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

MICROENCAPSULAÇÃO DE EXTRATO DO RESÍDUO DE SERIGUELA (*Spondias purpúrea L.*) USANDO MALTODEXTRINA, GOMA ARÁBICA E SORO DE LEITE: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO

NADJA NARA GOMES DE MORAIS

Recife, 2020.

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

NADJA NARA GOMES DE MORAIS

MICROENCAPSULAÇÃO DE EXTRATO DO RESÍDUO DE SERIGUELA (*Spondias purpúrea L.*) USANDO MALTODEXTRINA, GOMA ARÁBICA E SORO DE LEITE: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO

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: Enayde de Almeida Melo

COORIENTADORA: Andrelina Maria Pinheiro Santos

Recife, 2020.

AGRADECIMENTOS

Ao meu querido e inefável Deus, por me iluminar nessa escolha e permitir concluir essa etapa na minha vida, por direcionar minhas decisões, por me dar forças e saúde para alcançar meus objetivos, por me proteger e colocar verdadeiros anjos ao meu redor aonde quer que eu vá, por ser o amigo onipresente, por me compreender e por mostrar que tudo é possível quando há amor e esforço.

À minha família em especial aos meus pais Claudenize e Edvaldo e minha irmã Natália. Obrigada por sempre me apoiarem em tudo que fiz, por todo amor e preocupação e por serem acima de tudo meus exemplos de vida. Sem dúvidas, vocês são as pessoas mais importantes na minha vida, foram vocês que me fizeram compreender o real valor do conhecimento e o grande prazer de se estudar.

Ao meu namorado, Tiago, por todo o apoio, por ter me ajudado inúmeras vezes no laboratório, pela torcida em cada etapa da minha vida e segurança nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora, Prof. Drª. Enayde de Almeida Melo, pela oportunidade de ser sua orientanda, pelos ensinamentos compartilhados, por sua responsabilidade, atenção e exigência, os quais foram fundamentais para a execução e finalização deste trabalho.

À minha coorientadora, Prof. Drª. Andrelina Maria Pinheiro Santos, pela persistência durante a resolução de problemas e auxílio nas análises.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial, o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, à coordenadora Prof. Drª. Maria Inez Sucupira, à secretária Ana e colaboradores, pelo carinho, apoio e por todo o suporte fornecido para a realização deste trabalho. Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação, pela dedicação e ensinamentos disponibilizados nas aulas, cada um de forma especial contribuiu para minha formação.

Aos meus colegas da turma por dividir momentos de alegrias e dificuldades, pela união, apoio e pela vivência tão intensa que construímos. Em especial às minhas amigas Juliana, Merielly e Malu que certamente me acompanharão para o resto da minha vida independente da distância e do tempo. Obrigada pelo companheirismo, alegrias, críticas e conselhos.

À Ângela Lima, técnica do Laboratório de Análises Físico-Químicas de Alimentos, pela amizade, ajuda e disponibilidade. A todos os colegas e amigos que entre uma análise e outra tomavam os dias mais prazerosos, proporcionando momentos de descontração. Em especial à Eduardo, Débora, Marcony, Amanda e Anderson.

Á empresa Pé de Fruta, pelo fornecimento do resíduo agroindustrial de seriguela, essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, agradeço a todos que convivi durante esses anos e que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Todos estão guardados em meu coração e na minha memória. Eternamente grata a vocês!

“E Jesus lhes disse: Se tiverdes fé como um grão de mostarda, direis a este monte: Passa daqui para acolá, e há de passar; e nada vos será impossível” (Matheus 17:20).

RESUMO:

O resíduo agroindustrial da seriguela (*Spondias purpúrea L*.) apresenta quantidade significante de compostos fenólicos. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade da encapsulação por atomização do extrato hidroetanólico do resíduo de seriguela (contendo 3 % sólidos totais), utilizando diferentes temperaturas (120; 140 e 180 ºC) e materiais de parede (MP), [maltodextrina (MD), goma arábica (GA) e soro de leite (SL)], isolados e em blendas, [MD; GA; MD+GA; MD+SL; GA+SL e MD+GA+SL, na proporção de 100:0; 100:0; 50:50; 90:10; 90:10; 45:45:10 (v/v), respectivamente], atingindo concentração final de 30 %. No processo de atomização manteve-se constante a pressão de 6,5 Bar; vazão do ar de secagem (28 m^3/h); alimentação da câmara de secagem com a mistura por uma bomba peristáltica com vazão de 12 mL/min. Os microencapsulados foram submetidos à determinação do teor de umidade, atividade de água, teor de compostos fenólicos, ação antioxidante, eficiência e rendimento da encapsulação, densidade aparente, higroscopicidade, análise colorimétrica, teste de estabilidade e microscopia eletrônica. Independente da condição de processo, os microencapsulados apresentaram baixo teor de umidade (3,35 a 6,96 %) e de aw (0,11 a 0,16). Entretanto, os melhores resultados para eficiência de encapsulação (90,79 a 96,07%); rendimento (39,37 a 52,81%) e capacidade antioxidante (28,95 a 43,76%) foram obtidos usando temperatura de 140 ºC e GA; MD+GA e MD+SL. De modo geral, essas partículas apresentaram formato esférico, levemente abauladas, íntegras e sem fissuras e cor amarela clara (L= 91,34 a 92,38; Hue= 85,18 a 88,77; Croma= 7,43 a 11,15). A higroscopicidade foi <20%, com destaque para o microencapsulado com MD+GA que exibiu o menor valor (9,87 g/100 g); densidade aparente de 0,49 g/mL e estabilidade do teor de fenólicos e ação antioxidante até o 18º dia de estocagem sob refrigeração (4 ºC). A microencapsulação do resíduo de seriguela, empregando temperatura de 140 ºC e GA; MD+GA e MD+SL como material encapsulante mostrou ser uma técnica promissora para obtenção do extrato em pó, com potencial aplicação em alimentos, visando a elaboração de produtos com propriedades funcionais.

