



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS



**EFICÁCIA DA MICROENPSULAÇÃO DE SUCO MISTO DE ACEROLA
(*Malpighia emarginata* DC) E CIRIGUELA (*Spondias purpurea* L) EM DIFERENTES
MATERIAIS DE PAREDE.**

EDUARDO DO NASCIMENTO FILHO

Recife

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

EDUARDO DO NASCIMENTO FILHO

**EFICÁCIA DA MICROENPSULAÇÃO DE SUCO MISTO DE ACEROLA
(*Malpighia emarginata* DC) E CIRIGUELA (*Spondias purpurea* L) EM DIFERENTES
MATERIAIS DE PAREDE.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do Grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

ORIENTADORA: Dra. Maria Inês Sucupira Maciel

CO-ORIENTADORA: Dra. Daniele Silva Ribeiro

Recife

2020

II

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- N244e do Nascimento Filho, Eduardo
EFICÁCIA DA MICROENPSULAÇÃO DE SUCO MISTO DE ACEROLA (*Malpighia emarginata* DC) E CIRIGUELA (*Spondias purpurea* L) EM DIFERENTES MATERIAIS DE PAREDE. / Eduardo do Nascimento Filho. - 2020.
74 f. : il.
- Orientadora: Dra. Maria Ines Sucupira Maciel.
Coorientadora: Dra. Daniele Silva Ribeiro.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Recife, 2021.
1. Spray dryer. 2. Compostos Bioativos. 3. Estabilidade. 4. Goma Xantana. I. Maciel, Maria Ines Sucupira, orient. II. Ribeiro, Daniele Silva, coorient. III. Título
-

CDD 664

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO CONSUMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

**EFICÁCIA DA MICROENPSULAÇÃO DE SUCO MISTO DE ACEROLA
(*Malpighia emarginata* DC) E CIRIGUELA (*Spondias purpurea* L) EM DIFERENTES
MATERIAIS DE PAREDE.**

EDUARDO DO NASCIMENTO FILHO

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos e aprovada em __/__/__ pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento em sua forma final.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Raimundo Ferreira Grosso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a. Dra. Andrelina Maria Pinheiro Santos – Universidade Federal de Pernambuco

Profa Dra. Maria Beatriz de Abreu Glória - Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Gisonita, que tanto me ajudou, acreditou e investiu em mim para que esse momento fosse concretizado.

Aos meus irmãos Leonardo, Maria Ester e Maria Eduarda, pelo companheirismo, carinho e amor durante esses anos todos.

A minha orientadora Maria Inês, a pessoa que mais contribuiu para a execução desse trabalho desdobrando-se de todas as maneiras possíveis para que este fosse executado da melhor maneira possível. Sem ela esse trabalho não teria chegado ao fim.

O meu bom amigo Luís, por sempre se mostrar um amigo confiável e me acolher em sua casa durante o período de execução deste trabalho.

Aos meus grandes amigos e irmãos de fé André e Alysson, pela amizade e alegria que me proporcionaram.

Aos meus amigos Anderson e João Henrique, pela sinceridade, irmandade e inúmeros conselhos sempre visando o meu crescimento acadêmico

À todos os professores do mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, pelo conhecimento transmitido.

À Universidade Federal de Pernambuco – UFRPE, por toda a estrutura oferecida para a conclusão do trabalho.

“A ciência mostra a realidade independente do que nós achamos ou gostaríamos, porque com ela podemos fazer fazer-se luz e tornar o invisível visível acreditando nele ou não.”

Átila Iamarino

RESUMO

Com a crescente valorização da população pela saúde e a boa alimentação, produtos que podem afetar positivamente a saúde do indivíduo ganham cada vez mais espaço no mercado. Visando a crescente busca por produtos com propriedades funcionais, novos alimentos ricos em compostos bioativos veem sendo elaborados. Sendo assim, surge um projeto com o objetivo avaliar a combinação de goma xantana, maltodextrina e goma arábica na preservação de ácido ascórbico, dos compostos fenólicos e dos carotenoides totais presentes no suco misto de acerola com ciriguela (60:40; respectivamente, com relação a massa - g/g) durante o processo de microencapsulação por *spray dryer* e avaliar a estabilidade desses compostos nas partículas microencapsuladas, sob diferentes condições de temperatura, durante o período de 30 dias. Elaborou-se cinco misturas de materiais de parede utilizando a goma xantana, maltodextrina e goma arábica em diferentes proporções: MX3: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente – g/g); MX1: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente – g/g); AX3: mistura de goma arábica e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente – g/g); AX1: mistura de goma arábica e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente – g/g); MAX e mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana (49,9:49,9:0,2 respectivamente – g/g). Todas as microcápsulas produzidas pelas diferentes misturas apresentaram bom percentual de retenção de ácido ascórbico, sendo a mistura MAX a mais eficiente. As microcápsulas produzidas pelas misturas AX3 e MX3 apresentaram melhor retenção de carotenoides totais, enquanto que as microcápsulas produzidas pelas misturas AX1 e MX1 apresentaram melhor retenção de compostos fenólicos totais. As microcápsulas produzidas com as misturas MX1 e MAX apresentaram melhor atividade antioxidante nos testes DPPH• e FRAP. Devido ao custo-benefício as microcápsulas produzidas com as misturas MX1 foram submetidas ao teste de estabilidade. Foi observado que para um período de 30 dias de armazenamento o ácido ascórbico, os compostos fenólicos e os carotenoides totais, como também a atividade antioxidante foram melhor preservados sob temperatura de 5 °C, quando comparado com as amostras armazenadas à 30 °C. As microcápsulas elaboradas pela mistura MX1 são economicamente viáveis uma vez que utilizam majoritariamente um material de parede de baixo custo e fácil obtenção, além de preservar os compostos bioativos em estudo por um mês facilitando sua possível comercialização.

Palavras – Chaves: *Spray dryer*; Compostos bioativos; Estabilidade; Atividade antioxidante

ABSTRACT

With the increasing appreciation of the population for health and a good diet, products that can positively affect the health of the individual are gaining more and more space in the market. Aiming at the growing search for products with adequate properties, new foods rich in bioactive compounds are being elaborated. Therefore, a project arises with the objective of evaluating a combination of xanthan gum, maltodextrin and arabic gum in the preservation of ascorbic acid, phenolic compounds and total carotenoids present in the mixed juice of acerola with ciriguela (60:40; respectively, with relation to mass - g / g) during the spray dryer microencapsulation process and to evaluate the stability of these compounds in the microencapsulated particles, under different temperature conditions, during the period of 30 days. Five mixtures of wall materials were made using xanthan gum, maltodextrin and gum arabic in different proportions: MX3: mixture of maltodextrin and xanthan gum (99.7: 0.3 respectively - g / g); MX1: mixture of maltodextrin and xanthan gum (99.9: 0.1 respectively - g / g); AX3: mixture of gum arabic and xanthan gum (99.7: 0.3 respectively - g / g); AX1: mixture of gum arabic and xanthan gum (99.9: 0.1 respectively - g / g); MAX and mixture of maltodextrin, gum arabic and xanthan gum (49.9: 49.9: 0.2 respectively - g / g). All microcapsules produced by the different filtered mixtures have a good percentage of ascorbic acid retention, with the MAX mixture being the most efficient. Microcapsules produced by mixtures AX3 and MX3 better retention of total carotenoids, while microcapsules produced by mixtures AX1 and MX1 better retention of total phenolic compounds. The microcapsules produced with the MX1 and MAX mixes have the best antioxidant activity in the DPPH • and FRAP tests. Obligation to cost-benefit the microcapsules produced with the MX1 mixtures were subjected to the stability test. It was observed that for a period of 30 days of storage to ascorbic acid, the phenolic compounds and the total carotenoids, as well as the antioxidant activity were better preserved under the temperature of 5 ° C, when compared to those stored at 30 ° C. microcapsules made by the MX1 mixture are economically viable since they mostly use low-cost and easy-to-obtain wall material, in addition to keeping the bioactive compounds under study for a month, facilitating their possible commercialization.

Keywords: Spray dryer; Bioactive compounds; Stability; Antioxidant activity

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura molecular do ácido ascórbico.....	20
Figura 2 - Reação de oxirredução do ácido ascórbico.....	21
Figura 3 - Estrutura básica dos carotenoides.....	22
Figura 4 - Estrutura molecular das duas classes de ácidos fenólicos	24
Figura 5 - (a) Mecanismo de ação dos compostos fenólicos sobre os radicais livres e (b) Estabilização por ressonância do radical fenólico	25
Figura 6 - Estrutura química básica dos flavonóides.....	26
Figura 7 - Foto ilustrativa da árvore com as frutas acerola (<i>Malpighia emarginata dc</i>)....	27
Figura 8 - Fotografia Ilustrativa de Frutos Ciriguela (<i>Spondias purpúrea L.</i>).....	29
Figura 9 - Estrutura das micropartículas	31
Figura 10 - Técnicas de encapsulamento utilizadas em fitoquímicos	32
Figura 11 - Impacto da dextrose equivalente da maltodextrina nas características do agente encapsulante.....	34
Figura 12 – Estabilidade térmica do conteúdo de ácido ascórbico das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) obtida por <i>spray dryer</i> , utilizando a mistura MX1 (99,9 maltodextrina:0,1 goma xantana - g/g) como material de parede durante o período de 30 dias de armazenamento nas temperaturas de 5°C e 30°C.	64
Figura 13 – Estabilidade térmica do conteúdo de carotenoides totais das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) obtidas por <i>spray dryer</i> , utilizando a mistura MX1 (99,9 maltodextrina:0,1 goma xantana - g/g) como material de parede durante o período de 30 dias de armazenamento nas temperaturas de 5°C e 30°C.	65
Figura 14 - Estabilidade térmica do conteúdo de fenólicos totais das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa – g/g) obtidas	

por *spray dryer*, utilizando a mistura MX1 (99,9 maltodextrina:0,1 goma xantana - g/g) como material de parede durante o período de 30 dias de armazenamento nas temperaturas de 5°C e 30°C. 66

Figura 15 - Estabilidade térmica da atividade antioxidante (percentual de inibição do radical DPPH•) das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa – g/g) obtidas por *spray dryer*, utilizando a mistura MX1 (99,9 maltodextrina:0,1 goma xantana - g/g) como material de parede durante o período de 30 dias de armazenamento nas temperaturas de 5°C e 30°C 68

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Ingestão Diária Recomendada de Vitamina C (valores em mg)	21
Tabela 2 - Estrutura química, luz emitida e polaridade dos principais carotenoides presentes na dieta humana.....	23
Tabela 3 - Porcentagem de água, macronutrientes, vitaminas e minerais da acerola madura	28
Tabela 4 - Porcentagem de água, macronutrientes, vitaminas e minerais da ciriguela madura	30
Tabela 5 - Caracterização físico-química da polpa de acerola, polpa de ciriguela e polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g)	53
Tabela 6 - Teores de ácido ascórbico, carotenoides e compostos fenólicos totais em polpa de acerola, polpa de ciriguela e polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g).....	54
Tabela 7 - Atividade de água e umidade das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) obtidas por <i>spray dryer</i>	55
Tabela 8 - Percentual de retenção do ácido ascórbico nas microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) obtidas por <i>spray dryer</i>	56
Tabela 9 - Percentual de retenção dos carotenoides totais nas microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g) obtidas por <i>spray dryer</i>	58
Tabela 10 - Percentual de retenção dos fenólicos totais nas microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) obtidas por <i>spray dryer</i>	60
Tabela 11 - Percentual de inibição do radical $dpph\bullet$ (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) obtidas por <i>spray dryer</i>	61

Tabela 12 - Capacidade de redução férrica (*Ferric reducing ability of plasma* - FRAP) das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) obtidas por *spray dryer*. 63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE.....	17
2.1 Problema de pesquisa	17
2.2 Hipótese	17
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Alimentos funcionais	18
3.2 Compostos bioativos	19
3.3 Ácido ascórbico	20
3.4 Carotenoides	21
3.5 Compostos fenólicos	23
3.7 Ciriguela	29
3.8 Microencapsulação	31
3.9 Agentes encapsulantes.....	33
3.10 REFERÊNCIAS	36
4. ARTIGO - EFICÁCIA DA MICROENPSULAÇÃO DE SUCO MISTO DE ACEROLA (<i>Malpighia emarginata</i> DC) E CIRIGUELA (<i>Spondias purpurea</i> L) EM DIFERENTES MATERIAIS DE PAREDE.....	44
RESUMO	44
ABSTRACT	45
4.1 INTRODUÇÃO	46
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	48
4.2.1 Preparo da amostra.	48
4.2.2 Caracterização físico-química das polpas <i>in natura</i>	48
4.2.3 Colorimetria das polpas <i>in natura</i>	48
4.2.4 Ácido ascórbico das polpas <i>in natura</i>	49
4.2.5 Carotenoides totais das polpas <i>in natura</i>	49
4.2.6 Compostos fenólicos das polpas <i>in natura</i>	49

4.2.7	Obtenção das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) por spray dryer	49
4.2.8	Quantificação do ácido ascórbico, carotenoides totais, compostos fenólicos totais presentes nas microcápsulas de acerola e ciriguela (60:40 respectivamente - g/g). 50	
4.2.9	Extrato utilizado nos ensaios de compostos fenólicos e métodos de atividade antioxidante das microcápsulas de acerola e ciriguela (60:40 respectivamente - g/g).	50
4.2.10	Método de sequestro do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH•).	51
4.2.11	Capacidade redutor do íon ferro III (<i>Ferric reducing ability of plasma</i> - FRAP) 51	
4.2.12	Estudo de estabilidade do ácido ascórbico, carotenoides totais, compostos fenólicos totais e da manutenção da atividade antioxidante nas microcápsulas de acerola e ciriguela (60:40 respectivamente - g/g).	52
4.2.13	Análise Estatística	52
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.3.1	Caracterização físico-química da polpa de acerola, polpa de ciriguela e polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g)	52
4.3.2	Determinação de ácido ascórbico, carotenoides totais e compostos fenólicos totais da polpa de acerola, ciriguela e polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g)	54
4.3.3	Caracterização das microcápsulas obtidas pelas cinco diferentes misturas de material de parede em estudo.	55
4.3.4	Percentual de inibição do radical DPPH• (2,2-difenil-1- picrilhidrazil).....	61
4.3.5	Capacidade de redução férrica (<i>Ferric reducing ability of plasma</i> - FRAP)	62
4.3.6	Estudo de estabilidade térmica das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) obtidas por <i>spray dryer</i>	63
4.4	CONCLUSÃO	68
4.5	REFERENCIAS.....	69

1. INTRODUÇÃO

Os alimentos considerados funcionais estão cada vez mais em evidência, visto que proporcionam efeitos benéficos à saúde por meio de componentes alimentares específicos. Estima-se que o mercado mundial de alimentos funcionais aumente gradualmente e alcance US \$ 255,10 bilhões até 2024. Esse crescimento é impulsionado não apenas pela inovação na indústria de alimentos, mas também pela mudança de estilo de vida e pelo aumento da conscientização dos consumidores em relação à sua própria saúde e aos benefícios nutricionais dos alimentos (FERRÃO et al., 2020).

Tendo em vista a crescente busca por produtos com propriedades funcionais, alimentos ricos em compostos bioativos vêm sendo elaborados pela indústria de alimentos (BARAUSKAITE et al., 2018). Compostos bioativos são substâncias obtidas a partir de frutas, legumes, óleos, peixe, mel, nozes e outras fontes de origem vegetal e animal e exercem efeitos benéficos a saúde através de atividades celulares e fisiológicas (SHISHIR et al., 2018).

A acerola e a ciriguela são duas frutas ricas em compostos bioativos. A acerola (*Malpighia emarginata* DC), conhecida em alguns lugares do mundo como cereja de barbados, é nativa das ilhas do Caribe e Antilhas. É uma fruta muito popular em razão de seu alto teor de vitamina C, compostos fenólicos, incluindo derivados do ácido benzóico, fenilpropanóides, flavonóides, antocianinas e carotenóides (SILVA et al., 2016; MOURA et al., 2018;). A ciriguela (*Spondias purpurea* L.) é a espécie mais conhecida do gênero das *Spondias* que compreende cerca de 15 espécies de árvores ou arbustos. É encontrada do sul do México e América Central ao Peru e Brasil. É uma fruta rica em pró-vitamina A, vitamina do complexo B, além de ser fonte de compostos fenólicos, como taninos, ácidos fenólicos e flavonóides (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; BELWAL et al., 2018).

Entretanto os compostos bioativos são muito suscetíveis à degradação, sobretudo quando expostos a luz, umidade, calor e oxigênio. Uma das técnicas utilizadas atualmente para proteger estes compostos é a microencapsulação por *spray dryer*. A microencapsulação consiste no revestimento de sólidos, líquidos ou materiais gasosos, com um filme contínuo, para produzir cápsulas de tamanho micrométrico (WANI; MASOODI; WANI, 2017; OZKAN et al., 2019).

Os materiais de parede utilizados para o revestimento destas microcápsulas podem ser carboidratos (maltodextrinas, derivados de celulose), proteínas (gelatina, proteína do soro do leite) ou gomas naturais (goma arábica, alginatos). Material de parede apropriado é um fator importante para a microencapsulação de compostos bioativos, uma vez que esse material deve proteger o núcleo ou substância ativa da sua degradação (GÓMEZ et al., 2018). A maltodextrina é um material de parede amplamente utilizado, sendo uma alternativa de baixo custo, possui boa capacidade de formar sólidos amorfos, melhora a solubilidade aquosa e permite baixas viscosidades em altas concentrações. Assim como a maltodextrina a goma arábica é utilizada como material de parede em virtude do conjunto de atributos favoráveis tais como: capacidade de formação de filme, solubilidade em água, baixa viscosidade, boa retenção de componentes voláteis e propriedades emulsificantes (LABUSCHAGNE, 2018; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018). Há poucos estudos sobre a utilização da goma xantana como material de parede para microencapsulação em *spray dryer*, por ser um forte agente espessante. Entretanto quando utilizado em combinação com outras gomas pode proporcionar uma melhor retenção de compostos na matriz polimérica (LABUSCHAGNE, 2018).

A combinação dos diferentes agentes encapsulantes é de especial interesse comercial, pois sugere a possibilidade de novas funcionalidades, por um lado, e o uso de níveis reduzidos de insumos, por outro. Ampliando o leque de possibilidades para aplicação desses agentes encapsulantes e reduzindo os custos do processo (TAHERI; JAFARI, 2019). Sendo assim o objetivo do presente trabalho foi avaliar a combinação de goma xantana, maltodextrina e goma arábica na preservação dos compostos bioativos presentes no suco misto de acerola e ciriguela durante o processo de microencapsulação por *spray dryer* e a estabilidade desses compostos nas microcápsulas, sob diferentes condições de temperatura, como também sua atividade antioxidante de forma a obter um produto rico em compostos bioativos com um bom custo benefício.

2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE

2.1 Problema de pesquisa

A combinação de goma xantana com maltodextrina e/ou goma arábica pode, de alguma forma, apresentar boa retenção e estabilidade dos compostos bioativos da polpa mista de acerola com ciriguela durante o processamento de microencapsulação por *spray dryer* e armazenamento, a ponto de compensar os custos adicionais devido a utilização das gomas?

2.2 Hipótese

A combinação de goma xantana com maltodextrina e/ou goma arábica apresentará boa retenção e estabilidade dos compostos bioativos da polpa mista de acerola com ciriguela durante o processamento de microencapsulação por *spray dryer* e armazenamento, de forma a oferecer um produto rico nestes compostos e com um bom custo benefício.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Alimentos funcionais

A urbanização, a industrialização e a globalização exerceram grande influência sobre o estilo de vida, a dieta e, conseqüentemente, o estado nutricional da população. Ao mesmo tempo em que ocorreu uma diminuição da subnutrição nas regiões metropolitanas, houve uma alteração no estilo de vida, com a adoção de dietas inadequadas e redução da atividade física. Como resultado, doenças decorrentes tanto da deficiência, quanto do excesso de nutrientes, tornaram-se importantes problemas de saúde pública (MISTRA; PANDEY; MISHRA, 2021).

