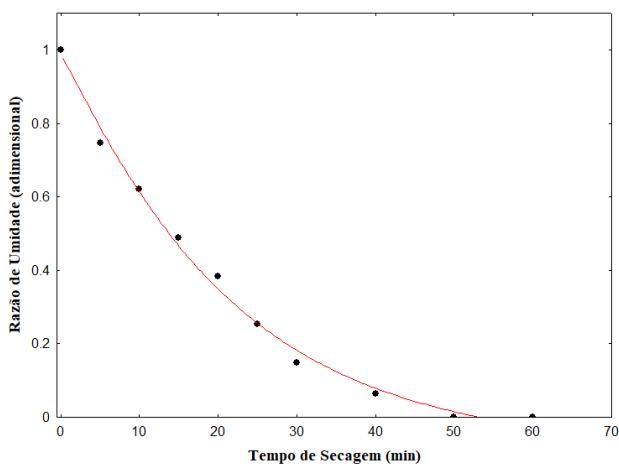
Apêndice A.5. Cinética de secagem do resíduo de acerola verde determinada através do modelo de Midili nas temperaturas de (a) 50, (b) 60, (c) 70 °C.



(a)



(b)



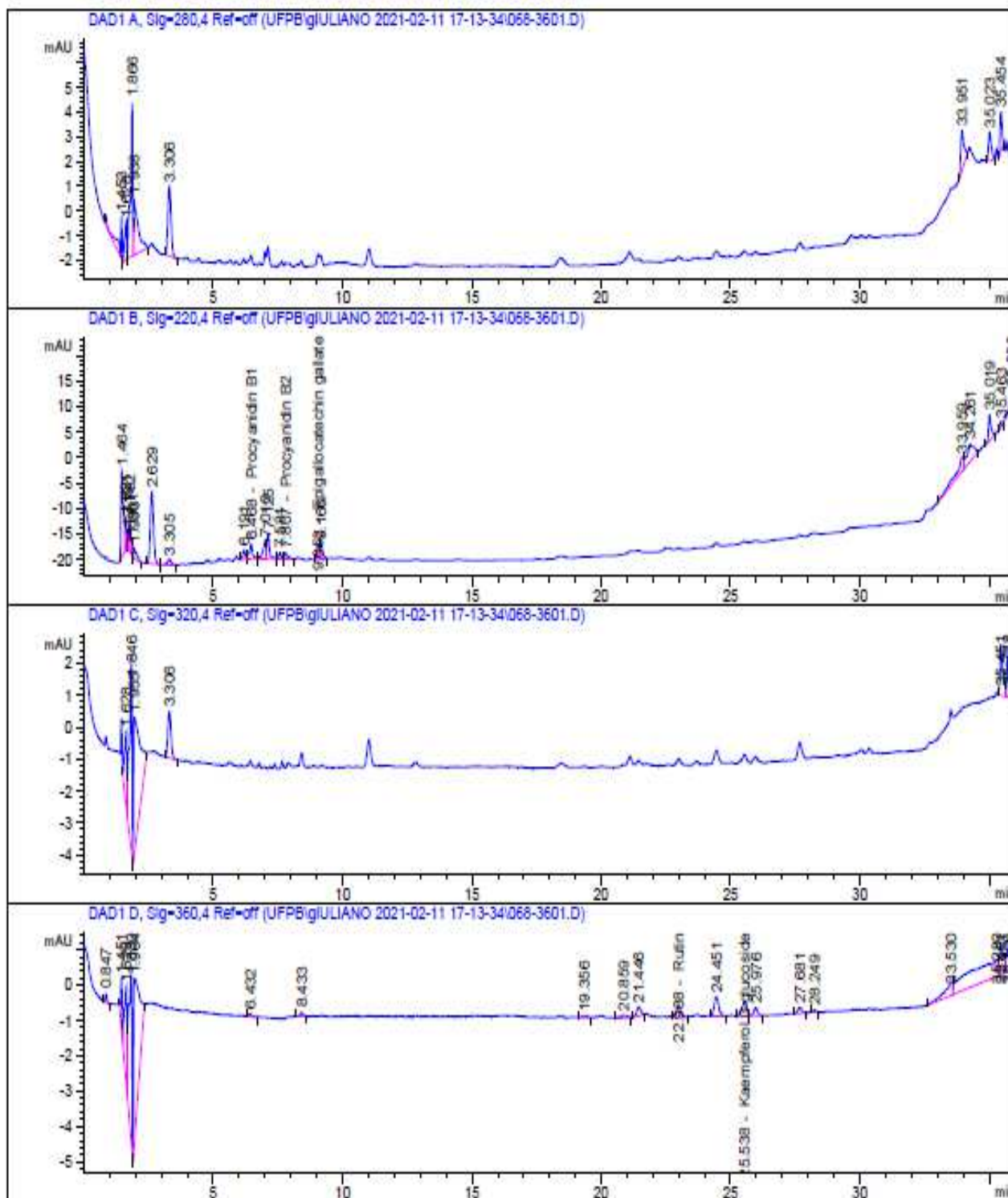
(c)

Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE B

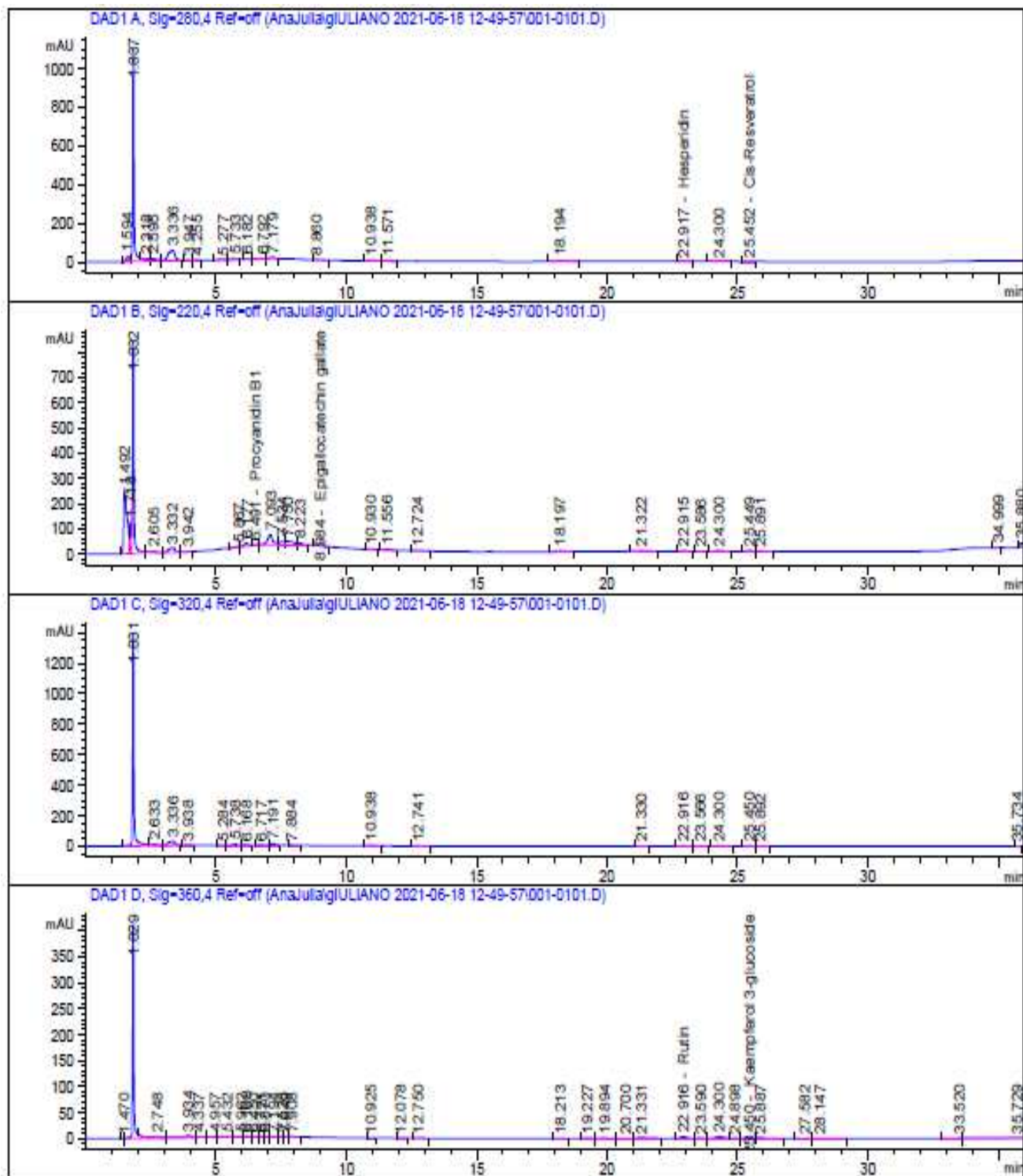
Cromatograma do perfil de fenólicos do resíduo de acerola *in natura*, pó obtido na secagem convectiva (50 °C), extrato da extração assistida por ultrassom e microencapsulado por *spray dryer*)

Apêndice B.1. Cromatograma do perfil de fenólicos do resíduo de acerola *in natura*.