Palavras-chave: Atomização; Compostos bioativos; Micropartículas.

ABSTRACT:

The agroindustrial residue of the seriguela (*Spondias purpúrea L*.) has a significant amount of phenolic compounds. Therefore, the objective of this study was to evaluate the feasibility of atomic encapsulation of the hydroethanolic extract of the seriguela residue (containing 3% total solids), using different temperatures (120; 140 and 180 ºC) and wall materials (MP) , [maltodextrin (MD), gum arabic (GA) and whey (SL)], isolated and in blends, [MD; GA; MD + GA; MD + SL; GA + SL and MD + GA + SL, in the proportion of 100: 0; 100: 0; 50:50; 90:10; 90:10; 45:45:10 (v / v), respectively], reaching a final concentration of 30%. In the atomization process, the pressure of 6.5 Bar was kept constant; drying air flow (28 m3 / h); feeding the drying chamber with the mixture through a peristaltic pump with a flow rate of 12 mL / min. The microencapsules were subjected to the determination of moisture content, water activity, phenolic compounds content, antioxidant action, encapsulation efficiency and yield, apparent density, hygroscopicity, colorimetric analysis, stability test and electron microscopy. Regardless of the process condition, the microencap-sulados showed low moisture content (3.35 to 6.96%) and aw (0.11 to 0.16). However, the best results for encapsulation efficiency (90.79 to 96.07 %); yield (39.37 to 52.81%) and antioxidant capacity (28.95 to 43.76%) were obtained using temperatures of 140 ºC and GA; MD + GA and MD + SL. In general, these particles were spherical in shape, slightly protruding, intact and without fissures and light yellow in color (L = 91.34 to 92.38; Hue = 85.18 to 88.77; Chroma = 7.43 to 11.15). Hygroscopicity was <20%, with emphasis on the microencapsulated with MD + GA, which showed the lowest value (9.87 g / 100 g); apparent density of 0.49 g / mL and stability of the phenolic content and antioxidant action until the 18th day of storage under refrigeration (4 ºC). The microencapsulation of the seriguela residue, using a temperature of 140 ºC and GA; MD + GA and MD + SL as an encapsulating material proved to be a promising technique for obtaining the powdered extract, with potential application in foods, aiming at the elaboration of products with functional properties.

Keywords: Atomization; Bioactive compounds; Microparticles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Microscopias do extrato hidroetanólico do resíduo agroindustrial da seriguela microencapsulado por spray drying utilizando diferentes materiais de parede e temperatura de 140 °C.....61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Planejamento experimental para otimização do material de parede, com base nos sólidos totais.....47

Tabela 2- Efeito do material de parede e da temperatura sobre a umidade (%) e aw do extrato do resíduo de seriguela encapsulado.....52

Tabela 3- Influência do material de parede e da temperatura sobre o teor de fenólicos totais (mg de EAG/100g) do extrato hidroetanólico de seriguela microencapsulado.....55

Tabela 4- Influência do material de parede e da temperatura sobre a eficiência da encapsulação (%) do extrato hidroetanólico de seriguela.....56

Tabela 5- Influência do material de parede e da temperatura de secagem sobre a capacidade antioxidante (%) do extrato hidroetanólico encapsulado 58

Tabela 6- Rendimento da encapsulação de extrato do resíduo de seriguela utilizando diferentes materiais de parede e temperaturas.....59

Tabela 7– Higroscopicidade, densidade aparente e parâmetros de cor do extrato de seriguela encapsulado com diferentes materiais de revestimento.....63

Tabela 8- Estabilidade do teor de fenólicos totais (mg de EAG/g) em extrato de seriguela microencapsulado e estocados em refrigeração (R) (4 ± 2ºC) e em temperatura ambiente (TA) (25 ± 2 ºC) por 40 dias.....66