Neste contexto os alimentos funcionais estão cada vez mais em evidencia, visto que proporcionam efeitos benéficos à saúde por meio de componentes alimentares específicos. Esses alimentos têm atraído atenção crescente da população e impulsionado o desenvolvimento e a criação de novos produtos, com essas características, pela a indústria de alimentos. Os alimentos funcionais são rigorosamente regulados, uma vez que esses produtos prometem benefícios à saúde dos consumidores, principal fator por trás da escolha desses produtos (KAUR; SINGH, 2017; BARAUSKAITE et al., 2018).

No Brasil o setor de alimentos funcionais é regulamentado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde (ANVISA). Segundo a portaria nº398 de 30/04/1999 da ANVISA “Alimento funcional é todo aquele alimento ou ingrediente que, além das funções nutricionais básicas, quando consumido como parte da dieta usual, produz efeitos metabólicos e/ou fisiológicos e/ou efeitos benéficos à saúde, devendo ser seguro para consumo sem supervisão médica” (BRASIL, 1999). A suplementação de ingredientes ativos em alimentos para conferir-lhe propriedades funcionais é uma prática comumente utilizada pela indústria de alimentos. Tendo como exemplo o suco de laranja com adição de cálcio e ovos com maior teor de ômega-3 (YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018).

Devido a essas novas tendências do consumo e produção de alimentos que beneficiem a saúde dos consumidores, o mercado global de alimentos funcionais expandiu-se dramaticamente na última década e estima-se que cresça constantemente e atinja US \$ 255 bilhões até 2024 (FERRÃO et al., 2020). Os maiores mercados

consumidores de alimentos funcionais são o Japão, a Coréia e os Estados Unidos, seguidos pela Europa. Evidentemente, a aceitação e a atitude do consumidor em relação aos alimentos funcionais determinam o tamanho e o sucesso do mercado. Enquanto os americanos aceitam e consomem alimentos funcionais mais facilmente, os europeus parecem ser mais críticos em relação à adição desses alimentos em sua dieta (TADESSE; EMIRE, 2020).

3.2 Compostos bioativos

Compostos bioativos são aquelas substâncias que podem ser encontradas em frutas, legumes, óleos, peixe, mel, nozes e outras fontes de origem vegetal e animal, e podem promover efeitos benéficos sobre a saúde humana por atividades celulares e fisiológicas. Essas substâncias bioativas podem desempenhar diferentes atividades sobre o organismo atuando como antioxidantes, anti-inflamatórios, antibacterianos e imunomoduladores. Como consequência essas substâncias têm atraído muita atenção, uma vez que sua ação auxilia na redução do risco de muitas doenças, como câncer, doenças cardiovasculares, diabetes e obesidade (BAO et al., 2019; REHMAN et al., 2019).

Em razão disso, tanto a indústria de alimentos quanto a farmacêutica exibem interesse significativo nessas substâncias, uma vez que várias espécies de plantas e frutas disponíveis são de utilidade potencial para a obtenção de componentes fisiologicamente ativos, tendo em vista o desenvolvimento e produção de vários produtos como aditivos alimentares, alimentos funcionais, produtos nutricionais e/ou nutracêuticos (BARBA et al., 2017; ALTAF; AHMAD KHAN; AHMAD, 2019). As frutas, em particular, possuem uma vasta variedade de componentes que favorecem a saúde do indivíduo, entre eles podem-se citar as fibras alimentares, vitaminas e antioxidantes (polifenóis) (BARROSO et al., 2019).

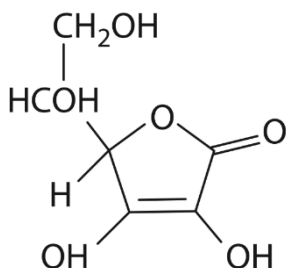
Estudos sugerem que o consumo regular de frutas pode promover a saúde e o bem-estar em geral, bem como reduzir o risco de doenças crônicas. Esses benefícios à saúde podem ser obtidos por meio de uma dieta equilibrada de frutas, ou seja, pela ingestão de frutas ou alimentos que contenham ingredientes derivados de frutas. No entanto, hoje em dia há uma parcela da população que não possui o hábito de consumir frutas em quantidades suficientes. Portanto, a introdução de diferentes formatos de alimentos e

bebidas derivados de frutas pode ajudar a aumentar a ingestão dos compostos bioativos a partir delas (RAMFUL et al., 2010; BARROSO et al., 2019).

3.3 Ácido ascórbico

O ácido ascórbico (Figura 1), conhecido popularmente como vitamina C, é um nutriente dietético essencial de extrema relevância para os sistemas biológicos, interferindo positivamente na absorção e no metabolismo de ferro presente nos vegetais, da glicose e de outros glicídios, na síntese de colágeno e de outros componentes do tecido conjuntivo, atuando na cicatrização e mantendo a integridade da pele e mucosas, além de fortalecer o sistema imunológico. A espécie humana é incapaz de sintetizar essa substância, devido a uma deficiência da L-gulonolactona oxidase, uma enzima terminal na via biossintética do ácido ascórbico. Sendo assim, o ácido ascórbico deve ser obtido a partir da dieta para manter um funcionamento metabólico normal do corpo (DAUD; ISMAIL; SARMADI, 2015).

Figura 1 - Estrutura molecular do ácido ascórbico



Fonte: Damodaran et al. (2017)

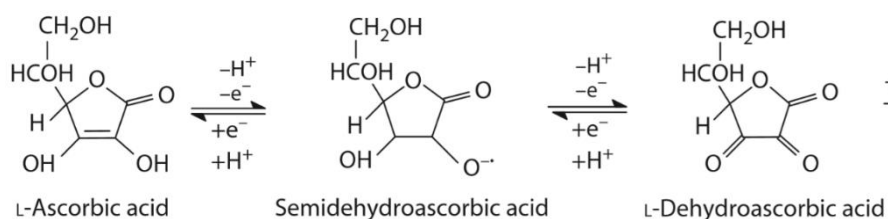
A carência de ácido ascórbico resulta em uma condição letal conhecida como escorbuto, caracterizada por alterações gengivais, dor nas extremidades e manifestação hemorrágica que pode levar à óbito. A RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005 da ANVISA estabelece valores de Ingestão Diária Recomendada de vitamina C para adultos, lactentes, crianças, gestantes e lactantes (Tabela 1). Muitas frutas e legumes, incluindo frutas cítricas, acerola, goiaba, tomate, pimentão vermelho e verde, kiwi e brócolis, são as fontes predominantes de vitamina C, fornecendo mais de 80% das necessidades diárias (DEMBITSKY et al., 2011).

Tabela 1 - Ingestão Diária Recomendada de Vitamina C (valores em mg)

Adulto	Lactentes		Crianças			Gestantes	Lactantes
	0-6 meses	7-12 meses	1-3 anos	4-6 anos	7-10 anos		
45	25	30	30	30	35	55	70

Fonte: ANVISA (2005).

A vitamina C encontra-se na natureza sob duas formas: reduzida ou oxidada (ácido deidroascórbico, Figura 2); ambas são igualmente ativas. A transformação do ácido ascórbico em ácido deidroascórbico ocorre normalmente no interior do organismo humano e é reversível, permitindo que uma de suas substâncias possa sempre ser transformada na outra (DAMODARAN; PARKIN, 2017). Essa capacidade de transformação funciona como um sistema oxidorredutor capaz de transportar o próton nos processos de respiração, no nível celular. Por essa facilidade de oxidação a vitamina C se destaca como um agente antioxidante no organismo, reduzindo os radicais livres gerados pelo metabolismo celular. Sua ação antioxidante ocorre em função da oxidação do grupo fortemente redutor em sua estrutura, denominado de redutona, o qual se refere às hidroxilas presentes na dupla ligação C=C (DAMODARAN; PARKIN, 2017).

Figura 2 - Reação de oxirredução do ácido ascórbico

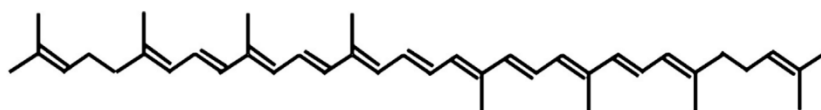
Fonte: Damodaran; Parkin (2017).

3.4 Carotenoides

Os carotenoides são compostos lipofílicos sintetizados por organismos fotossintéticos, alguns procariontes e fungos não fotossintéticos. Compreendem a classe mais popular de pigmentos responsáveis pelas cores do amarelo ao vermelho de frutas, hortaliças, fungos e flores. Os carotenoides podem estar associados a ácidos graxos, açúcares, proteínas ou outros compostos que podem alterar suas propriedades físicas e químicas e afetar seus papéis biológicos (EGGERSDORFER; WYSS, 2018; WANG et

al., 2018). A característica estrutural mais importante dos carotenoides é a existência de várias ligações duplas conjugadas em sua espinha dorsal de polieno (Figura 3). A presença de mais de 9 ligações duplas conjugadas nessas estruturas organiza uma conformação em forma de bastonete, que não confere apenas à característica pigmentada dos carotenoides, mas também estabiliza a funcionalidade dos carotenoides na membrana lipídica e nas proteínas (NAGARAJAN et al., 2017).

Figura 3 - Estrutura básica dos carotenoides



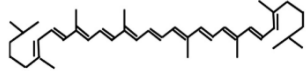
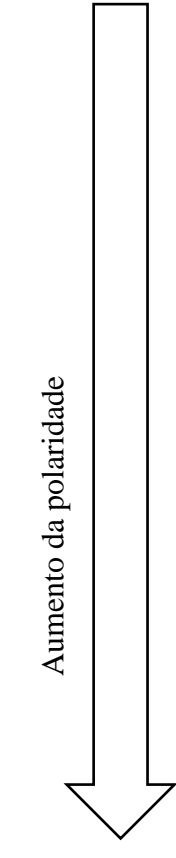
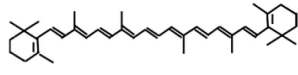
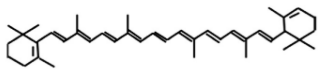
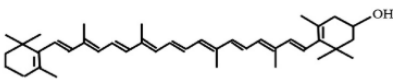
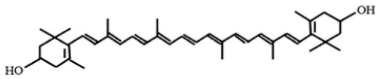
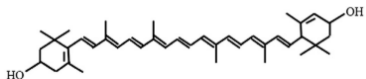
Fonte: Nagarajan et al. (2017)

Com base na estrutura química, os carotenoides que existem como hidrocarbonetos puros são chamados de carotenos (α -caroteno, β -caroteno e licopeno). Além disso, os carotenoides que contêm oxigênio como um grupo funcional em sua estrutura (β -criptoxantina, luteína e zeaxantina) são chamados de xantofilas. A presença do grupo polar na estrutura afeta a polaridade e a função biológica dos compostos. Os carotenoides desempenham um papel fundamental na fotossíntese. Os carotenos que refletem luz na região de comprimento de onda entre 600 nm e 700 nm (laranja à vermelho) são responsáveis por transmitir energia luminosa da luz solar absorvida pela clorofila. Eles também são conhecidos por agirem como antioxidantes na planta, absorvendo energia do oxigênio singlete formado durante o processo de fotossíntese (CUTTRISS et al., 2011; ROSTAMABADI; FALSAFI; JAFARI, 2019).

O consumo de carotenoides tem sido associado a vários efeitos benéficos a saúde humana. São bioativos lipossolúveis valiosos e demonstram atividade pró-vitamina A e potentes propriedades antioxidantes com a possibilidade de reduzir o risco de degeneração muscular relacionada à idade e catarata, alguns tipos de câncer e doença coronariana. Não podem ser gerados através do metabolismo humano, portanto devem ser obtidos através da dieta. Existem inúmeras estruturas químicas de carotenoides na natureza, entre as quais, quase 40 estão presentes na dieta usual por meio do consumo de frutas ou hortaliças. Entretanto, apenas 20 dessas estruturas de carotenoides foram encontradas em tecidos ou sangue humano. As principais são: licopeno, α - e β -carotenos,

β -criptoxantina, zeaxantina e luteína (Tabela 2) (NAGARAJAN et al., 2017; RODRIGUEZ-CONCEPCION et al., 2018).

Tabela 2 - Estrutura química, luz emitida e polaridade dos principais carotenoides presentes na dieta humana.

Carotenóide	Molécula	Estrutura química	Luz Refletida	Polaridade
Licopeno	C ₄₀ H ₅₆		Vermelho	
β-Caroteno	C ₄₀ H ₅₆		Laranja	
α-Caroteno	C ₄₀ H ₅₆		Laranja	
β-Criptoxantina	C ₄₀ H ₅₆ O		Laranja	
zeaxantina	C ₄₀ H ₅₆ O ₂		Amarelo	
Luteína	C ₄₀ H ₅₆ O ₂		Amarelo	

Fonte: Nagarajan et al. (2017).

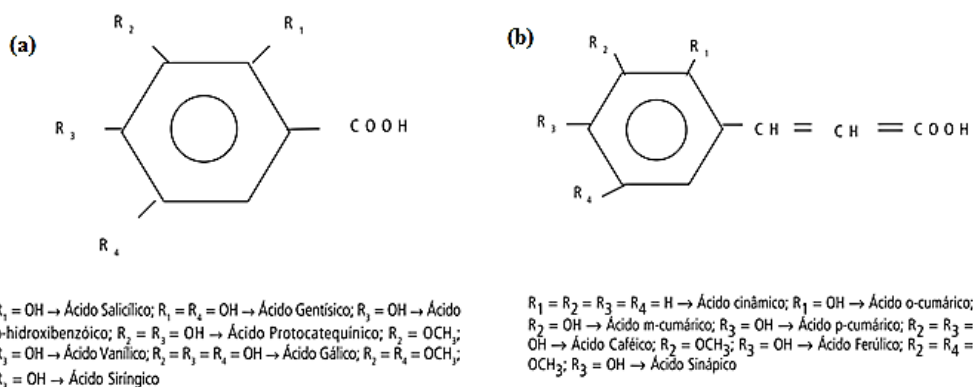
3.5 Compostos fenólicos

Os fenólicos da dieta ou os polifenóis constituem um dos grupos de produtos naturais mais abundantes e amplamente distribuídos no reino vegetal. Atualmente são conhecidas mais de 800 estruturas fenólicas. Essa classe de substâncias caracteriza-se por apresentarem natureza benzênica. Sua estrutura pode possuir grupamentos carboxílicos, com um ou mais grupamentos hidroxila e/ou metoxila na molécula. Os compostos fenólicos abrangem uma ampla gama de substâncias químicas, entre elas estão presentes os taninos condensados e hidrolisáveis, flavonóides, amidas polifenólicas, estilbenos,

fenóis voláteis, curcuminoides, cumarinas, antraquinonas, ligninas e duas classes de ácidos fenólicos [ácidos hidroxibenzóicos e ácidos hidroxicinâmicos (Figura 4)] (ALTAF; AHMAD KHAN; AHMAD, 2019; YILMAZ-AKYUZ et al., 2019).

Os ácidos hidroxibenzóicos possuem um grupo carboxílico (grupo ácido) e grupos hidroxila (um ou mais) em um anel aromático, conforme ilustrado na Figura 4. Estão presentes em alimentos como frutas, hortaliças e cereais e incluem os ácidos p-hidroxibenzóico, protocatecúico, gálico e vanílico. Os ácidos hidroxicinâmicos se caracterizam pela presença do grupo $\text{CH} = \text{CH} - \text{COOH}$ como substituto do grupo COOH presente nos ácidos hidroxibenzóicos. A ligação dupla entre as moléculas de carbono ($\text{C} = \text{C}$) da cadeia aumenta a ressonância química, que pode ser descrita como uma deslocalização de elétrons nas ligações π estabilizando os radicais livres e, portanto, aumentando a capacidade antioxidante da molécula. Estão presentes em uvas, acerola, ciriguela, maçãs, espinafre, brócolis, couve, café e cereais e incluem ácidos cafeico, p-cumarico, transferúlico, sinápico e clorogênico (PAINI et al., 2015; YILMAZ-AKYUZ et al., 2019).

Figura 4 - Estrutura molecular das duas classes de ácidos fenólicos



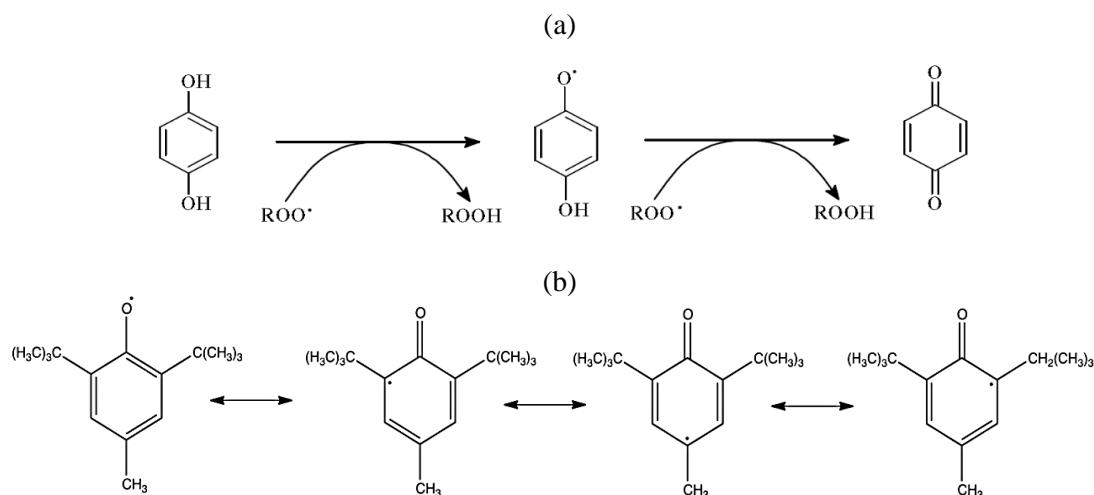
*(a) - Estrutura química dos ácidos hidroxibenzóicos, (b) e dos ácidos cinâmicos.

Fonte: Damodaran; Parkin (2017).

Alguns ácidos fenólicos desempenham papéis significativos na nutrição e saúde humana devido a seus efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e anticarcinogênicos. A capacidade antioxidante, em particular, é a principal razão do crescente interesse sobre esses compostos, uma vez que podem ser utilizados tanto como sequestradores de radicais livres quanto como quelantes de metais. A função antioxidante desses compostos deve-se a sua estrutura fenólica que permite a doação de um próton ao radical livre, o tornando

inerte e cessando o mecanismo de oxidação (Figura 5). Embora, os fenóis, após a reação possuam elétron(s) livre(s), não são reativos. O elétron se desloca em torno da molécula em estado de ressonância, se estabiliza sem promover ou propagar reações oxidativas (SHAHIDI; AMBIGAIPALAN, 2015).