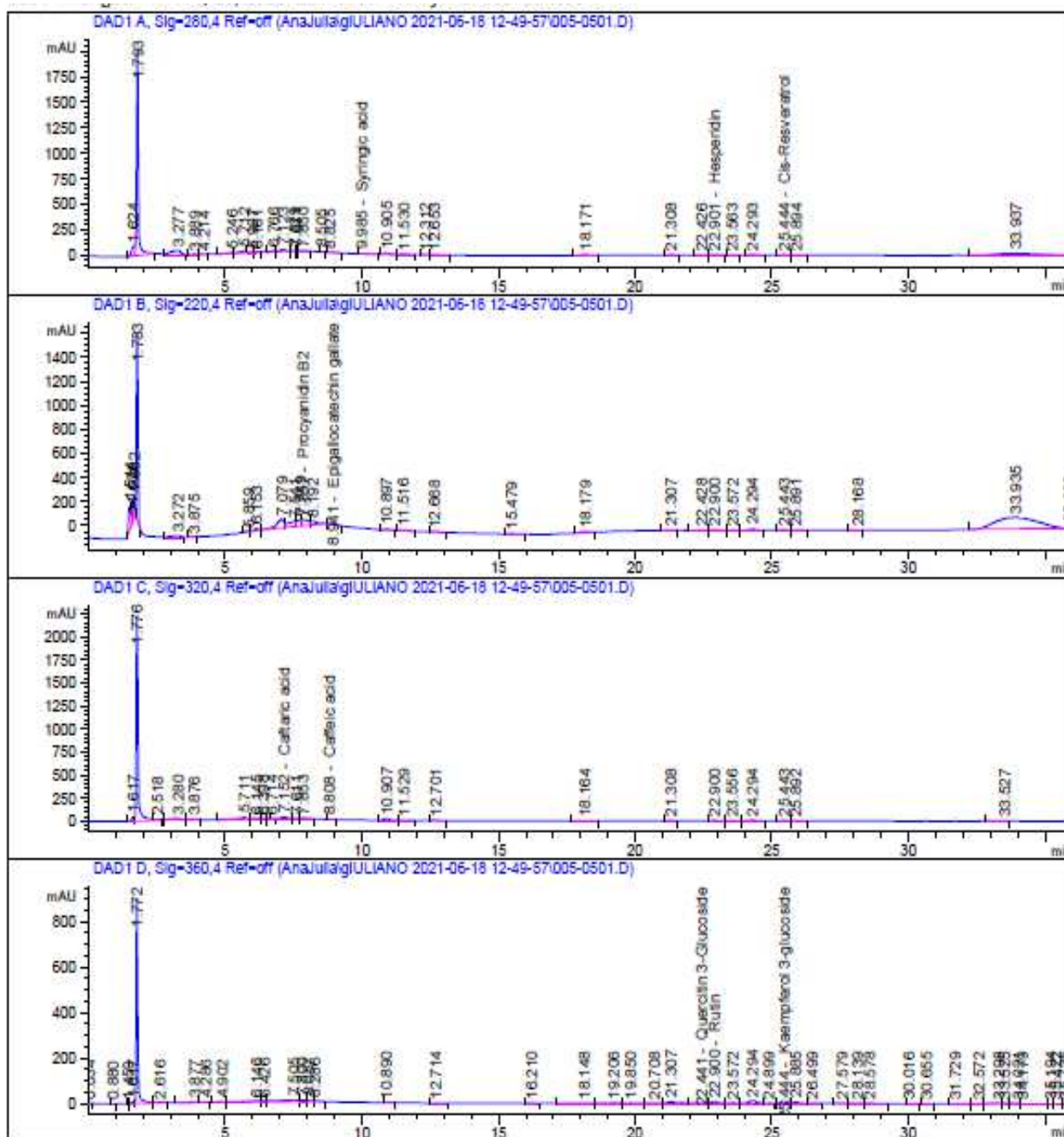
Fonte: Autor (2022).