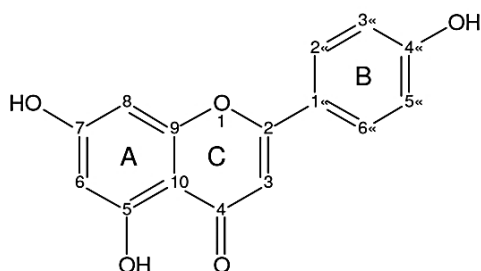
Figura 5 - (a) Mecanismo de ação dos compostos fenólicos sobre os radicais livres e (b) Estabilização por ressonância do radical fenólico



Fonte: Damodaran; Parkin, 2017

De todos os compostos fenólicos, o grupo dos flavonóides é o mais difundido na natureza. A estrutura química típica dos flavonóides (Figura 6) consiste em três anéis: benzopirano-2-fenil, um anel fenólico dihidroxilado nas posições 5 e 7, (anel A), um segundo anel fenólico geralmente mono-hidroxilado, orto-di-hidroxilado ou tri-hidroxilado (anel B), que também pode conter grupos metoxi (O-CH₃) como substituintes e o anel C, que pode ser um anel heterocíclico com oxigênio pirano, pirílio ou pirona. Nas plantas, os flavonóides podem ocorrer de várias formas, correspondendo a modificações adicionais do esqueleto flavonóides. São os compostos responsáveis pela cor das flores e frutos (ALTAF; AHMAD KHAN; AHMAD, 2019; YILMAZ-AKYUZ et al., 2019).

Figura 6 - Estrutura química básica dos flavonóides.



Fonte: Damodaran; Parkin. (2017).

Estudos epidemiológicos mostram que uma rica ingestão de fenólicos correlaciona-se com menor risco de doença cardiovascular. Foi observado que atuam em diferentes níveis. Na diminuição da oxidação de lipídeos de baixa densidade (LDL), na inibição da agregação plaquetária, na estimulação da síntese de óxido nítrico, na estabilização das fibras colágenas da parede arterial, entre outras. A ingestão dietética de fenólicos é grandemente afetada pelos hábitos alimentares e preferências dos indivíduos. A ingestão diária média de polifenóis na dieta é de aproximadamente 1 g por pessoa. As principais fontes são bebidas, frutas e em menor proporção, hortaliças. Sua biodisponibilidade é muito variável: muitos deles são metabolizados por microrganismos do cólon antes de ser absorvido. Além disso, sabe-se que os compostos fenólicos são afetados pelo processamento de alimentos, e especificamente por tratamentos térmicos, que podem reduzir muito a concentração de fenóis no alimento (DAMODARAN; PARKIN, 2017)

3.6 Acerola

A acerola, conhecida em alguns lugares do mundo como cereja de barbados, é nativa das ilhas do Caribe e Antilhas, embora possa ser encontrada na natureza e cultivada ao norte da América do Sul, América Central e Sul do México. Na região Nordeste a acerola foi introduzida na década de 50, século XX, quando pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco trouxeram as primeiras sementes de Porto Rico (BELWAL et al., 2018; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018).

A acerola cultivada comercialmente pertence à espécie *Malpighia emarginata* DC (Figura 7). O fruto caracteriza-se por ser uma drupa, possuir um epicarpo fino, um mesocarpo (polpa) e um endocarpo trilobado, o tamanho varia em função do potencial genético da planta, tratos culturais e do número de frutos por gema reprodutiva, medindo

entre 3 a 6 cm e em geral pesam de 3 a 16g. Os frutos podem ser arredondados, ovalados ou mesmo cônicos. Sua cor, quando maduros, pode ser vermelha, roxa, amarela ou branca, essa característica é muito importante, pois a indústria de processamento prefere os frutos de coloração vermelha. Levam aproximadamente 22 dias desde a floração até a maturação. Os frutos carnosos têm como característica comum sua riqueza em açúcares e acidez relativamente elevada (RITZINGER; RITZINGER, 2011).

Figura 7 - Foto ilustrativa da árvore com as frutas acerola (*Malpighia emarginata* dc)



Fonte: Google Imagens

A acerola é uma fruta bem conhecida em razão de seu alto teor de vitamina C, compostos fenólicos, incluindo derivados do ácido benzóico, fenilpropanóides, flavonóides, antocianinas e carotenoides. Encontrou no Brasil condições edafoclimáticas favoráveis ao seu cultivo, produzindo normalmente entre 3 a 4 safras por ano. Caracterizada por uma grande safra no período de outubro a abril, e uma retração na produção entre os meses de maio a agosto, sem, contudo, deixar de produzir. Esse comportamento deve-se basicamente às condições de clima, associados à prática da irrigação que, ao favorecerem vários surtos de crescimento, propiciam a floração e a frutificação quase contínuas (BELWAL et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019).

Os frutos da aceroleira apresentam rendimento de suco entre 49% e 75% do seu peso, com elevada acidez. O teor de água nos frutos costuma ser superior a 90%. Podem ser consumidos tanto *in natura* como processados, sob a forma de sucos, sorvetes, geleias, xaropes, licores, doces em calda e cápsulas de vitamina C. Atualmente, destaca-se por seu reconhecido valor nutricional, principalmente como fonte de vitamina C e do complexo B (ácido pantotênico e niacina), ferro, cálcio e outros minerais (Tabela 3) (MOURA et al., 2018; NASCIMENTO et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019). Outra classe de constituintes presentes no fruto de acerola são os compostos fenólicos. É possível

encontrar nesse fruto derivados do ácido benzóico (ácido gálico e ácido singárico), fenilpropanóides (ácido cafético, ácido ferúlico, etc) flavonóides e antocianinas (BARROS et al., 2020).

Tabela 3 - Porcentagem de água, macronutrientes, vitaminas e minerais da acerola madura

Água e Macronutrientes	Teores (%)	Vitaminas	Teores (mg/100g)	Minerais	Teores (mg/100 g)
Água	92,6-95,0	C	1465,22	Fósforo	11,0
Proteína	0,21- 1,20	B3	0,40	Cálcio	12,0
Lipídeos	0,23-0,80	B5	0,31	Ferro	0,20
Carboidratos	0,43			Potássio	146,0
				Magnésio	18,0

Fonte: MOURA et al. (2018).

Alguns autores extraíram e identificaram vários dos compostos fenólicos da acerola como Hunamura et al. (2006) e Alvarez-Suarez et al. (2017 que identificaram antocianinas, cianidina 3- O - α - ramnósido e pelargonidina 3- O - α - ramnósido, derivados de flavonoides, incluindo os glicosídeos de quercetina, diidroquercetina, metilquercetina e Kaempferol e derivados de fenilpropanóides, ácido dihidrocafeoilquínico, hexosídeo de cafeoil e hexosídeo de coumaroil. A catequina, epicatequina, galato de epigalocatequina, quercetina, ácido gálico, ácido singárico e ácido p- cumárico foram também identificadas por Marques et al. (2016) em frutos de acerola.

Os carotenóides presentes na acerola não são amplamente estudados como os fenólicos, entretanto autores como De Rosso e Mercadante (2005) estudaram a presença de carotenoides em diferentes genótipos de acerola por HPLC-PDA. Eles identificaram que neocromo, neoxantina, violaxantina, luteoxantina, luteína, zeaxantina, 5,6,5', 6'-diepoxi- β -criptoxantina, 5,6-epoxi- β -criptoxantina, 5,8-epoxi- β -criptoxantina, zeinoxantina, β -criptoxantina, 5,6,5', 6'-diepoxi- β -caroteno, 5,8-epoxi- β -caroteno e β -caroteno eram os principais constituintes dos carotenóides.

Devido aos fatores citados, a acerola é uma fruta muito relevante no mercado nacional e vem ganhando cada vez mais espaço no mercado internacional. A maior parte da produção brasileira de acerola é absorvida pelas indústrias de processamento e

exportada para diversos países da Europa, Japão, Estados Unidos e Antilhas, na forma de polpa ou frutos congelados e suco integral (BELWAL et al., 2018).

3.7 Ciriguela

A ciriguela (*Spondias purpurea* L.) é a espécie mais conhecida do gênero das *Spondias* que compreende cerca de 15 espécies de árvores ou arbustos. É amplamente distribuída pela América tropical, encontrada desde o México a América do Sul, com algumas espécies sendo encontradas em certas regiões da África e Ásia. Existem duas origens geográficas para as cultivares de *Spondias purpurea*. Um ao norte, na região centro-ocidental do México e o outro ao sul, localizado no sul do México e na América Central. Essas de origem no sul foram disseminadas e introduzidas em outros países da América, África e Ásia. A espécie tem se adaptado satisfatoriamente às condições edafoclimáticas de alguns países da América do Sul, como Equador, Colômbia, Peru e Brasil (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014; SILVA et al., 2016).

Figura 8 - Fotografia Ilustrativa de Frutos Ciriguela (*Spondias purpurea* L.)



Fonte: Google Imagens

O fruto da cirigueleira (Figura 8) caracteriza-se por ser uma drupa de cor vermelha ou laranjada quando maduro, que possui polpa de aroma e sabor agradáveis. A planta adulta raramente excede a 7 m de altura; os frutos são elipsoides, medindo de 3 a 5 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro. A ciriguela é rica em micronutrientes como cálcio, fósforo, ferro, pró-vitamina A, vitaminas do complexo B e vitamina C (Tabela 4). Além disso, podem ser encontrados na polpa, casca e sementes da ciriguela substâncias como quercetina, ácidos hidroxinâmicos, ácido elágico, ácido clorogênico, protocatequinas,

flavonoides, ácido gálico, ácido vanílico, ácido p-cumárico e ácido ferúlico (SILVA et al., 2016).

Tabela 4 - Porcentagem de água, macronutrientes, vitaminas e minerais da ciriguela madura

Água e Macronutrientes	Teores (%)	Vitaminas	Teores (mg/100 g)	Minerais	Teores (mg/100 g)
Água	75-78	C	45,0	Fósforo	40,0
Proteína	0,9	B1	0,07	Cálcio	22,0
Lipídeos	0,1	B2	0,03	Ferro	0,6
Carboidratos	22	B3	1,0		

Fonte: Alimentos Regionais Brasileiros (2015).

Trabalhos como os de Engels et al. (2012) mostram a variedade de compostos fenólicos presentes na ciriguela. A caracterização dos ácidos fenólicos e flavonóis dos frutos de ciriguela foi feita por cromatografia líquida de ultra eficiência acoplada a matriz de diodos e detecção de espectrometria de massa de ionização por eletrospray (UHPLC – DAD – ESI-MS). O sistema permitiu a separação de 21 compostos fenólicos, dentre os quais foram identificados: galoil glicose, ácido gálico, ácido dehidroxibenzóico hexosídeo, ácido 3-cafeoilquinico, quercetina 3-O-pentosilrutinosídeo, quercetina 3-O-pentosilhexosídeo, quercetina 3-O-pentosilhexosídeo, quercetina raminosil hexosídeo, quercetina deoxihexosídeo, quercetina pentosídeo, quercetina 3-O-rutinosídeo - rutina, quercetina 3-O-glucopiranosídeo, quercetina dipentosídeo, kaempferol deoxihexosil hexosídeo, kaempferol 3-O-hexosil pentosídeo, quercetina 3-O-pentosídeo, kaempferol 3-O-rutinosídeo, kaempferol 3-O-glucosídeo (astragalina), ramnetina hexosil pentosídeo, ramnetina hexosídeo, ramnetina dipentosídeo, kaempferideio hexosil pentosídeo, ácido 3,5-dihidroxibenzoico, ácido 3-cafeoilquinico, quercetina 3-O-arabinoglucosídeo, quercetina 3-O-rutinosídeo (rutina), quercetina 3-O-glucopiranosídeo-Isoquercitrina, kaempferol 3-O-rutinosídeo, quercetina desidratada, isoramnetina, ramnetina, kaempferideio.

A ciriguela é muito apreciada no Brasil, em especial no Nordeste, devido as suas características sensoriais. Costuma ser consumida *in natura* ou utilizada no preparo de sucos, sorvetes, geleias, compotas e bebidas fermentadas. Os frutos de ciriguela não são cultivados em larga escala, concentram-se apenas no regime de extrativismo vegetal e na

época de frutificação, necessitando de incentivos para o crescente interesse para o cultivo comercial (SILVA et al., 2016)

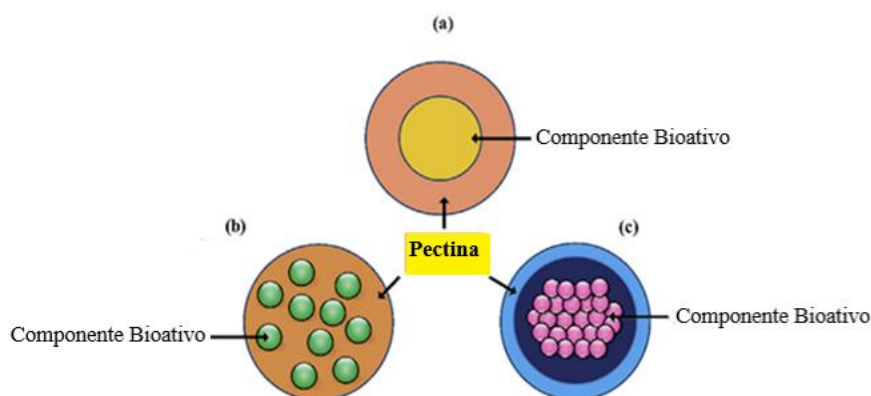
3.8 Microencapsulação

Durante anos, a área de microencapsulação apresentou um grande crescimento ao introduzir produtos encapsulados de micro e nano dimensões na forma de pós, emulsões, gotas, filmes etc. Produtos microencapsulados são aplicados em inúmeras áreas, como farmacêutica, indústria de alimentos, agricultura, produção de cosméticos, indústria têxtil dentre outras (WANI; MASOODI; WANI, 2017).

As micropartículas consistem em um núcleo (também conhecido como recheio), que é embalado dentro de um material de parede (revestimento, membrana ou casca). Conforme a sua estrutura, as microcápsulas são classificadas em microesferas ou microcápsulas. As microesferas são os sistemas matriciais, constituídos por uma rede polimérica, utilizados para a dispersão uniforme da substância ativa em seu estado sólido ou molecular. Por outro lado, as microcápsulas são sistemas vesiculares que consistem em uma cavidade com um núcleo interno cercado por uma membrana polimérica (Figura 9) (WANI; MASOODI; WANI, 2017; REHMAN et al., 2019).

Na indústria de alimentos, essa técnica tem solucionado limitações na incorporação de compostos bioativos em sistemas alimentares. A microencapsulação é uma tecnologia alternativa para melhorar o armazenamento e a estabilidade ambiental de bioativos, como um transportador apropriado, aumenta a estabilidade dessas substâncias em condições ambientais adversas, como na presença de luz, oxigênio e pH extremos.

Figura 9 - Estrutura das micropartículas



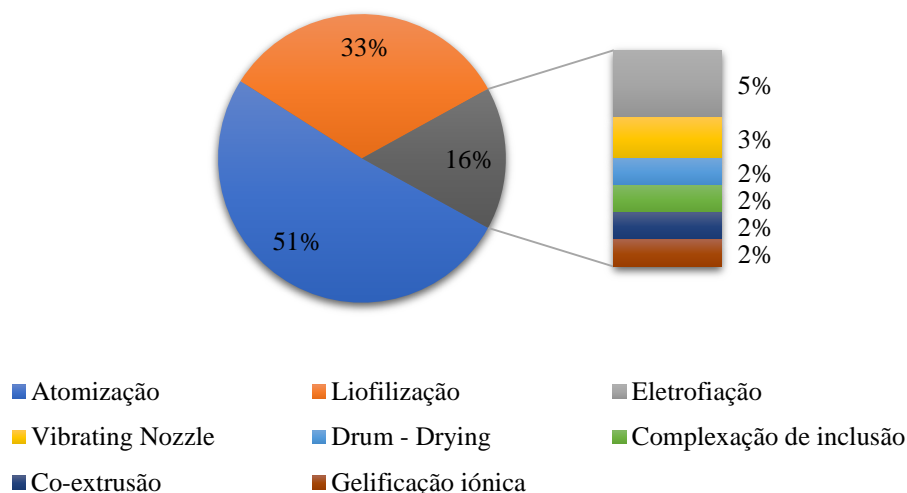
*(a) - Micropartícula, (b) - Microesfera, (c) – Microcápsula.

Fonte: Rehman et al. (2019)

Labuschagne (2018) fez um levantamento dos métodos de encapsulamento escolhidos para fitoquímicos em publicações realizadas nos últimos 20 anos (Figura 13). A atomização e a liofilização foram os métodos mais populares, uma vez que foram utilizados em 84% das publicações. As demais técnicas para encapsulação de fitoquímicos (Figura 10) são muito recentes, aparecendo nos últimos 8 anos.

A atomização é o método de microencapsulação mais utilizado comercialmente. Sua popularidade deve-se por ser um procedimento rápido, econômico e reproduzível, além de formar partículas sólidas com um baixo teor de umidade e atividade de água. Essa técnica consiste na conversão de uma mistura líquida em pó seco através de um injetor que contém uma corrente de gás de secagem a quente. Fundamentalmente, o processo de atomização consiste em uma operação de secagem contínua que compreende três etapas (SILVA et al., 2018).

Figura 10 - Técnicas de encapsulamento utilizadas em fitoquímicos



Fonte: Labuschagne (2018).

O primeiro estágio consiste na pulverização do líquido pelo atomizador, que deve criar um *spray* para as condições ótimas de evaporação, a fim de minimizar os gastos energéticos, para alcançar uma condição econômica do processo. Em seguida a solução

de alimentação é seca, o contato da solução pulverizada com o ar quente é determinado pela posição do atomizador em relação à entrada deste. A evaporação das gotículas do líquido de forma mais eficiente é feita com o fluxo de atomização e o ar quente ajustados na forma de co-corrente. A evaporação por atomização é rápida e, conforme o ar de entrada seja mais quente, o tempo de evaporação é encurtado. A evaporação ocorre nas gotículas até que o teor de umidade se torne muito baixo para difundir através da superfície da gota seca. Por fim as partículas são coletadas por um ciclone, filtro ou precipitador eletrostático (KESHANI et al., 2015; OZKAN et al., 2019).

3.9 Agentes encapsulantes

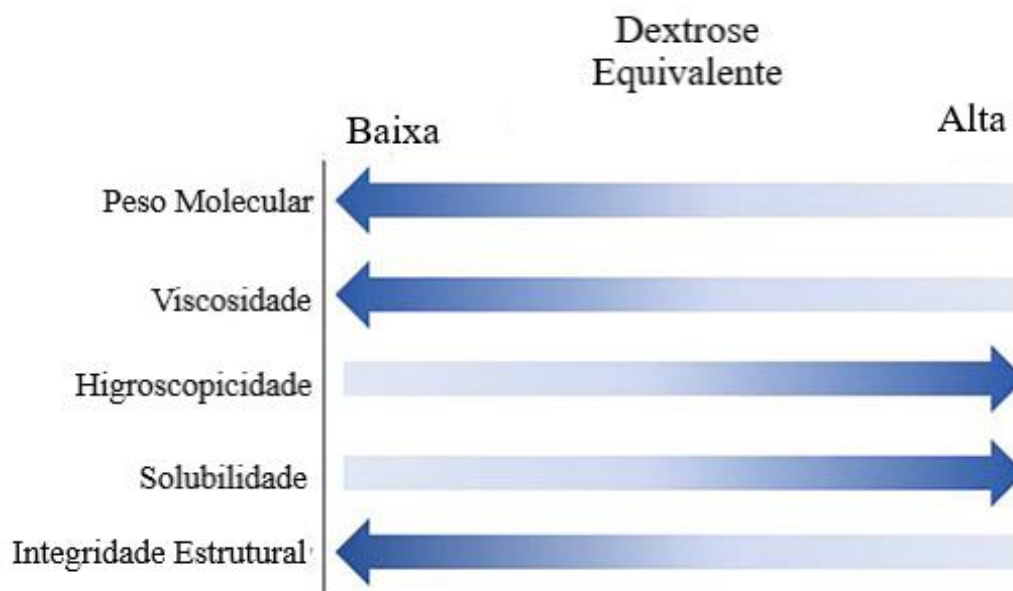
O agente encapsulante deve proteger o núcleo ou substância ativa da sua degradação, deve possuir a resistência mecânica adequada, ser compatível com o alimento onde vai ser aplicado, permitir a liberação controlada dos compostos bioativos e possuir propriedades térmicas compatíveis com as do produto em que será adicionado para a formação das microcápsulas. Os agentes encapsulantes mais utilizados na microencapsulação de ingredientes alimentares são a goma arábica, a maltodextrina, a gelatina, a proteína de soro de leite, o caseinato de sódio, os amidos modificados e a quitosa (YE; GEORGES; SELOMULYA, 2018; OZKAN et al., 2019).

Para a escolha do agente encapsulante devem ser observadas algumas propriedades como a higroscopicidade, viscosidade, teor de sólidos, capacidade de formação de filmes biodegradáveis, resistência ao trato intestinal e custo. A maltodextrina é amplamente utilizada como agente encapsulante para ingredientes alimentares, por ser uma alternativa de baixo custo possuir boa capacidade de formar sólidos vítreos amorfos (conferindo suporte estrutural ao material da parede do sistema de entrega), melhora a solubilidade aquosa e permiti emulsões de baixa viscosidade em altas concentrações, tornando-a a escolha preferida para encapsulamento (LABUSCHAGNE, 2018; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018; DELIA et al., 2019).

Os diferentes níveis de dextrose equivalente (DE) conferem a maltodextrina uma natureza versátil, na encapsulação de diversos ingredientes para diferentes aplicações. Por exemplo, quanto maior os DEs, menor a viscosidade aquosa e maior a concentração de amido que pode ser dissolvido antes da secagem por pulverização. Maltodextrinas com DEs mais altas também são conhecidas por serem mais higroscópicas, enquanto as que

apresentam DEs mais baixas fornecem maior integridade estrutural a rede ou membrana polimérica (Figura 11) (LABUSCHAGNE, 2018).

Figura 11 - Impacto da dextrose equivalente da maltodextrina nas características do agente encapsulante



Fonte: Labuschagne (2018).

Assim como a maltodextrina as gomas são amplamente utilizadas como agentes encapsulantes. Fundamentalmente, é um grupo de substâncias hidrofílicas capazes de formar dispersões coloidais. Em virtude de seus pesos moleculares e interações intermoleculares, as gomas não criam soluções verdadeiras. As gomas podem ser encontradas em plantas, animais, algas, fungos e outras fontes microbianas. No entanto, fontes vegetais são mais utilizadas e conhecidas devido à variedade de suas propriedades estruturais e funcionais. As gomas possuem características únicas na formação de dispersões aquosas, em virtude disso são amplamente utilizadas pela indústria de alimentos, entre elas, as mais comuns são: goma de alfarroba, carragenina, xantana e goma arábica (DAMODARAN; PARKIN, 2017; TAHERI; JAFARI, 2019).

A goma arábica é um exsudato de acácias, amplamente distribuídas em regiões tropicais e subtropicais. A goma arábica é um material heterogêneo, mas geralmente consiste em duas frações primárias. A primeira compreende cerca de 70% da goma, é composta por uma cadeia de polissacarídeos com pouca ou nenhuma proteína. A outra fração contém moléculas de maior peso molecular que possuem proteínas como parte

integrante de suas estruturas. Devido à sua fração proteica e propriedades funcionais especiais, a goma arábica é muito incomum em comparação com outras gomas. Possui alta solubilidade em água e suas soluções apresentam baixa viscosidade. É possível formar soluções com concentração de 50%, entretanto, acima dessa concentração, as dispersões são um pouco semelhantes ao gel (NORKAEW et al., 2019). Sua principal aplicação é como emulsificante em emulsões e encapsulamento de aromas na forma em pó. Também mostra excelente desempenho técnico como selador em drageados, emulsificantes em molhos de saladas, promove corpo em vinhos, e cada vez mais divulgado como fonte de fibra solúvel. Sua popularidade como material de parede deve-se ao conjunto de atributos favoráveis, como: capacidade de formação de filme, solubilidade em água, baixa viscosidade, boa retenção de componentes voláteis e propriedades emulsificantes (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018; TAHERI; JAFARI, 2019).

A *Xanthomonas campestris*, uma bactéria comumente encontrada nas folhas das plantas da família *Brassicaceae*, produz um polissacarídeo de alto peso molecular, denominado xantana. O polissacarídeo é conhecido comercialmente como goma xantana e apresenta uma infinidade de aplicações. É considerada um hidrocolóide com apelo custo/benefício e é usada em quase todas as formulações que contém alto teor de água. Possui boa solubilidade em água quente ou fria, produzindo dispersões de alta viscosidade devido ao seu alto peso molecular. Não é solúvel na maioria dos solventes orgânicos e é estável em temperaturas de 0°C a 100°C na faixa de pH de 1 a 13 (GUPTA; JADHAV; SINGHAL, 2015; DAMODARAN; PARKIN, 2017; TAHERI; JAFARI, 2019). A goma xantana foi o primeiro polissacarídeo da nova geração produzido por biotecnologia. Suas dispersões apresentam um comportamento pseudoplástico. Esta característica é importante para liberação do sabor, sensação bucal e estética do produto. A goma xantana atua como espessante, estabilizante e, em associação com outras gomas, proporciona textura lisa e cremosa a alimentos líquidos, com qualidade superior à das demais gomas e carboximetilcelulose (GUPTA; JADHAV; SINGHAL, 2015).

3.10 REFERÊNCIAS

ALTAF, Mohd Musheer; KHAN, Mohd Sajjad Ahmad; AHMAD, Iqbal. Diversity of Bioactive Compounds and Their Therapeutic Potential. **New Look To Phytochemistry**, [S.L.], p. 15-34, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-814619-4.00002-1>.

ALVAREZ-SUAREZ, José M.; GIAMPIERI, Francesca; GASPARRINI, Massimiliano; MAZZONI, Luca; SANTOS-BUELGA, Celestino; GONZÁLEZ-PARAMÁS, Ana M.; FORBES-HERNÁNDEZ, Tamara Y.; AFRIN, Sadia; PÁEZ-WATSON, Timothy; QUILES, José L.. The protective effect of acerola (*Malpighia emarginata*) against oxidative damage in human dermal fibroblasts through the improvement of antioxidant enzyme activity and mitochondrial functionality. **Food & Function**, v. 8, n. 9, p. 3250-3258, 2017. <http://dx.doi.org/10.1039/c7fo00859g>.

BAO, Cheng; JIANG, Ping; CHAI, Jingjing; JIANG, Yumeng; LI, Dan; BAO, Weier; LIU, Bingxue; LIU, Bin; NORDE, Willem; LI, Yuan. The delivery of sensitive food bioactive ingredients: absorption mechanisms, influencing factors, encapsulation techniques and evaluation models. **Food Research International**, v. 120, p. 130-140, jun. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.024>.

BARAUSKAITE, Dovile; GINEIKIENE, Justina; FENNIS, Bob M.; AURUSKEVICIENE, Vilte; YAMAGUCHI, Miwa; KONDO, Naoki. Eating healthy to impress: how conspicuous consumption, perceived self-control motivation, and descriptive normative influence determine functional food choices. **Appetite**, v. 131, p. 59-67, dez. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2018.08.015>.

BARBA, Francisco J.; MARIUTTI, Lilian R.B.; BRAGAGNOLO, Neura; MERCADANTE, Adriana Z.; BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V.; ORLIEN, Vibeke. Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing. **Trends In Food Science & Technology**, v. 67, p. 195-206, set. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.006>.

BARROS, Bárbara Rafaela da Silva; NASCIMENTO, Dayane Kelly Dias do; ARAËJO, Daniel Rodrigo Cavalcante de; BATISTA, Fabiane Rabelo da Costa; LIMA, Anastássia Mariáh Nunes de Oliveira; CRUZ FILHO, Iranildo José da; OLIVEIRA, Mércia Liane de; MELO, Cristiane Moutinho Lagos de. Phytochemical analysis, nutritional profile and immunostimulatory activity of aqueous extract from *Malpighia emarginata* DC leaves. **Biocatalysis And Agricultural Biotechnology**, v. 23, p. 355-369, otc. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101442>.

BARROSO, M. Fátima; CARVALHO, Ana P.; CORREIA, Manuela; RAMALHOSA, M.J.; DELERUE-MATOS, Cristina; GROSSO, Clara. Characterization of Bioactive Compounds in Flavored Waters and Fruit Juices. **Bottled And Packaged Water**, [S.L.], p. 311-366, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-815272-0.00012-x>.

BELWAL, Tarun; DEVKOTA, Hari Prasad; HASSAN, Hanaa A.; AHLUWALIA, Sudhir; RAMADAN, Mohamed Fawzy; MOCAN, Andrei; ATANASOV, Atanas G.. Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia* spp.) and its potential as functional food. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 74, p. 99-106, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.014>.

BONILLA-AHUMADA, Felipe de Jesús; KHANDUAL, Sanghamitra; LUGO-CERVANTES, Eugenia del Carmen. Microencapsulation of algal biomass (*Tetraselmis chuii*) by spray-drying using different encapsulation materials for better preservation of beta-carotene and antioxidant compounds. **Algal Research**, [S.L.], v. 36, p. 229-238, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.algal.2018.10.006>.

BRASIL. Resolução nº 19, de 30 de abril de 1999. Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 03 de maio de 1999, p. 1–3, 1999.

CHUYEN, Hoang V.; ROACH, Paul D.; GOLDING, John B.; PARKS, Sophie E.; NGUYEN, Minh H.. Encapsulation of carotenoid-rich oil from Gac peel: optimisation of the encapsulating process using a spray drier and the storage stability of encapsulated powder. **Powder Technology**, [S.L.], v. 344, p. 373-379, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.012>.

CUTTRISS, Abby J.; CAZZONELLI, Christopher I.; WURTZEL, Eleanore T.; POGSON, Barry J.. Carotenoids. **Advances In Botanical Research**, [S.L.], p. 1-36, 2011. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-386479-6.00005-6>.

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L.. **Fennema's Food Chemistry**. 5. ed. Boca Raton: Crc Press, 2017. 1123 p.

DANG, Xugang; YANG, Mao; SHAN, Zhihua; MANSOURI, Shahnaz; MAY, Bee K; CHEN, Xiaodong; CHEN, Hui; WOO, Meng Wai. On spray drying of oxidized corn starch cross-linked gelatin microcapsules for drug release. **Materials Science And Engineering: C**, [S.L.], v. 74, p. 493-500, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2016.12.047>.

DAUD, Z.A.M.; ISMAIL, A.; SARMADI, B.. Ascorbic Acid: physiology and health effects. **Encyclopedia Of Food And Health**, [S.L.], p. 266-274, 2016. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-384947-2.00045-3>.

DELIA, Soto-Castro; CHÁVEZ, Gutiérrez Miguel; FRANK, M. León-Martínez; ARACELI, Santiago-García Patricia; IRAIS, Aragón-Lucero; FRANCO, Antonio-Antonio. Spray drying microencapsulation of betalain rich extracts from *Escontria chiotilla* and *Stenocereus queretaroensis* fruits using cactus mucilage. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 272, p. 715-722, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.069>.

DEMBITSKY, Valery M.; POOVARODOM, Sumitra; LEONTOWICZ, Hanna; LEONTOWICZ, Maria; VEARASILP, Suchada; TRAKHTENBERG, Simon; GORINSTEIN, Shela. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: biological activity and active metabolites. **Food Research International**, [S.L.], v. 44, n. 7, p. 1671-1701, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.003>.

EGGERSDORFER, Manfred; WYSS, Adrian. Carotenoids in human nutrition and health. **Archives Of Biochemistry And Biophysics**, [S.L.], v. 652, p. 18-26, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.abb.2018.06.001>.

ENGELS, Christina; GRÄTER, Diana; ESQUIVEL, Patricia; JIMÉNEZ, Víctor M.; GÄNZLE, Michael G.; SCHIEBER, Andreas. Characterization of phenolic compounds

in jocote (*Spondias purpurea* L.) peels by ultra high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. **Food Research International**, [S.L.], v. 46, n. 2, p. 557-562, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.003>.

FERRÃO, Tassiane dos Santos; FREITAS, Sávio Ferreira de; MACHADO, Vitória Cláudia Oliveira; CRUZ, Braulio Crisanto Carvalho da. Farinha de resíduos de frutas na fabricação de iogurtes. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 759119399-7591194010, 5 nov. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9399>.

GÓMEZ, Belén; BARBA, Francisco J.; DOMÍNGUEZ, Rubén; PUTNIK, Predrag; KOVAČEVIĆ, Danijela Bursać; PATEIRO, Mirian; TOLDRÁ, Fidel; LORENZO, Jose M.. Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 82, p. 135-147, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.006>.

GOMES, Ana Cristina Alves; LIMA, Maiara da Costa; OLIVEIRA, Kataryne Árabe Rimá de; LIMA, Marcos dos Santos; MAGNANI, Marciane; CÂMARA, Marcos Paz Saraiva; SOUZA, Evandro Leite de. Coatings with chitosan and phenolic-rich extract from acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) or jabuticaba (*Plinia jaboticaba* (Vell.) Berg) processing by-product to control rot caused by *Lasiodiplodia* spp. in papaya (*Carica papaya* L.) fruit. **International Journal Of Food Microbiology**, [S.L.], v. 331, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108694>.

GUPTA, Pradeep Kumar; JADHAV, Swati B.; SINGHAL, Rekha S.. Development of shrikhand premix using microencapsulated rice bran oil as fat alternative and hydrocolloids as texture modifier. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 48, p. 220-227, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.028>.

HANAMURA, Takayuki; MAYAMA, Chisato; AOKI, Hitoshi; HIRAYAMA, Yasushi; SHIMIZU, Makoto. Antihyperglycemic Effect of Polyphenols from Acerola (*Malpighia emarginata*DC.) Fruit. **Bioscience, Biotechnology, And Biochemistry**, [S.L.], v. 70, n. 8, p. 1813-1820, 23 ago. 2006. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1271/bbb.50592>.

KAUR, Navdeep; SINGH, Devinder Pal. Deciphering the consumer behaviour facets of functional foods: A literature review. **Appetite**, [S.L.], v. 133, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2018.12.031>.

KESHANI, Samaneh; DAUD, Wan Ramli Wan; NOUROUZI, M.M.; NAMVAR, Farideh; GHASEMI, Mostafa. Spray drying: an overview on wall deposition, process and modeling. **Journal Of Food Engineering**, [S.L.], v. 146, p. 152-162, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.09.004>.

LABUSCHAGNE, Philip. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: a review. **Food Research International**, [S.L.], v. 107, p. 227-247, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.026>.

LEYVA-LÓPEZ, Roman; PALMA-RODRÍGUEZ, Heidi M.; LÓPEZ-TORRES, Adolfo; CAPATAZ-TAFUR, Jacqueline; BELLO-PÉREZ, Luis A.; VARGAS-TORRES, Apolonio. Use of enzymatically modified starch in the microencapsulation of ascorbic acid: microcapsule characterization, release behavior and in vitro digestion. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 96, p. 259-266, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.056>.

MAIA, Paola D.D.s.; BAIÃO, Diego dos Santos; SILVA, Victor Paulo F. da; MIGUEL, Marco A. Lemos; LACERDA, Ellen Cristina Quirino; CALADO, Verônica M. de Araújo; CARNEIRO, Carla da Silva; FINOTELLI, Priscilla V.; PIERUCCI, Anna Paola T.R.. Microencapsulation of a craft beer, nutritional composition, antioxidant stability, and drink acceptance. **Lwt**, [S.L.], v. 133, p. 110104-110108, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110104>.

MALDONADO-ASTUDILLO, Yanik Ixchel; ALIA-TEJACAL, Irán; NÑEZ-COLÍN, Carlos Alberto; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, Javier; PELAYO-ZALDÍVAR, Clara; LÓPEZ-MARTÍNEZ, Víctor; ANDRADE-RODRÍGUEZ, María; BAUTISTA-BAÑOS, Silvia; VALLE-GUADARRAMA, Salvador. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. **Scientia Horticulturae**, [S.L.], v. 174, p. 193-206, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.016>.

MARQUES, Tamara R.; CAETANO, Aline A.; SIMÃO, Anderson A.; CASTRO, Flávia Cíntia de O.; RAMOS, Vinicius de Oliveira; CORRÊA, Angelita D.. Metanolic extract of *Malpighia emarginata* bagasse: phenolic compounds and inhibitory potential on digestive enzymes. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 191-196, mar. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjp.2015.08.015>.

MARTÍNEZ, M.; PINTO, G. León de; GONZÁLEZ, M. Bozo de; HERRERA, J.; OULYADI, H.; GUILHAUDIS, L.. New structural features of *Spondias purpurea* gum exudate. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 22, n. 7, p. 1310-1314, out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2007.06.016>.

MISTRA, Souvav; PANDEY, Pooja; MISHRA, Hari Niwas, Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their health benefits and functional food product development: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [S.L.], Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.039>.

MOSER, Poliana; FERREIRA, Sungil; NICOLETTI, Vânia Regina. Buriti oil microencapsulation in chickpea protein-pectin matrix as affected by spray drying parameters. **Food And Bioproducts Processing**, [S.L.], v. 117, p. 183-193, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2019.07.009>.

MOURA, Carlos F.H.; OLIVEIRA, Luciana de S.; SOUZA, Kellina O. de; FRANCA, Lorena G. da; RIBEIRO, Laiza B.; SOUZA, Pahlevi A. de; MIRANDA, Maria R.A. de. Acerola— *Malpighia emarginata*. **Exotic Fruits**, [S.L.], p. 7-14, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00003-4>.

NAGARAJAN, Jayesree; RAMANAN, Ramakrishnan Nagasundara; RAGHUNANDAN, Mavinakere Eshwaraiah; GALANAKIS, Charis M.;

KRISHNAMURTHY, Nagendra Prasad. Carotenoids. **Nutraceutical And Functional Food Components**, [S.L.], p. 259-296, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-805257-0.00008-9>.

NASCIMENTO, Eidla M.M.; RODRIGUES, Fábio F.G.; COSTA, Wégila D.; TEIXEIRA, Raimundo N.P.; BOLIGON, Aline A.; SOUSA, Erlânio O.; RODRIGUES, Fabíola F.G.; COUTINHO, Henrique D.M.; COSTA, José Galberto M. da. HPLC and in vitro evaluation of antioxidant properties of fruit from *Malpighia glabra* (Malpighiaceae) at different stages of maturation. **Food And Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 119, p. 457-463, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2017.11.042>.

NORKAEW, Orranuch; THITISUT, Pasin; MAHATHEERANONT, Sugunya; PAWIN, Benjaporn; SOOKWONG, Phumon; YODPITAK, Sittidet; LUNGKAPHIN, Anusorn. Effect of wall materials on some physicochemical properties and release characteristics of encapsulated black rice anthocyanin microcapsules. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 294, p. 493-502, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.086>.

OMENA, Cristhiane Maria Bazílio; VALENTIM, Iara Barros; GUEDES, Glaucivane da S.; RABELO, Luiza A.; MANO, Camila Marinho; BECHARA, Etelvino José Henriques; SAWAYA, Alexandra C.H.F.; TREVISAN, Maria Teresa Salles; COSTA, João Gomes da; FERREIRA, Roberta Costa Silva. Antioxidant, anti-acetylcholinesterase and cytotoxic activities of ethanol extracts of peel, pulp and seeds of exotic Brazilian fruits. **Food Research International**, [S.L.], v. 49, n. 1, p. 334-344, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.010>.

OZKAN, Gulay; FRANCO, Paola; MARCO, Iolanda de; XIAO, Jianbo; CAPANOGLU, Esra. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 272, p. 494-506, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>.

PAINI, Marco; ALIAKBARIAN, Bahar; CASAZZA, Alessandro A.; LAGAZZO, Alberto; BOTTER, Rodolfo; PEREGO, Patrizia. Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: a study of operative parameters. **Lwt - Food Science And Technology**, [S.L.], v. 62, n. 1, p. 177-186, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.022>.