Apêndice B.2. Cromatograma do perfil de fenólicos do pó do resíduo de acerola verde.



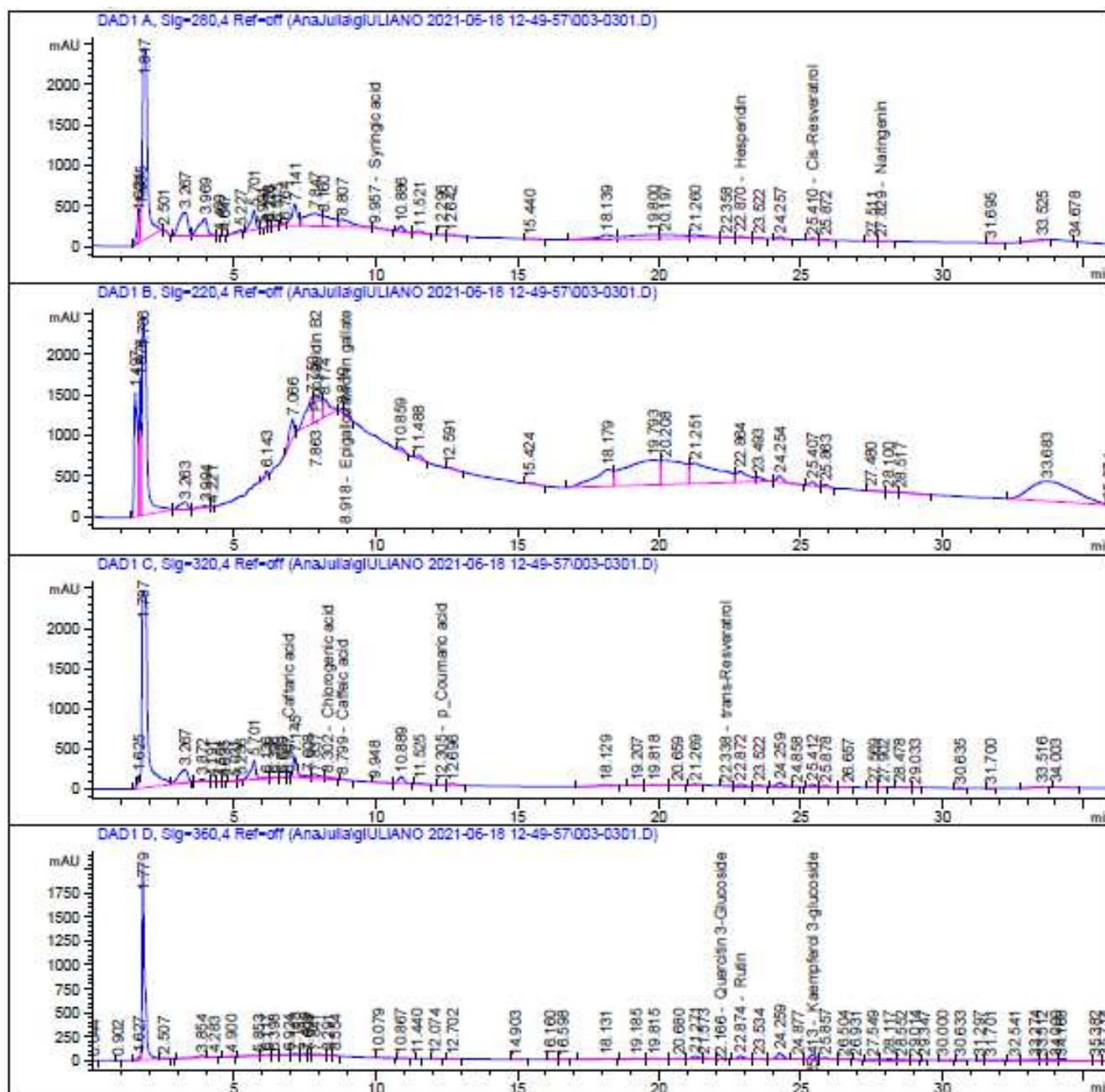
Fonte: Autor (2022).

Apêndice B.3. Cromatograma do perfil de fenólicos do extrato do pó do resíduo de acerola verde obtido pela extração assistida por ultrassom.



Fonte: Autor (2022).

Apêndice B.4. Cromatograma do perfil de fenólicos do extrato microencapsulado do pó do resíduo de acerola verde obtido pelo *Spray Dryer*.



Fonte: Autor (2022).