PATRA, Jayanta Kumar; DAS, Gitishree; LEE, Siyoung; KANG, Seok-Seong; SHIN, Han-Seung. Selected commercial plants: a review of extraction and isolation of bioactive compounds and their pharmacological market value. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 82, p. 89-109, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.001>.

PEREIRA, Heloiza Vieira Rodrigues; SARAIVA, Karina Peixoto; CARVALHO, Lucia Maria Jaeger; ANDRADE, Leonardo Rodrigues; PEDROSA, Cristiana; PIERUCCI, Anna Paola Trindade Rocha. Legumes seeds protein isolates in the production of ascorbic acid microparticles. **Food Research International**, [S.L.], v. 42, n. 1, p. 115-121, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2008.10.008>.

RAMFUL, Deena; BAHORUN, Theeshan; BOURDON, Emmanuel; TARNUS, Evelyne; ARUOMA, Okezie I. Bioactive phenolics and antioxidant propensity of

flavido extracts of Mauritian citrus fruits: potential prophylactic ingredients for functional foods application. **Toxicology**, [S.L.], v. 278, n. 1, p. 75-87, nov. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tox.2010.01.012>.

REHMAN, Abdur; AHMAD, Talha; AADIL, Rana Muhammad; SPOTTI, Maria Julia; BAKRY, Amr M.; KHAN, Imran Mahmood; ZHAO, Li; RIAZ, Tahreem; TONG, Qunyi. Pectin polymers as wall materials for the nano-encapsulation of bioactive compounds. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 90, p. 35-46, ago. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.015>.

REZENDE, Yara Rafaella Ribeiro Santos; NOGUEIRA, Juliete Pedreira; NARAIN, Narendra. 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**, [S.L.], v. 254, p. 281-291, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.026>.

RIBEIRO, Christine Maria Carneiro Maranhão; MAGLIANO, Lidia Cristina dos Santos Alencar; COSTA, Marcella Melo Assis de; BEZERRA, Taliana Kênia Alencar; SILVA, Flavio Luiz Honorato da; MACIEL, Maria Inês Sucupira. Optimization of the spray drying process conditions for acerola and seriguela juice mix. **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 48-55, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/fst.36217>.

RITZINGER, Rogério; RITZINGER, Cecília Helena Silvino Prata. Acerola. In: RODRIGUES, Maria Geralda Vilela; DIAS, Mário Sérgio Carvalho. **Cultivo tropical de fruteiras**. Belo Horizonte-MG: EPAMIG, 2011. Cap. 2. p. 17-25.

RODRIGUEZ-CONCEPCION, Manuel; AVALOS, Javier; BONET, M. Luisa; BORONAT, Albert; GOMEZ-GOMEZ, Lourdes; HORNERO-MENDEZ, Damaso; LIMON, M. Carmen; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, Antonio J.; OLMEDILLA-ALONSO, Begoña; PALOU, Andreu. A global perspective on carotenoids: metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. **Progress In Lipid Research**, [S.L.], v. 70, p. 62-93, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>.

ROSSO, V.V. de; MERCADANTE, A.Z.. Carotenoid composition of two Brazilian genotypes of acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) from two harvests. **Food Research International**, [S.L.], v. 38, n. 8-9, p. 1073-1077, out. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.023>.

ROSTAMABADI, Hadis; FALSAFI, Seid Reza; JAFARI, Seid Mahdi. Nanoencapsulation of carotenoids within lipid-based nanocarriers. **Journal Of Controlled Release**, [S.L.], v. 298, p. 38-67, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jconrel.2019.02.005>

SARABANDI, Khashayar; JAFARI, Seid Mahdi; MAHOONAK, Alireza Sadeghi; MOHAMMADI, Adeleh. Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 140, p. 59-68, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.133>

SHAHIDI, Fereidoon; AMBIGAIPALAN, Priyatharini. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects ∴ a review. **Journal Of Functional Foods**, [S.L.], v. 18, p. 820-897, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>.

SHISHIR, Mohammad Rezaul Islam; XIE, Lianghua; SUN, Chongde; ZHENG, Xiaodong; CHEN, Wei. Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 78, p. 34-60, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.018>.

SILVA, Francisca; TORRES, Lucicl eia; SILVA, Larissa; FIGUEIREDO, Raimundo; GARRUTI, Deborah; ARA JO, Tamara; DUARTE, Antoniella; BRITO, D ebora; RICARDO, N agila. Cashew gum and maltodextrin particles for green tea (*Camellia sinensis* var *A ssamica*) extract encapsulation. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 261, p. 169-175, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.028>.

SILVA, Renata V.; COSTA, S onia C.C.; BRANCO, Carla R.C.; BRANCO, Alexsandro. In vitro photoprotective activity of the *Spondias purpurea* L. peel crude extract and its incorporation in a pharmaceutical formulation. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 83, p. 509-514, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.077>.

SOUZA, Volnei Brito de; THOMAZINI, Marcelo; CHAVES, Isabela Elias; FERRO-FURTADO, Roselayne; FAVARO-TRINDADE, Carmen S ilvia. Microencapsulation by complex coacervation as a tool to protect bioactive compounds and to reduce astringency and strong flavor of vegetable extracts. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 98, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105244>.

TADESSE, Solomon Abebaw; EMIRE, Shimelis Admassu. Production and processing of antioxidant bioactive peptides: a driving force for the functional food market. **Heliyon**, [S.L.], v. 6, n. 8, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04765>.

TAHERI, Afsaneh; JAFARI, Seid Mahdi. Gum-based nanocarriers for the protection and delivery of food bioactive compounds. **Advances In Colloid And Interface Science**, [S.L.], v. 269, p. 277-295, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2019.04.009>

TURKIEWICZ, Igor Piotr; WOJDY O, Aneta; TKACZ, Karolina; LECH, Krzysztof; MICHALSKA-CIECHANOWSKA, Anna; NOWICKA, Paulina. The influence of different carrier agents and drying techniques on physical and chemical characterization of Japanese quince (*Chaenomeles japonica*) microencapsulation powder. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 323, p. 126830-126836, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126830>.

WANG, Erpei; DONG, Chongmei; PARK, Robert F.; ROBERTS, Thomas H.. Carotenoid pigments in rust fungi: extraction, separation, quantification and characterisation. **Fungal Biology Reviews**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 166-180, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbr.2018.02.002>.

WANI, Touseef Ahmed; MASOODI, Farooq Ahmad; WANI, Idrees Ahmed. The possible nomenclature of encapsulated products. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 234, p. 119-120, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.121>.

XU, Mingfeng; SHEN, Chenjia; ZHENG, Han; XU, Yunsheng; XUE, Changfeng; ZHU, Beiwei; HU, Jiangning. 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, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108915>.

YE, Qianyu; GEORGES, Nicolas; SELOMULYA, Cordelia. Microencapsulation of active ingredients in functional foods: from research stage to commercial food products. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 78, p. 167-179, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.025>.

YILMAZ-AKYUZ, Elvan; USTUN-AYTEKIN, Ozlem; BAYRAM, Banu; TUTAR, Yusuf. Nutrients, Bioactive Compounds, and Health Benefits of Functional and Medicinal Beverages. **Nutrients In Beverages**, [S.L.], p. 175-235, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-816842-4.00006-x>.

4. ARTIGO - EFICÁCIA DA MICROENPSULAÇÃO DE SUCO MISTO DE ACEROLA (*Malpighia emarginata* DC) E CIRIGUELA (*Spondias purpurea* L) EM DIFERENTES MATERIAIS DE PAREDE.

RESUMO

Devido às novas tendências do mercado por alimentos que podem afetar positivamente à saúde do indivíduo, muitos destes vêm sendo adicionados de compostos bioativos, entretanto esses compostos são muito suscetíveis à degradação oxidativa. Sendo assim, o objetivo da presente pesquisa foi verificar as melhores condições de microencapsulação por *spray dryer* da polpa mista de acerola e ciriguela (60:40; respectivamente - g/g), para preservação do ácido ascórbico (AA), carotenoides totais (CT), compostos fenólicos totais (CF) e atividade antioxidante (AO), além de avaliar a estabilidade desses compostos sob diferentes condições de temperatura durante o período de 30 dias. Cinco misturas de materiais de parede foram elaboradas utilizando a goma xantana, maltodextrina e goma arábica em diferentes proporções: MX3: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente – g/g); MX1: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente – g/g); AX3: mistura de goma arábica e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente – g/g); AX1: mistura de goma arábica e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente – g/g) e MAX: mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana (49,9:49,9:0,2 respectivamente – g/g). Todas as microcápsulas produzidas com as diferentes misturas apresentaram bom percentual de retenção de AA. As microcápsulas com maior concentração de goma xantana (AX3 e MX3) apresentaram melhor retenção de CT, enquanto que as produzidas com menor concentração de goma xantana (AX1 e MX1) apresentaram melhor retenção de CF. As microcápsulas produzidas com as misturas MX1 e MAX apresentaram melhor AO nos testes DPPH• e FRAP. Levando em consideração custo-benefício, as microcápsulas produzidas com a mistura MX1 foram submetidas ao estudo de estabilidade. Observou-se que o conteúdo de AA, CF e CT, e AO foram melhor preservados quando armazenados a 5 °C por 30 dias. As microcápsulas elaboradas com a mistura MX1 são economicamente viáveis uma vez que utilizam majoritariamente um material de parede de baixo custo e fácil obtenção, além de preservar os compostos bioativos estudados, por um mês, facilitando sua possível comercialização.

Palavras – chaves: *spray dryer*; compostos bioativos; estabilidade; atividade antioxidante

ABSTRACT

Due to the new market trends for foods that can positively affect the health of the individual, many foods have been added with bioactive compounds, however these compounds are very susceptible to oxidative degradation. Then, the objective of the present research was to verify the best conditions of microencapsulation by spray dryer of mixed pulp of acerola and ciriguela (60:40; respectively - g / g), for preservation of ascorbic acid (AA), total carotenoids (TC), total phenolic compounds (PC) and antioxidant activity (AnA), in addition to evaluating the stability of these compounds under different temperature conditions during the period of 30 days. Five mixtures of wall materials were made using xanthan gum, maltodextrin and arabic gum in different proportions: MX3: mixture of maltodextrin and xanthan gum (99.7: 0.3 respectively - g / g); MX1: mixture of maltodextrin and xanthan gum (99.9: 0.1 respectively - g / g); AX3: mixture of gum arabic and xanthan gum (99.7: 0.3 respectively - g / g); AX1: mixture of gum arabic and xanthan gum (99.9: 0.1 respectively - g / g) and MAX: mixture of maltodextrin, gum arabic and xanthan gum (49.9: 49.9: 0.2 respectively - g / g). All microcapsules produced by the different mixtures showed a good percentage of AA retention. The microcapsules with a higher concentration of xanthan gum (AX3 and MX3) showed better retention of TC, while the microcapsules produced with a lower concentration of xanthan gum (AX1 and MX1) obtained better retention of PC. The microcapsules produced with the MX1 and MAX mixes showed better AnA in the DPPH • and FRAP tests. Due to the cost-benefit, the microcapsules produced with the MX1 mixtures were submitted to the stability study. It was observed that for a period of 30 days of storage, concentration of AA, PC, TC and AnA were better preserved under the temperature of 5 ° C. The microcapsules made by the MX1 mixture are economically viable since they mostly use a low-cost and easy-to-obtain wall material, in addition to preserving the bioactive compounds under study for a month, facilitating their possible commercialization.

Keywords: Spray dryer; Bioactive compounds; Stability; Antioxidant activity

4.1 INTRODUÇÃO

As tendências na indústria de alimentos mostram que os alimentos funcionais têm se tornado cada vez mais populares em todo o mundo e estão fazendo parte da dieta diária do ser humano. As empresas alimentícias estão produzindo novos produtos enriquecidos com compostos bioativos, como vitaminas, com o objetivo de promover a saúde dos consumidores. Este crescimento não é conduzido apenas pela inovação na indústria de alimentos, mas também pela mudança de estilo de vida e o aumento da consciência do consumidor em relação à sua própria saúde e aos benefícios nutricionais dos alimentos. Dado que a saúde está se tornando um valor pessoal e social cada vez mais importante, não é surpreendente que os consumidores começaram a prestar mais atenção aos benefícios de uma boa alimentação (BARAUSKAITE et al., 2018).

A acerola e a ciriguela são ricas fontes de compostos bioativos, como vitamina C, compostos fenólicos e carotenoides, possuindo potencial para serem utilizadas na produção de alimentos funcionais. A acerola (*Malpighia emarginata* DC) é uma fruta bem conhecida em razão de seu alto teor de ácido ascórbico, que pode chegar à 1.678 mg/100g (Belwal et al., 2018), compostos fenólicos, incluindo derivados do ácido benzóico, fenilpropanóides, flavonóides, antocianinas e carotenoides. Podem ser consumidos tanto *in natura* como processados, sob a forma de sucos, sorvetes, geleias, xaropes, licores, doces em calda e cápsulas de vitamina C (MOURA et al., 2018; NASCIMENTO et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019). A ciriguela caracteriza-se por ser uma drupa de cor vermelha ou laranja quando maduro, que possui polpa de aroma e sabor agradáveis. Ela é rica em micronutrientes como cálcio, fósforo, ferro, pró-vitamina A, vitaminas do complexo B e vitamina C. Além disso, podem ser encontrados na polpa, casca e sementes da ciriguela substâncias como quercetina, ácidos hidroxinâmicos, ácido elágico, ácido clorogênico, protocatequinas, flavonoides, ácido gálico, ácido vanílico, ácido p-cumárico e ácido ferúlico (SILVA et al., 2016). A elaboração de um suco misto de acerola e seriguela tem por finalidade a obtenção de um produto que apresente um bom potencial econômico, uma vez que estas frutas são amplamente consumidas e comercializadas no nordeste brasileiro, além de se ter um suco rico em vitamina C, compostos fenólicos e carotenoides.

Estes compostos são muito suscetíveis à degradação sobretudo quando expostos à luz, umidade, calor e oxigênio. Uma das técnicas mais utilizadas atualmente para proteger estes compostos é a microencapsulação por *spray dryer*. A microencapsulação consiste no revestimento de sólidos, líquidos ou materiais gasosos, com um filme contínuo, para produzir cápsulas de tamanho micrométrico (WANI; MASOODI; WANI, 2017; OZKAN et al., 2019). Os filmes utilizados para o revestimento destas microcápsulas também são conhecidos como materiais de parede. A seleção do material de parede apropriado é um fator de grande importância para a microencapsulação dos compostos bioativos. Uma vez que esse material deve proteger o núcleo ou substância ativa da sua degradação, deve possuir a resistência mecânica adequada, ser compatível com o alimento onde vai ser aplicado, permitir a liberação controlada dos compostos bioativos e possuir propriedades térmicas compatíveis com as do produto em que será adicionado (DELIA et al., 2018; LABUSCHAGNE, 2018; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018).

A maltodextrina é um material de parede amplamente utilizado, sendo uma alternativa de baixo custo, possui boa capacidade de formar sólidos amorfos, melhora a solubilidade aquosa e permite baixas viscosidades em altas concentrações. Assim como a maltodextrina, a goma arábica é utilizada como material de parede em virtude do conjunto de atributos favoráveis tais como: capacidade de formação de filme, solubilidade em água, baixa viscosidade, boa retenção de componentes voláteis e propriedades emulsificantes (LABUSCHAGNE, 2018; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018). Há poucos estudos sobre a utilização da goma xantana como material de parede para microencapsulação em *spray dryer*, por ser um forte agente espessante. Entretanto quando utilizado em combinação com outras gomas pode proporcionar uma melhor retenção de compostos na matriz polimérica (LABUSCHAGNE, 2018).

A combinação dos diferentes agentes encapsulantes são de especial interesse comercial, pois sugerem a possibilidade de novas funcionalidades, por um lado, e o uso de níveis reduzidos de insumos, por outro. Sendo assim o objetivo do presente trabalho foi avaliar a combinação de goma xantana, maltodextrina e goma arábica na preservação da vitamina C, dos compostos fenólicos e dos carotenoides presentes no suco misto de acerola e ciriguela durante o processo de microencapsulação por *spray dryer* e a estabilidade desses compostos nas microcápsulas, sob diferentes condições de temperatura, como também sua atividade antioxidante, de forma a oferecer um produto rico em compostos bioativos com um bom custo benefício.

4.2 MATERIAIS E METÓDOS

4.2.1 Preparo da amostra.

As frutas foram adquiridas no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA - PE) e levadas para o Laboratório, onde foram descartadas aquelas impróprias, podres ou que apresentassem injúrias, início de pontos de podridão, assim como pedaços de folhas e caules. Em seguida, as frutas foram lavadas em água tratada para retirada de quaisquer sujidades e sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 200 ppm por imersão durante 15 min. Para o despulpamento foi utilizado uma despulpadora da marca Bonina Compacta (modelo NB10; Itabauna/BA; Brasil). As polpas foram embaladas em sacos de polietileno de baixa densidade, congeladas e armazenadas a -20 °C até o momento de sua utilização. Para os experimentos, as polpas foram misturadas na proporção de 60% de acerola e 40% de ciriguela (g/g), segundo a metodologia descrita por Ribeiro et al. (2018).

4.2.2 Caracterização físico-química das polpas *in natura*.

As polpas foram caracterizadas quanto a umidade, sólidos solúveis (SS), pH, acidez titulável (AT), proteína, lipídeos e cinzas de acordo com metodologias descritas pela *Association of Official Methods Analytical Chemists* (AOAC, 2016); Os teores de carboidratos totais foram calculados por diferença e expressos em g/100 g.

4.2.3 Colorimetria das polpas *in natura*

A avaliação da cor foi determinada em Colorímetro manual Color Reader (CR400/410, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan) em sistema CIELab, onde L* refere-se à luminosidade (0= preto e 100= branco); a* = intensidade da cor vermelha a verde e b* = intensidade da cor amarela a azul. Foram realizadas cinco leituras sobre a superfície das polpas. O colorímetro foi previamente calibrado com um padrão branco antes de cada análise. O equipamento possui como fonte luminosa uma lâmpada de xenônio, iluminante C (Y=92.78; x=0.3139; y=0.3200). As leituras foram realizadas com ângulo de observação de 10° e área de medição de 8 mm de diâmetro.

4.2.4 Ácido ascórbico das polpas *in natura*

O teor de ácido ascórbico (AA) foi determinado por método titulométrico, utilizando 2,6 diclorofenol-indofenol (AOAC, 2016).

4.2.5 Carotenoides totais das polpas *in natura*

A determinação do teor de carotenóides totais foi realizada segundo metodologia descrita por Rodriguez-Amaya (1999) e sua quantificação pelo espectro de absorção registrado no comprimento de onda de 450 nm, em espectrofotômetro (Shumadzu UV-1650PC), considerando a expressão matemática descrita por Gross (2004) e o coeficiente de absorção de 2500. Os resultados foram expressos em μg equivalente em β -caroteno por g de amostra.

4.2.6 Compostos fenólicos das polpas *in natura*

Os compostos fenólicos totais foram determinados por método espectrofotométrico, sendo a absorbância registrada em espectrofotômetro (Shumadzu UV-1650PC) a 725 nm, após adição de reagente de Follin Ciocalteau e água como solvente, segundo metodologia descrita por Wettasinghe e Shahidi (1999). O teor de fenólicos totais foi determinado por interpolação da absorbância das amostras em curva de calibração construída com ácido gálico e os resultados expressos em mg equivalente ácido gálico por 100 g amostra

4.2.7 Obtenção das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) por spray dryer

Uma solução foi preparada com 30% de sólidos totais, dos quais 21% relativo à massa do material de parede e os demais 9%, da polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) para ser atomizada no *spray dryer*. Os materiais de parede utilizados foram maltodextrina 10DE, goma arábica e goma xantana. Esta última ainda não está sendo muito utilizada como material de parede para a microencapsulação em *spray dryer*, poucos são os trabalhos que mencionam. Sendo assim uma inovação nesta pesquisa. Sua utilização torna a solução mais espessa, o que pode inviabilizar a microencapsulação em *spray Dryer* caso seja utilizada em concentrações inadequadas. Em virtude disso vários testes foram realizados para encontrar condições que viabilizassem a microencapsulação do suco misto de acerola e ciriguela por *spray dryer*, utilizando maltodextrina, goma arábica e goma xantana como materiais de parede.

Observou-se que a solução não podia ser adequadamente seca com altas concentrações de goma xantana, baixas temperaturas de entrada ou altas velocidades de taxa de alimentação.

Com base no resultado desses testes foram utilizadas as seguintes misturas de matéria de parede para a microencapsulação do suco misto de acerola e ciriguela (60:40 respectivamente - g/g). mistura de maltodextrina e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente - g/g) denominada de MX3; mistura de maltodextrina e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente - g/g) denominada de MX1; mistura de goma arábica e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente - g/g) denominada de AX3; mistura de goma arábica e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente - g/g) denominada de AX1 e a mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana (49,9:49,9:0,2 respectivamente - g/g) denominada de MAX . A microencapsulação por *spray dryer* foi realizada em um *mini-spray dryer* – LM, modelo MSD 1.0 (LABMAQ do Brasil LTDA - Ribeirão Preto, S.P., Brasil). A produção das microcápsulas foi realizada nas seguintes condições de processamento: vazão de líquido 0,6 L/h, bico atomizador com diâmetro de 1,2 mm, fluxo de ar 30 m³/h, pressão de ar 0,6 bar e temperatura de entrada do ar de secagem de 140 °C (RIBEIRO et al., 2018). Após a secagem, os pós foram armazenados em potes de vidro hermeticamente fechados e armazenados a temperatura de -20 °C até o momento das determinações analíticas.

4.2.8 Quantificação do ácido ascórbico, carotenoides totais, compostos fenólicos totais presentes nas microcápsulas de acerola e ciriguela (60:40 respectivamente - g/g).

Os compostos bioativos das microcápsulas, ácido ascórbico, carotenoides totais e compostos fenólicos totais, foram quantificados segundo as metodologias já descrita anteriormente nos itens 4.2.4, 4.2.5 e 4.2.6 para a quantificação desses compostos na polpa *in natura*.

4.2.9 Extrato utilizado nos ensaios de compostos fenólicos e métodos de atividade antioxidante das microcápsulas de acerola e ciriguela (60:40 respectivamente - g/g).

Para determinação dos compostos fenólicos e atividade antioxidante das microcápsulas foi preparado um extrato, onde 10 mg do microencapsulado foram dispersos em 10 mL da solução etanol: ácido acético: água destilada (50:8:42 v/v). A

mistura foi agitada em vortex por 1 min, e filtrada em papel filtro qualitativo com gramatura de 80g/m² (SAÉNZs et al., 2009).

4.2.10 Método de sequestro do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH•)

A capacidade de sequestrar o radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazina (DPPH•) foi avaliada segundo o método descrito por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), modificado por Sánchez-Moreno, Larrauri e Saura-Calixto (1998). Uma alíquota do extrato (0,1 mL) foi adicionada à solução de DPPH• em metanol (0,1 M) e a absorbância registrada em espectrofotômetro (Shumadzu UV-1650PC) a 515 nm até a reação atingir o platô. A capacidade de sequestrar o radical DPPH• – expressa em percentual, foi calculada em relação ao controle (sem antioxidante), segundo a expressão abaixo:

$$\% \text{ sequestro} = \frac{\text{Absorbância do controle} - \text{Absorbância da amostra}}{\text{Absorbância do controle}} \times 100$$

4.2.11 Capacidade redutor do íon ferro III (*Ferric reducing ability of plasma - FRAP*)

O ensaio do poder antioxidante redutor férrico (FRAP) foi conduzido de acordo com o método relatado por Rufino et al. (2006). A absorbância foi medida a 595 nm, usando um espectrofotômetro (Shimadzu UV-1650PC, Kioto, Japão). Para determinação da atividade antioxidante foi plotada uma curva padrão de sulfato ferroso (500 - 2000 µM/mL). Foram realizadas três diluições (1:30; 1:40; 1:50), em triplicata, do extrato obtido no item 1.2.5. Foram transferidas alíquotas de 90 µL de cada diluição do extrato para tubos de ensaio, com 270 µL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP, homogeneizado em vortex e posto em banho-maria a 37 °C por 30min. Em seguida foi realizada a leitura com o reagente FRAP como branco para calibrar o espectrofotômetro. A partir das absorbâncias obtidas das diferentes diluições dos extratos, foi plotada uma curva com a absorbância no eixo Y e a diluição (mg/L) no eixo X. Após a determinação da equação da reta a atividade antioxidante foi calculada ao substituir na equação a absorbância equivalente a 1.000 µM do padrão sulfato ferroso. O resultado obtido foi expresso em µM sulfato ferroso/g de amostra.

4.2.12 Estudo de estabilidade do ácido ascórbico, carotenoides totais, compostos fenólicos totais e da manutenção da atividade antioxidante nas microcápsulas de acerola e ciriguela (60:40 respectivamente - g/g).

A estabilidade do ácido ascórbico, carotenoides totais, compostos fenólicos totais e a manutenção da atividade antioxidante pelo teste de inibição do radical DPPH• foram avaliadas em duas temperaturas (4°C e 30°C). As microcápsulas foram armazenadas em pontes de vidros (40 mL) protegidos da luz. No intervalo de 0, 7, 15 e 30 dias, as amostras foram retiradas para quantificação do ácido ascórbico, carotenoides totais, compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante pelo teste de inibição do radical DPPH•.

4.2.13 Análise Estatística

As análises realizadas nas polpas *in natura* (umidade; sólidos solúveis (SS); pH; acidez titulável (AT); proteína; lipídeos; cinza) foram feitas em triplicata e os dados tratados estatisticamente pelo método de análise de variância (ANOVA), submetidos ao teste de Tukey e as diferenças foram consideradas significativas ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$). As análises realizadas nas microcápsulas produzidas pelas diferentes misturas foram feitas em triplicata e os dados tratados estatisticamente pelo método de análise de variância (ANOVA), submetidos ao teste de Duncan. As diferenças foram consideradas significativas ao nível de 95% de probabilidade ($p < 0,05$).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Caracterização físico-química da polpa de acerola, polpa de ciriguela e polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g)

Os resultados da análise físico-química, da polpa de acerola, ciriguela e da polpa mista (60% acerola e 40% ciriguela – g/g) estão descritos na Tabela 5. Os parâmetros de acidez titulável e sólidos solúveis da polpa de acerola estão dentro dos padrões de identidade e qualidade (PIQ) previstos na legislação (BRASIL, 2000). Porém não existe PIQ para a polpa de ciriguela, no entanto os valores de acidez titulável e sólidos solúveis, bem como o teor de carboidratos, lipídios, proteínas cinzas e umidade foram próximos aos relatados por Maldonado-Astudillo et al. (2014) e Ribeiro et al. (2018). Segundo Belwal et al. (2018) o teor de umidade da acerola madura excede os 90%, corroborando com o valor encontrado na Tabela 5. O teor de proteínas da acerola foi abaixo do relatado

por Sobrinho et al. (2014) e Silva et al. (2018) que encontraram valores entre 6,11 (g/100g) e 8,70 (g/100g). Paula et al. (2017) determinou o teor de lipídeos na acerola. Encontrou teores de lipídeos que variaram de 0,27 (g/100g) à 1,23 (g/100g), o valor obtido no presente trabalho encontrasse dessa faixa.

Tabela 5 - Caracterização físico-química da polpa de acerola, polpa de ciriguela e polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g)

Parâmetro	Acerola	Ciriguela	Polpa Mista
Umidade (g/100 g)	92,71 ± 0,46 ^a	78,84 ± 0,32 ^b	87,55 ± 0,15 ^a
Carboidratos (g/100 g)	4,30 ± 0,18 ^c	18,46 ± 0,31 ^a	9,92 ± 0,08 ^b
Lipídeos (g/100g)	0,32 ± 0,02 ^a	0,43 ± 0,02 ^b	0,33 ± 0,08 ^a
Proteínas (g/100g)	1,85 ± 0,20 ^a	1,57 ± 0,12 ^a	1,23 ± 0,07 ^a
Cinzas (g/100g)	0,82 ± 0,02 ^b	0,77 ± 0,01 ^a	0,80 ± 0,01 ^b
Sólidos solúveis (^o Brix)	5,23 ± 0,05 ^c	18,16 ± 0,02 ^a	10,00 ± 0,10 ^b
Acidez titulável (%)	13,20 ± 0,30 ^a	5,63 ± 0,17 ^b	4,7 ± 0,17 ^b
Cor (L)	45,19 ± 0,62 ^a	60,29 ± 0,12 ^b	40,67 ± 0,71 ^a
Cor (a*)	27,96 ± 0,13 ^a	14,02 ± 0,24 ^b	26,80 ± 0,47 ^a
Cor (b*)	12,95 ± 0,28 ^a	25,80 ± 0,24 ^b	13,46 ± 0,72 ^a

Os valores são expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A polpa mista de acerola e ciriguela é um produto estudado inicialmente por Ribeiro et al. (2018) e não há, até o momento, outras referências para a comparação dos valores encontrados na Tabela 5. Os valores de proteínas, lipídios, cinzas e carboidratos, referentes à polpa mista são similares aos encontrados por Ribeiro et al. (2018). Com relação aos sólidos solúveis (Tabela 5) houve diferença estatística entre a polpa mista e as polpas de acerola e ciriguela. A polpa mista apresentou valores de sólidos solúveis maiores que os encontrados na acerola e menores que os encontrados na ciriguela. Este valor pode ser justificado pela maior umidade presente na acerola e seu baixo conteúdo de sólidos solúveis quando comparados com os valores encontrados na ciriguela (Tabela 5). Sua adição à ciriguela aumenta o volume de água na solução final provocando a diluição dos sólidos solúveis presentes na ciriguela. A acidez titulável da polpa mista foi significativamente menor que ao encontrado na polpa de acerola. Os parâmetros colorimétricos (L* a* b*) encontrados indicam similaridade entre as cores da acerola e da polpa mista, tendo em vista que 60% da composição da polpa mista é acerola.

4.3.2 Determinação de ácido ascórbico, carotenoides totais e compostos fenólicos totais da polpa de acerola, ciriguela e polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g)

O teor de ácido ascórbico para a polpa de acerola foi de 1.578,34 mg/100g (Tabela 6). O teor encontrado está dentro da faixa indicada por Belwal et al. (2018), que varia entre 750 mg/100g e 1.678 mg/100g. Eles estudaram dois genótipos de acerola (*Malpighia glabra* e *Malpighia emarginata*). A polpa de ciriguela apresentou 20,45 mg/100g de ácido ascórbico. Segundo Maldonado-Astudillo et al. (2014) o teor de ácido ascórbico em ciriguela pode variar entre 7,36 e 88,1 mg/100g.

Tabela 6 - Teores de ácido ascórbico, carotenoides e compostos fenólicos totais em polpa de acerola, polpa de ciriguela e polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g)

Compostos Bioativos	Acerola	Ciriguela	Polpa Mista
Ácido Ascórbico (mg/100g)	1.578,34 ± 32,78 ^a	20,45 ± 0,75 ^c	914,78 ± 26,65 ^b
Carotenoides Totais (µg/g)	10,09 ± 0,04 ^c	18,12 ± 0,02 ^a	13,51 ± 0,04 ^b
Compostos Fenólicos (mg EAG/100g)	4.302,36 ± 11,44 ^a	269,09 ± 13,63 ^c	2.817,57 ± 27,39 ^b

EAG – equivalente de ácido gálico. Os valores são expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Outra importante classe de compostos bioativos presentes na acerola são os carotenoides. Seus teores podem variar na faixa entre 3,71 e 18,81 µg/g (Belwal et al., 2018). A polpa de acerola apresentou teor de carotenoides de 10,09 µg/g e a polpa de ciriguela 18,01 µg/g. Em relação aos compostos fenólicos, a polpa de acerola apresentou um elevado teor (4.302,36 mg EAG/100g), bem acima do encontrado por outros autores, que variaram entre 1.000,73 mg GAE/100g à 2.159,46 mg GAE/100g (ALVAREZ-SUAREZ et al., 2017; SILVA et al., 2017; REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018). Os valores

encontrados de fenólicos totais para a polpa de ciriguela (269,09 mg EAG/100g) foram abaixo do relatado por Costa e Mercadante (2018). Em seu estudo o conteúdo de fenólicos totais, para 11 diferentes genótipos de ciriguela, variou de 351,30 mg GAE/100g à 862,32 mg GAE/100g. A adição da polpa de acerola à polpa de ciriguela foi exatamente com a finalidade de elaborar um novo produto com sabor agradável e rico em compostos bioativos. A polpa mista de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa – g/g) apresenta maior teor de carotenoides (13,51 µg/g), de ácido ascórbico e compostos fenólicos (914,78 mg/100g, 2.817,57 mg EAG/100g, respectivamente), que a polpa de ciriguela. Portanto a adição da polpa de acerola à polpa de ciriguela demonstra um enriquecimento.

4.3.3 Caracterização das microcápsulas obtidas pelas cinco diferentes misturas de material de parede em estudo.

A atividade de água é uma medida termodinâmica da energia da água em um produto e está diretamente relacionada à susceptibilidade da ação microbiana nos alimentos (DAMODARAN; PARKIN, 2017). Na Tabela 7 estão presentes os valores de atividade de água e a umidade das microcápsulas de suco misto de acerola e ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g). Apesar da diferença estatística entre elas, todas as misturas de material de parede utilizadas resultaram em microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela com baixa umidade e atividade de água. O alimento pode ser considerado microbiologicamente estável, se a atividade de água estiver abaixo de 0,6 (NEGRÃO-MURAKAMI et al., 2017), portanto pode-se afirmar que os valores encontrados foram satisfatórios.

Tabela 7 - Atividade de água e umidade das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) obtidas por spray dryer

Mistura dos materiais de parede.	Atividade de água	Umidade (g/100g)
MX3	0,188± 0,013 ^c	2,42 ± 0,25 ^c
MX1	0,167± 0,021 ^c	2,47 ± 0,22 ^c
AX3	0,257 ± 0,016 ^a	4,05 ± 0,18 ^a
AX1	0,209 ± 0,005 ^b	3,24 ± 0,12 ^b
MAX	0,211 ± 0,10 ^b	3,07 ± 0,16 ^b

MX3: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa – g/g);
 MX1: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa – g/g);
 AX3: mistura de goma arábica e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa – g/g);
 AX1: mistura de goma arábica e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa – g/g);
 MAX: mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana (49,9:49,9:0,2 respectivamente, com relação a massa – g/g). Os valores são expressos como média \pm desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Entre as cinco misturas de material de parede utilizadas para a microencapsulação do suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) obteve-se percentuais de retenção de ácido ascórbico que variaram entre 52,05% e 68,37% (Tabela 8). A mistura MAX mostrou melhor retenção de ácido ascórbico em relação às demais misturas. A mistura AX3 exibiu baixa retenção deste composto quando comparada com as outras misturas. Ao analisar a Tabela 8, observa-se que a utilização de uma concentração mais elevada de goma xantana não beneficiou a retenção do ácido ascórbico. A goma xantana possui como principal característica formar soluções de elevada viscosidade em baixas concentrações, sua adição aumenta a viscosidade da solução. O aumento da viscosidade pode prejudicar a formação de gotículas no atomizador, expondo-as mais tempo às elevadas temperaturas da câmara de secagem, afetando os compostos termosensíveis (XU et al., 2020).

Tabela 8 - Percentual de retenção do ácido ascórbico nas microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) obtidas por *spray dryer*

Misturas de material de parede.	Percentual de retenção do ácido ascórbico nas microcápsulas.
MX3	56,55 \pm 2,28 ^{bc}
MX1	59,97 \pm 0,48 ^b
AX3	52,05 \pm 1,68 ^c
AX1	60,77 \pm 2,64 ^b
MAX	68,37 \pm 1,19 ^a

MX3: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa – g/g);
 MX1: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa – g/g);
 AX3: mistura de goma arábica e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa – g/g);
 AX1: mistura de goma arábica e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa – g/g);
 MAX: mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana (49,9:49,9:0,2 respectivamente, com relação a massa – g/g). Os valores são expressos como média \pm desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Os percentuais de retenção de AA em todas as microcápsulas produzidas com as cinco diferentes misturas de material de parede foram satisfatórios, uma vez que a ingestão diária recomendada (IDR) para ácido ascórbico segundo a ANVISA, é de 45 mg/d para um adulto. Tendo isso em vista, o consumo de 12,37g de microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela obtidas por qualquer uma das cinco misturas de material de parede fornecerá 100% do IDR para um adulto e portanto esses produtos podem ser considerados nutritivos, uma vez que são uma boa fonte de vitamina C. Devido ao alto custo das gomas empregadas na microencapsulação da mistura MAX se torna preferível a utilização da mistura MX1, tendo em vista que reteve uma percentagem de ácido ascórbico suficiente às necessidades diárias de um adulto, além de apresentar um custo de produção menor que os demais tratamentos.

Pesquisadores como Rezende, Nogueira e Narain (2018) também determinaram o percentual de retenção do ácido ascórbico após o processo de microencapsulação por *spray dryer*. Eles microencapsularam polpa de acerola em *spray dryer* utilizando goma arábica e/ou maltodextrina como materiais de parede. Os valores de retenção obtidos variaram entre 60% e 80%, onde a goma arábica se mostrou o melhor material de parede para a retenção desse composto. Diferente do obtido no presente estudo, a mistura MAX (mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana - 49,9:49,9:0,2, respectivamente, com relação a massa - g/g) se mostrou mais eficiente. Leyva-López et al. (2019) utilizaram amido modificado enzimaticamente e goma arábica como materiais de parede para microencapsular ácido ascórbico por *spray dryer*. A goma arábica foi utilizada como controle e em combinação com o amido modificado enzimaticamente. Eles relataram retenção em torno de 65% para as microcápsulas obtidas utilizando goma arábica como material de parede. Valor próximo ao encontrado no presente estudo, tendo em vista que a mistura formada majoritariamente por goma arábica teve retenção de 60,77%. Pereira et al. (2019) utilizaram isolados de proteína de sementes de leguminosa e maltodextrina na produção de microcápsulas de ácido ascórbico por *spray dryer*. A maltodextrina foi utilizada como controle e em combinação com os isolados de proteína de sementes de leguminosa. Com a utilização da maltodextrina foi alcançado um valor médio de 50% de retenção de ácido ascórbico, retenção próxima ao obtido no presente estudo.

Observa-se na Tabela 9 que o percentual de retenção dos carotenoides variou entre 5,62% e 28,60%. Esses resultados estão abaixo do percentual de retenção desejado para

viabilizar sua produção a nível industrial. A eficiência da microencapsulação de carotenoides por *spray dryer* e sua estabilidade dependem de muitos fatores. Dois deles são o material de parede e a temperatura de encapsulamento. Os materiais de parede maltodextrina e goma arábica são muito utilizados para encapsular carotenoides (LABUSCHAGNE, 2018).

As misturas MX3 e AX3 exibiram resultados melhores que as demais misturas (Tabela 9). Diferentemente do que ocorreu com a retenção do ácido ascórbico, as misturas com concentrações maiores de goma xantana foram mais eficientes na preservação dos carotenoides totais durante o processo de microencapsulação do suco misto de acerola e ciriguela por *spray dryer*. A goma xantana é um bom agente estabilizante, uma vez que as moléculas de carotenoides são hidrofóbicas, sua adição ao sistema permite a homogeneidade da mistura, impedindo a separação das diferentes substâncias que a compõem. Quando combinada com a maltodextrina e/ou goma arábica resulta em uma melhor retenção dos carotenoides nas microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g).

Tabela 9 - Percentual de retenção dos carotenoides totais nas microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente – g/g) obtidas por *spray dryer*

Mistura dos materiais de parede.	Percentual de retenção de carotenoides nas microcápsulas.
MX3	28,60 ± 2,62 ^a
MX1	14,33 ± 0,41 ^b
AX3	27,06 ± 0,30 ^a
AX1	8,40 ± 0,40 ^c
MAX	5,62 ± 0,20 ^d

MX3: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa); MX1: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa); AX3: mistura de goma arábica e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa); AX1: mistura de goma arábica e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa); MAX: mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana (49,9:49,9:0,2 respectivamente, com relação a massa). Os valores são expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Burgos-Díaz et al. (2020) produziram uma emulsão com oleorresina de astaxantina que foi submetida ao processo de microencapsulação por *spray dryer*

utilizando proteínas de tremoço e maltodextrina (em diferentes proporções) como materiais de parede. Eles observaram que a adição de proteínas de tremoço na maltodextrina melhorou a capacidade de retenção de astaxantina, apresentando um rendimento máximo de 90%. Rajabi et al. (2015) obtiveram 40% de retenção de carotenoides com a melhor combinação de material de parede, em seu estudo composto por maltodextrina, goma arábica e gelatina. Retenção acima do encontrado no presente estudo. Alguns autores testaram temperaturas de ar de entrada entre 120 °C e 200 °C (ROMO-HUALDE et al., 2012; ROCHA et al., 2012; DE MARCO et al., 2013; AHMED et al., 2015; LIM E ROOS, 2016; LIM et al., 2016). Nesses estudos foi relatado que temperaturas de 180-185°C se mostraram mais adequadas para retenção dos carotenoides durante a microencapsulação por *spray dryer*. No presente trabalho foi utilizada a temperatura de 140°C, temperatura abaixo da considerada ideal (pelos autores citados). Por consequência o percentual de retenção encontrado para os carotenoides totais foi abaixo do desejável com todas as misturas utilizadas.

De maneira semelhante ao ocorrido com a retenção do ácido ascórbico, misturas de material de parede com menor quantidade de goma xantana apresentaram os melhores percentuais de retenção (Tabela 10). As misturas AX1 e MX1 apresentaram os melhores percentuais de retenção de fenólicos totais. A goma xantana foi utilizada em baixa concentração nessas misturas, ou seja, não houve interferência nas características que tornam a maltodextrina e a goma arábica materiais de parede consolidados na microencapsulação e retenção de fenólicos por *spray dryer*. Permitindo a formação de soluções com baixa viscosidade e viabilizando a formação de sólidos amorfos (LABUSCHAGNE, 2018). Conferindo assim suporte estrutural para as microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g).

Com a utilização da mistura AX3 para a microencapsulação de suco misto de acerola com ciriguela, registrou-se os menores valores de retenção de fenólicos (Tabela 10). Esse resultado é consequência do aumento da viscosidade, pois dependendo da quantidade e proporção utilizada à combinação de goma xantana e goma arábica age como espessante, provocando um aumento. Durante o processo de microencapsulação por *spray dryer* o aumento da viscosidade induz a formação de gotículas maiores no atomizador, o que acarreta em uma secagem inadequada, provocando o aumento da umidade nas microcápsulas (XU et al., 2020). Microcápsulas obtidas por *spray dryer* possuem estruturas semicristalinas na matriz polimérica, a umidade extra permiti uma

maior mobilidade das moléculas de água presentes na superfície para canais internos, efeito que leva a mudanças estruturais e resultam em perdas significativas de compostos bioativos (Hoyos-Leyva et al., 2018).

Tabela 10 - Percentual de retenção dos fenólicos totais nas microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) obtidas por *spray dryer*

Misturas de materiais de parede.	Percentual de retenção de fenólicos totais nas microcápsulas.
MX3	57,35 ± 1,13 ^b
MX1	62,58 ± 0,59 ^a
AX3	33,81 ± 0,21 ^d
AX1	63,75 ± 0,81 ^a
MAX	49,76 ± 0,13 ^c

MX3: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa – g/g); MX1: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa – g/g); AX3: mistura de goma arábica e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa – g/g); AX1: mistura de goma arábica e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa – g/g); MAX: mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana (49,9:49,9:0,2 respectivamente, com relação a massa – g/g). Os valores são expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

As misturas AX1 e MX1 se mostraram viáveis para utilização na microencapsulação por *spray dryer* de compostos fenólicos presentes no suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g). É preferível a utilização da mistura MX1 devido a custos operacionais, uma vez que a goma arábica possui um custo mais elevado quando comparada com a maltodextrina. Rocha et al. (2019) produziram microcápsulas por *spray dryer* de extratos fenólicos de jabuticaba, jussara e mirtilo utilizando maltodextrina, goma arábica e concentrado de proteína de soro de leite como materiais de parede. Eles verificaram que a goma arábica é mais eficiente para a preservação e retenção dos compostos fenólicos totais. Tolun, Altintas e Artik (2016) obtiveram melhor eficiência na microencapsulação dos compostos fenólicos por *spray dryer* utilizando a maltodextrina e a goma arábica em conjunto. Eles microencapsularam extrato de bagaço de uva. Os autores relataram que as propriedades de emulsificação e criação de filmes da goma arábica, em associação com a maltodextrina, melhoram a retenção dos compostos fenólicos. Daza et al. (2017)

microencapsularam por *spray dryer* extrato de fruto de cagaita utilizando maltodextrina e/ou goma arábica como materiais de parede e obtiveram melhor retenção de compostos fenólicos (em torno de 77 %), com as microcápsulas produzidas utilizando goma arábica como material de parede.

4.3.4 Percentual de inibição do radical DPPH• (2,2-difenil-1- picrilhidrazil)

Foi utilizado o percentual de inibição do radical DPPH• para quantificar a atividade antioxidante das microcápsulas do suco misto de acerola e ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) obtidas por *spray dryer*. Estas apresentaram maior atividade antioxidante quando microencapsuladas com a mistura MX1 (Tabela 11). Apesar disso verifica-se que, com exceção da mistura AX3, todas as outras misturas apresentaram ação moderada (50-70%) e apresentam ação semelhante ao antioxidante sintético BHT (NASCIMENTO et al., 2018).

Tabela 11 - Percentual de inibição do radical dpph• (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) obtidas por *spray dryer*

Misturas de materiais de parede.	Percentual de inibição do radical DPPH• das microcápsulas.
MX3	50,15 ± 0,89 ^c
MX1	60,54 ± 0,46 ^a
AX3	38,92 ± 0,47 ^d
AX1	54,03 ± 0,30 ^b
MAX	52,90 ± 2,18 ^b

MX3: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa – g/g); MX1: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa – g/g); AX3: mistura de goma arábica e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa – g/g); AX1: mistura de goma arábica e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa – g/g); MAX: mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana (49,9:49,9:0,2 respectivamente, com relação a massa – g/g). Os valores são expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

As microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela obtidas com a mistura AX3 apresentaram baixa taxa de inibição do radical DPPH•, como era de se esperar, uma vez que retiveram menor percentual de fenólicos totais. Microcápsulas produzidas por

spray dryer com baixa retenção de fenólicos possuem baixa atividade antioxidante (SILVA et al., 2016). Entretanto é importante ressaltar que se deve levar em consideração não apenas o percentual de retenção de fenólicos, mas também a variedade e estrutura química desses compostos. Uma vez que a estrutura química vai influir diretamente na disponibilidade do átomo de hidrogênio para ser abstraído pelo radical livre (XU et al., 2020). Dessa forma é fácil entender o menor percentual de inibição da mistura AX1 quando comparado com as microcápsulas obtidas a partir da mistura MX1, que possuem percentual de retenção de fenólicos totais estatisticamente iguais.

4.3.5 Capacidade de redução férrica (*Ferric reducing ability of plasma* - FRAP)

Embora o teste de inibição do radical DPPH• seja uma ferramenta útil para a avaliação da atividade antioxidante, este possui pouca validade biológica, ou seja, os resultados obtidos por esse método não emulam bem a capacidade antioxidante das amostras em sistemas biológicos. Sendo assim, realizar testes como o FRAP é necessário para obter resultados mais condizentes com o objetivo de estudar os efeitos dos antioxidantes no organismo (VAN HUNG, 2016; ABDEL-AAL et al., 2018). O método FRAP avalia a capacidade de uma amostra em reduzir o íon Fe^{3+} à íon Fe^{2+} .

Diferente do que ocorreu com o teste de inibição do radical DPPH•, as microcápsulas obtidas com a mistura MAX apresentaram melhor atividade antioxidante pelo método FRAP que as demais misturas (Tabela 12). Entretanto as microcápsulas com MX1 também possuem boa atividade antioxidante, em relação ao teste FRAP, ainda que seja estatisticamente menor que a encontrada nas microcápsulas obtidas com a mistura MAX. Por viabilidade econômica e operacional é preferível a utilização da mistura MX1 para a microencapsulação por *spray dryer* do suco misto de acerola e ciriguela ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g).

Rezende, Nogueira, e Narain, (2018), também analisaram a atividade antioxidante de microcápsulas produzidas com polpa de acerola e os extratos de seus resíduos por *spray dryer*, utilizando goma arábica e maltodextrina como materiais de parede. As amostras produzidas com maltodextrina foram mais eficientes para a redução do íon ferro (III), ou seja, apresentaram melhor atividade antioxidante pelo método FRAP. Ao contrário do encontrado com as amostras produzidas com goma arábica em relação ao método de redução do radical DPPH•, que apresentaram melhores resultados de atividade antioxidante. Esses resultados sugerem a importância do uso de diferentes testes de

atividade antioxidante para se obter dados mais seguros e conclusivos, uma vez que cada método possui sua própria especificidade e atua em um determinado local de ação.

Tabela 12 - Capacidade de redução férrica (*Ferric reducing ability of plasma* - FRAP) das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) obtidas por *spray dryer*.

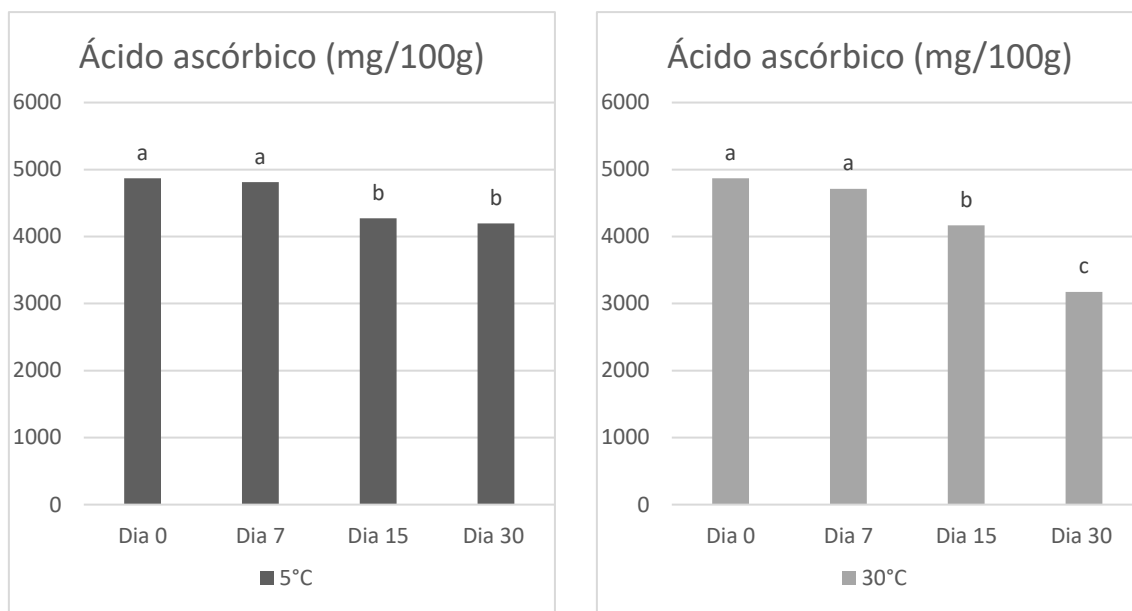
Mistura de materiais de parede.	FRAP (mmol de sulfato ferroso/g de amostra)
MX3	586,35 ± 17,18 ^d
MX1	819,04 ± 10,50 ^b
AX3	653,52 ± 16,73 ^c
AX1	675,30 ± 22,84 ^c
MAX	888,81 ± 32,14 ^a

MX3: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa - g/g); MX1: mistura de maltodextrina e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa - g/g); AX3: mistura de goma arábica e goma xantana (99,7:0,3 respectivamente, com relação a massa - g/g); AX1: mistura de goma arábica e goma xantana (99,9:0,1 respectivamente, com relação a massa - g/g); MAX: mistura de maltodextrina, goma arábica e goma xantana (49,9:49,9:0,2 respectivamente, com relação a massa - g/g). Os valores são expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.3.6 Estudo de estabilidade térmica das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente - g/g) obtidas por *spray dryer*

Para o teste de estabilidade foi escolhido as microcápsulas obtidas com a mistura MX1, por apresentarem boa capacidade de retenção do ácido ascórbico e compostos fenólicos totais do suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g). Além de apresentarem boa atividade antioxidante tanto para o teste de inibição do radical DPPH•, quanto para o teste de capacidade de redução férrica (FRAP). As microcápsulas foram armazenadas em pontes de vidros (40 mL) protegidos da luz. As temperaturas utilizadas para o armazenamento foram de 5°C e 30°C. Os dados obtidos no teste de estabilidade térmica do ácido ascórbico nas amostras encontram-se na Figura 12.

Figura 12 – Estabilidade térmica do conteúdo de ácido ascórbico das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) obtida por *spray dryer*, utilizando a mistura MX1 (99,9 maltodextrina:0,1 goma xantana - g/g) como material de parede durante o período de 30 dias de armazenamento nas temperaturas de 5°C e 30°C.

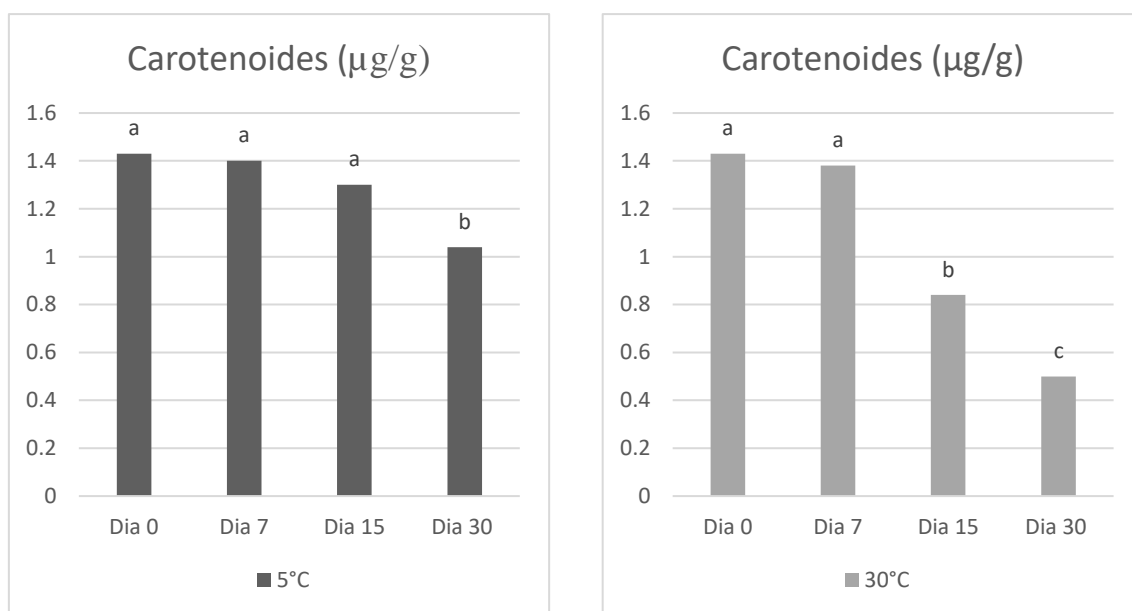


Os valores são expressos como média. Médias seguidas pela mesma letra nas barras em cada uma das temperaturas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Após os primeiros 7 dias de armazenamento em ambas as temperaturas (5°C e 30°C) não houve redução significativa do ácido ascórbico, já com 15 dias houve uma redução deste composto em ambas as temperaturas. A amostra armazenada à 5°C apresentou uma redução de 3,27% do conteúdo original, enquanto que a amostra armazenada à 30°C sofreu uma redução de 12,29%. Aos 30 dias de armazenamento a amostra submetida à temperatura de 5°C manteve estável o conteúdo de ácido ascórbico, quando comparado com o valor encontrado aos 15 dias. A amostra armazenada à 30°C apresentou redução significativa de 34,83%, com relação ao conteúdo original deste composto, ao termino do estudo de estabilidade.

Na Figura 13 estão os dados de estabilidade térmica do conteúdo de carotenoides totais das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela obtidas com a mistura de materiais de parede MX1 durante o período de 30 dias nas temperaturas de 5°C e 30°C.

Figura 13 – Estabilidade térmica do conteúdo de carotenoides totais das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) obtidas por *spray dryer*, utilizando a mistura MX1 (99,9 maltodextrina:0,1 goma xantana - g/g) como material de parede durante o período de 30 dias de armazenamento nas temperaturas de 5°C e 30°C.

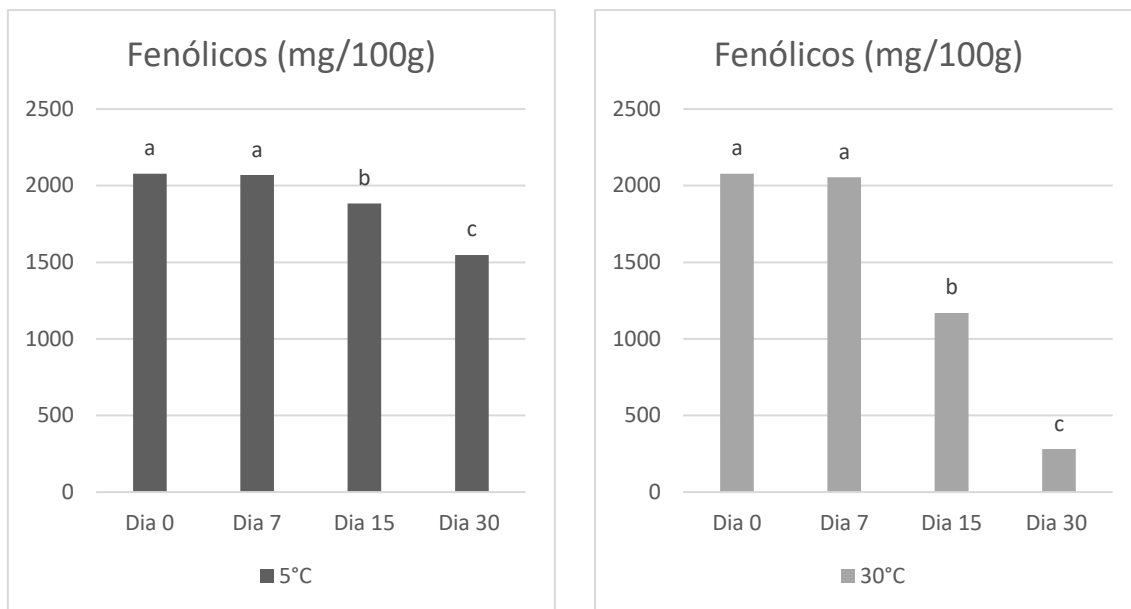


Os valores são expressos como média. Médias seguidas pela mesma letra nas barras em cada uma das temperaturas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve diferença significativa no conteúdo de carotenoides totais nas amostras armazenadas à 5°C e 30°C após 7 dias. Aos 15 dias de armazenamento os carotenoides totais foram preservados nas amostras sob temperatura de 5°C, contudo houve uma redução significativa de 40,93% dos valores iniciais de carotenoides totais nas amostras armazenadas a 30°C. No dia 30 a amostra armazenada à 5°C apresentou redução significativa de 27% em relação ao conteúdo inicial de carotenoides totais, enquanto que a amostra armazenada à 30°C teve redução de 65,11% quando comparado com o conteúdo inicial.

Os dados da estabilidade térmica do conteúdo de fenólicos nas microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela obtidas com a mistura de materiais de parede MX1 durante o período de 30 dias nas temperaturas de 5°C e 30°C estão apresentadas na Figura 14.

Figura 14 - Estabilidade térmica do conteúdo de fenólicos totais das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa – g/g) obtidas por *spray dryer*, utilizando a mistura MX1 (99,9 maltodextrina:0,1 goma xantana - g/g) como material de parede durante o período de 30 dias de armazenamento nas temperaturas de 5°C e 30°C.



Os valores são expressos como média. Médias seguidas pela mesma letra nas barras em cada uma das temperaturas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

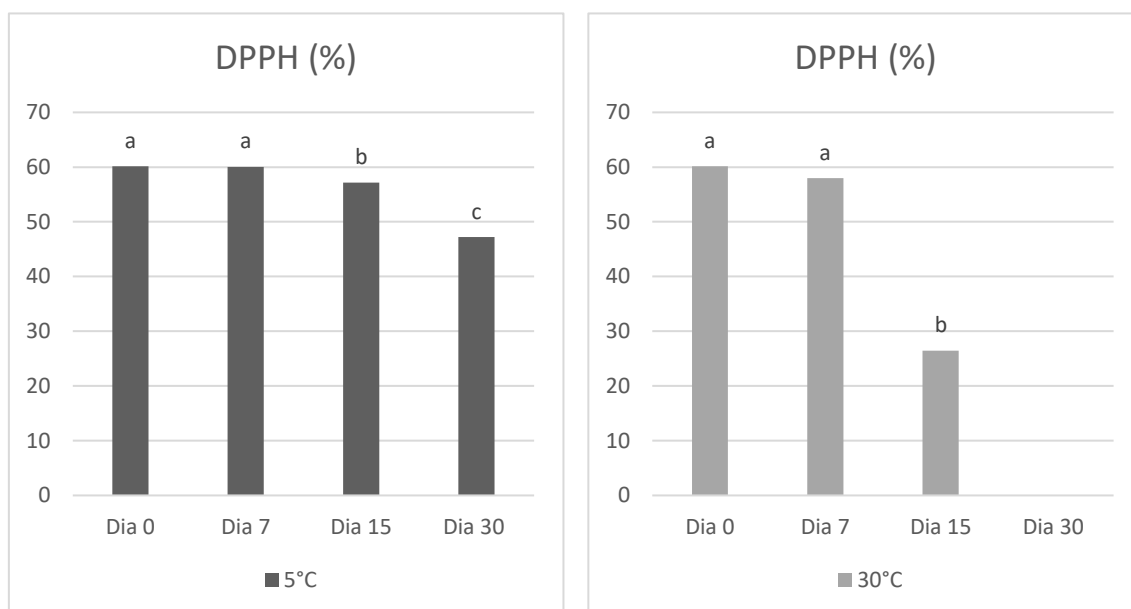
Semelhante ao que ocorreu com o conteúdo de ácido ascórbico e de carotenoides totais, não houve redução significativa do conteúdo de fenólicos totais das amostras em nenhuma das temperaturas (5°C e 30°C) de armazenamento após 7 dias. Após 15 dias a amostra armazenada à 5°C apresentou uma redução de 9,33 % do conteúdo original, enquanto que a amostra armazenada à 30°C sofreu uma redução de 27%. Ao fim dos 30 dias de armazenamento a amostra sob temperatura de 5°C apresentou uma redução significativa de 13,48% com relação ao conteúdo inicial de fenólicos. A amostra armazenada a 30°C teve redução significativa de 86,46%, em relação ao conteúdo inicial de fenólicos totais.

É esperado que houvesse maior redução dos compostos bioativos quando armazenados em temperaturas mais elevadas. Sabe-se que a estabilidade dos compostos bioativos e a taxa de degradação deles são notadamente influenciadas pela temperatura, quanto mais elevada a temperatura maior a degradação desses compostos

(DAMODARAN; PARKIN, 2017). Mishra, Brahma e Seth (2017) relataram também o efeito negativo da elevada temperatura de armazenamento sobre os compostos fenólicos e a atividade antioxidante em suco de ameixa microencapsulado por spray dryer, utilizando maltodextrina como material de parede. Eles relataram que o armazenamento na temperatura de 25°C afetou significativamente o conteúdo de compostos fenólicos totais das microcápsulas e na capacidade de eliminação de radicais livres DPPH•. A temperatura de refrigeração (4°C) foi considerada mais eficaz para reduzir as perdas de fenólicos e atividade antioxidante. Resultado semelhante ao encontrado no presente estudo. Khalifa et al. (2019) utilizaram maltodextrina, goma arábica e proteína do soro do leite para encapsular suco de amora. As microcápsulas apresentaram estabilidade sob refrigeração (4°C), observando queda significativa no conteúdo de fenólicos totais após 30 dias de armazenamento, entretanto as amostras mantiveram atividade antioxidante por 60 dias. O armazenamento a 4°C foi viável para a preservação dos compostos bioativos e manutenção da atividade antioxidante das microcápsulas de suco de amora atomizado por spray dryer, de modo a possibilitar sua comercialização.

Na Figura 15 estão os dados do teste do percentual de inibição do radical DPPH• obtido durante o estudo de estabilidade das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela obtidas com a mistura de materiais de parede MX1 durante o período de 30 dias nas temperaturas de 5°C e 30°C. Tendo em vista que a atividade antioxidante depende do conteúdo total de fenólicos, foi possível observar o mesmo comportamento, isto é, a atividade antioxidante se manteve durante os 7 primeiros dias de armazenamento das amostras em ambas as temperaturas (5°C e 30°C). Aos 15 e 30 dias houve redução significativa de 1,21% e 12,91%, respectivamente, da atividade antioxidante das amostras armazenadas a 5°C. As amostras armazenadas a 30°C apresentaram atividade antioxidante até 15 dias de armazenamento, com redução significativa de 33% quando comparada com a atividade antioxidante inicial. Após os 30 dias, não foi detectada atividade antioxidante na amostra armazenada à temperatura de 30°C.

Figura 15 - Estabilidade térmica da atividade antioxidante (percentual de inibição do radical DPPH•) das microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa – g/g) obtidas por *spray dryer*, utilizando a mistura MX1 (99,9 maltodextrina:0,1 goma xantana - g/g) como material de parede durante o período de 30 dias de armazenamento nas temperaturas de 5°C e 30°C



Os valores são expressos como média. Médias seguidas pela mesma letra nas barras em cada uma das temperaturas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

As microcápsulas do suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa – g/g) produzidas por *spray dryer* utilizando a mistura MX1 (99,9 maltodextrina:0,1 goma xantana, com relação a massa - g/g) como material de parede devem ser mantidas sob refrigeração (5°C) para a sua comercialização. Tendo em vista que sob esta temperatura houve uma melhor preservação do ácido ascórbico, carotenoides totais e fenólicos totais e melhor manutenção da atividade antioxidante quando comparado com as microcápsulas armazenadas à 30°C, após o período de 30 dias de armazenamento.

4.4 CONCLUSÃO

As microcápsulas de suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) produzidas com as diferentes misturas de materiais de paredes apresentaram bons percentuais de retenção de ácido ascórbico. Todas as misturas de materiais de parede podem ser utilizadas para a preservação do ácido ascórbico durante o processo de microencapsulação por *spray dryer*. Com relação ao percentual de retenção

dos carotenoides totais nenhuma das misturas de materiais de parede utilizadas se mostrou eficiente para a preservação desses compostos durante o processo de microencapsulação. As microcápsulas obtidas a partir das misturas MX3 e AX3, com maior concentração de goma xantana, apresentaram melhor percentual de retenção de carotenoides totais. Diferente do que ocorreu com os carotenoides as misturas com menor concentração de goma xantana, AX1 e MX1, apresentaram melhores resultados de retenção de fenólicos. As microcápsulas obtidas das misturas MX1 e MAX apresentaram as melhores atividades antioxidantes tanto para o teste de inibição do radical DPPH• quanto para o teste de capacidade de redução férrica (FRAP).

As microcápsulas obtidas com a mistura MX1 apresentaram um melhor custo-benefício, por utilizarem uma mistura de matérias de parede mais econômica e apresentaram boa atividade antioxidante e capacidade de retenção do ácido ascórbico e compostos fenólicos totais do suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g). Sendo das misturas estudadas a mais indicada para aplicação industrial. Com relação ao teste de estabilidade as microcápsulas produzidas com a mistura MX1, como material de parede apresentaram melhor preservação do ácido ascórbico, carotenoides totais e fenólicos totais e melhor manutenção da atividade antioxidante sob temperatura de 5°C, quando comparado com as microcápsulas armazenadas à 30°C, durante o período de 30 dias de armazenamento. Sendo assim é recomendável que se produza microcápsulas do suco misto de acerola com ciriguela (60:40 respectivamente, com relação a massa - g/g) utilizando a mistura MX1 e que sejam comercializadas sob refrigeração.

4.5 REFERENCIAS

ABDEL-AAL, El-Sayed M.; HUCL, Pierre; RABALSKI, Iwona. Compositional and antioxidant properties of anthocyanin-rich products prepared from purple wheat. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 254, p. 13-19, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.170>.

AHMED, Faruq; LI, Yan; FANNING, Kent; NETZEL, Michael; SCHENK, Peer. M. Effect of drying, storage temperature and air exposure on astaxanthin stability from *Haematococcus pluvialis*. **Food Research International**, 74, 231–236, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.021>.

ALVAREZ-SUAREZ, José M.; GIAMPIERI, Francesca; GASPARRINI, Massimiliano; MAZZONI, Luca; SANTOS-BUELGA, Celestino; GONZÁLEZ-PARAMÁS, Ana M.; FORBES-HERNÁNDEZ, Tamara Y.; AFRIN, Sadia; PÁEZ-WATSON, Timothy; QUILES, José L.. The protective effect of acerola (*Malpighia emarginata*) against oxidative damage in human dermal fibroblasts through the improvement of antioxidant enzyme activity and mitochondrial functionality. **Food & Function**, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 3250-3258, 2017. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c7fo00859g>.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of the Analytical Chemists. 17th ed., Gaithersburg, MD, USA Washington, 2016.

BARAUSKAITE, Dovile; GINEIKIENE, Justina; FENNIS, Bob M.; AURUSKEVICIENE, Vilte; YAMAGUCHI, Miwa; KONDO, Naoki. Eating healthy to impress: how conspicuous consumption, perceived self-control motivation, and descriptive normative influence determine functional food choices. **Appetite**, [S.L.], v. 131, p. 59-67, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.appet.2018.08.015>.

BELWAL, Tarun; DEVKOTA, Hari Prasad; HASSAN, Hanaa A.; AHLUWALIA, Sudhir; RAMADAN, Mohamed Fawzy; MOCAN, Andrei; ATANASOV, Atanas G.. Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia* spp.) and its potential as functional food. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 74, p. 99-106, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.01.014>.

BRASIL. Resolução nº 19, de 30 de abril de 1999. Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 03 de maio de 1999, p. 1–3, 1999.

BRASIL. Instrução normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Ministério da agricultura e do abastecimento (MAPA).

BRAND-WILLIAMS, W; CUVELIER, M.E; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food science and Technology**, London, v. 28, n.1, p.25-30, 1995. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).

BURGOS-DÍAZA César; OPAZO-NAVARRETEA, Mauricio; SOTO-AÑUALA Monserrat; LEAL-CALDERÓN Fernando; BUSTAMANTE, Mariela; Food-grade

Pickering emulsion as a novel astaxanthin encapsulation system for making powder-based products: Evaluation of astaxanthin stability during processing, storage, and its bioaccessibility. **Food Research International**, [S. L.], abr. 2020. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109244>.

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L.. **Fennema's Food Chemistry**. 5. ed. Boca Raton: Crc Press, 2017. 1123 p.

DE MARCO, R., VIEIRA, A. M. S., UGRIB, M. A., MONTEIRO, A., & Bergamasco, R. (2013). Microencapsulation of annatto seed extract: Stability and application. **Chemical Engineering Transactions**, 32, 1777–1782. <https://doi.org/10.3303/CET1332297>.

HOYOS-LEYVA J.D.; CHAVEZ-SALAZAR, A.; CASTELLANOS-GALEANO, F.; BELLO-PEREZ, L.A.; ALVAREZ-RAMIREZ J.; Physical and chemical stability of L-ascorbic acid microencapsulated into taro starch spherical aggregates by spray drying. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], may. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.002>

KHALIFA, Ibrahim; LIA, Mengli; MAMETA, Torkun; LI Chunmei; Maltodextrin or gum Arabic with whey proteins as wall-material blends increased the stability and physiochemical characteristics of mulberry microparticles. **Food Bioscience**, [S. L.] aug. 2019. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100445>

LABUSCHAGNE, Philip. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: a review. **Food Research International**, [S.L.], v. 107, p. 227-247, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.026>.

LIM, A. S.; ROOS, Y. H. Spray drying of high hydrophilic solids emulsions with layered interface and trehalose-maltodextrin as glass formers for carotenoids stabilization. **Journal of Food Engineering**, 171, 174–184. 2016, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.10.026>.

LIM, A. S., BURDIKOVA, Z., SHEEHAN, D. J.; ROOS, Y. H. Carotenoid stability in high total solid spray dried emulsions with gum Arabic layered interface and trehalose– WPI composites as wall materials. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, 34, 310–319. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.03.001>.

MALDONADO-ASTUDILLO, Yanik Ixchel; ALIA-TEJACAL, Irán; NÓÑEZ-COLÍN, Carlos Alberto; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, Javier; PELAYO-ZALDÍVAR, Clara; LÓPEZ-MARTÍNEZ, Víctor; ANDRADE-RODRÍGUEZ, María; BAUTISTA-BAÑOS, Silvia; VALLE-GUADARRAMA, Salvador. Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. mombin* L. **Scientia Horticulturae**, [S.L.], v. 174, p. 193-206, jul. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.016>.

MOURA, Carlos F.H.; OLIVEIRA, Luciana de S.; SOUZA, Kellina O. de; FRANCA, Lorena G. da; RIBEIRO, Laiza B.; SOUZA, Pahlevi A. de; MIRANDA, Maria R.A. de. Acerola—*Malpighia emarginata*. **Exotic Fruits**, [S.L.], p. 7-14, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00003-4>.

MISTRA, Souvav; PANDEY, Pooja; MISHRA, Hari Niwas, Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their health benefits and functional food product development: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [S.L.], Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.039>.

NASCIMENTO, Eidla M.M.; RODRIGUES, Fábio F.G.; COSTA, Wégila D.; TEIXEIRA, Raimundo N.P.; BOLIGON, Aline A.; SOUSA, Erlânio O.; RODRIGUES, Fabíola F.G.; COUTINHO, Henrique D.M.; COSTA, José Galberto M. da. HPLC and in vitro evaluation of antioxidant properties of fruit from *Malpighia glabra* (Malpighiaceae) at different stages of maturation. **Food And Chemical Toxicology**, [S.L.], v. 119, p. 457-463, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2017.11.042>.

NEGRÃO-MURAKAMI, A. N.; NUNES, G. L.; PINTO, S. S.; MURAKAMI, F. S.; AMANTE, E. R.; PETRUS, J. C. C.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. M. C. Influence of DE-value of maltodextrin on the physicochemical properties, antioxidant activity, and storage stability of spray dried concentrated mate (*Ilex paraguariensis*A. St. Hil.). **LWT -Food Science and Technology**, v. 79, p. 561-567, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.11.002>

OZKAN, Gulay; FRANCO, Paola; MARCO, Iolanda de; XIAO, Jianbo; CAPANOGLU, Esra. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 272,

p. 494-506, jan. 2019. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>.

PEREIRA, Heloiza Vieira Rodrigues; SARAIVA, Karina Peixoto; CARVALHO, Lucia Maria Jaeger; ANDRADE, Leonardo Rodrigues; PEDROSA, Cristiana; PIERUCCI Anna Paola Trindade Rocha; Legumes seeds protein isolates in the production of ascorbic acid microparticles. **Food Research International**, [S. L.], Oct. 2009 [doi:10.1016/j.foodres.2008.10.008](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.10.008).

REZENDE, Yara Rafaella Ribeiro Santos; NOGUEIRA, Juliete Pedreira; NARAIN, Narendra. 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**, [S.L.], v. 254, p. 281-291, jul. 2018. Elsevier BV.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.026>.

RIBEIRO, Christine Maria Carneiro Maranhão; MAGLIANO, Lidia Cristina dos Santos Alencar; COSTA, Marcella Melo Assis de; BEZERRA, Taliana Kênia Alencar; SILVA, Flavio Luiz Honorato da; MACIEL, Maria Inês Sucupira. Optimization of the spray drying process conditions for acerola and seriguela juice mix. **Food Science And Technology**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 48-55, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/fst.36217>.

Rocha, G. A., Fávaro-Trindade, C. S., & Grosso, C. R. F. Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and Bioprocess Technology*, 90(1), 37–42. 2012, <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.01.001>

ROMO-HUALDE, A., YETANO-CUNCHILLOS, A. I., GONZÁLEZ-FERRERO, C., SÁIZ-ABAJO, M. J.; GONZÁLEZ-NAVARRO, C. J.; Supercritical fluid extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red pepper (*Capsicum annum* L.) by-products. **Food Chemistry**, 133(3), 1045–1049, 2012 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.01.062>.

SÁNCHEZ-MORENO, C.; LARRAURI, J. A.; SAURA-CALIXTO, F. A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. **Journal of the Science of Food**

and Agriculture, v. 76, n. 2, p. 270-276, 1998. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199802\)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199802)76:2<270::AID-JSFA945>3.0.CO;2-9).

SILVA, N. L.; CRISPIM, J. M. S.; ERIK, R.; VIEIRA, P. Kinetic and thermodynamic analysis of anthocyanin thermal degradation in acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp. **Journal of Food Processing and Preservation**, 41. 2017, <https://doi.org/10.1111/jfpp.13053>

SILVA, Renata V.; COSTA, Sônia C.C.; BRANCO, Carla R.C.; BRANCO, Alessandro. In vitro photoprotective activity of the *Spondias purpurea* L. peel crude extract and its incorporation in a pharmaceutical formulation. **Industrial Crops And Products**, [S.L.], v. 83, p. 509-514, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.077>.

VAN HUNG, Pham. Phenolic Compounds of Cereals and Their Antioxidant Capacity. **Critical Reviews In Food Science And Nutrition**, [S.L.], v. 56, n. 1, p. 25-35, 30 jul. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2012.708909>.

WANI, Touseef Ahmed; MASOODI, Farooq Ahmad; WANI, Idrees Ahmed. The possible nomenclature of encapsulated products. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 234, p. 119-120, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.121>.

WETTASINGHE, M.; SHAHIDI, F. Evening primrose meal: a source of natural antioxidants and scavenger of hydrogen peroxide and oxygen-derived free radicals. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p.1801-1812, 1999. <https://doi.org/10.1021/jf9810416>.

XU, Mingfeng; SHEN, Chenjia; ZHENG, Han; XU, Yunsheng; XUE, Changfeng; ZHU, Beiwei; HU, Jiangning. 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, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108915>.