Tabela 9- Estabilidade da capacidade antioxidante (% sequestro do radical DPPH) em extrato de seriguela microencapsulado e estocados em refrigeração (R) (4 ± 2ºC) e em temperatura ambiente (TA) (25 ± 2 ºC) por 40 dias.....66

LISTA DE ABREVIATURAS

ABTS	2,2‘-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfônico
ANOVA	Análise de Variância
aw	Atividade de Água
CPS	Concentrado Proteico do Soro
DE	Dextrose Equivalente
DPPH	1,1-difenil-2-picrilhidrazina
EE	Eficiência da Encapsulação
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
GA	Goma Arábica
IPS	Isolado Proteico do Soro
MD	Maltodextrina
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
ORAC	Oxygen Radical Absorbance Capacity
SL	Soro de Leite
TFS	Teor de Fenólicos Totais da Superfície da Microcapsula
TTF	Teor de Fenólicos Totais das Microcápsulas
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE 15
3. REVISÃO DE LITERATURA 16
3.1. Resíduos agroindustriais 16
3.2. Seriguela 17
3.3. Atividade antioxidante 18
3.4. Compostos Bioativos 19
3.4.1. Compostos Fenólicos 19
3.5. Microencapsulação 21
3.5.1. Atomização 22
3.6. Agentes carreadores 22
3.6.1. Maltodextrina 23
3.6.2. Goma Arábica 24
3.6.3. Soro de Leite 25
3.7. Características das micropartículas 26
4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 28
ARTIGO 1: MICROENCAPSULAÇÃO POR SPRAY DRYING DE COMPOSTOS BIOATIVOS EXTRAÍDOS DO RESÍDUO DE SERIGUELA (*Spondias purpúrea L*.) COM MALTODEXTRINA, GOMA ARÁBICA E SORO DE LEITE. 41
RESUMO: 41
ABSTRACT: 42
1. INTRODUÇÃO 43
2. MATERIAL E MÉTODOS 45
2.1. Local de Realização 45
2.2. Preparo das amostras 45
2.3. Obtenção do Extrato Hidroetanólico 45
2.4. Determinação analítica no extrato 46
2.4.1. Fenólicos Totais 46
2.4.2. Capacidade antioxidante 46
2.4.3. Microencapsulação do extrato hidroetanólico de seriguela 46

2.4.4. Determinação analítica do microencapsulado 48
2.4.4.1. Umidade 48
2.4.4.2. Atividade de Água 48
2.4.4.3. Rendimento de secagem 48
2.4.4.4. Eficiência da encapsulação (EE) – Teor de Fenólicos totais das microcápsulas (TTF) e Teor de fenólicos totais da superfície da microcapsula (TFS) 48
2.4.4.5. Capacidade antioxidante 49
2.4.5. Determinação analítica do microencapsulado selecionado (Etapa 2) 49
2.4.5.1. Estabilidade do microencapsulado 49
2.4.5.2. Densidade aparente 50
2.4.5.3. Higroscopicidade 50
2.4.5.4. Microscopia eletrônica de Varredura 50
2.4.5.5. Análise Colorimétrica 50
2.4.6. Análise estatística 51
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 51
3.1. Umidade (%) e Atividade de água (aw) 51
3.2. Compostos fenólicos 54
3.3. Eficiência da encapsulação (%) 56
3.4. Capacidade Antioxidante 57
3.5. Rendimento da encapsulação 58
3.6. Microscopia eletrônica de varredura 60
3.7. Seleção das melhores condições de microencapsulamento 62
3.8. Higroscopicidade, Densidade Aparente e Análise colorimétrica 62
3.9. Estabilidade do microencapsulado 64
4. CONCLUSÃO 67
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 68

‘

1. INTRODUÇÃO

A fruticultura é um dos segmentos da economia brasileira com maior destaque e em contínua evolução. Considerada uma das mais diversificadas do mundo, a fruticultura brasileira possui uma área de cultivo que supera 2 milhões de hectares, com grande variedade de espécies de frutas temperadas e tropicais que, produz ao longo do ano 44 milhões de toneladas (ABRAFRUTAS, 2018). As frutas tropicais, como a seriguela (*Spondias purpúrea L.*), são ricas em compostos bioativos, aos quais são atribuídos diversos efeitos benéficos à saúde, em função de sua propriedade antioxidante que inibe a oxidação de moléculas, evitando o início ou propagação das reações de oxidação em cadeia (GONZALEZ-AGUILAR et al., 2008). Entretanto, a elevada perecibilidade das frutas impõe o uso de tecnologias que visam ampliar o seu tempo de vida útil e reduzir as perdas pós-colheita. Neste contexto, novos produtos vêm sendo desenvolvidos, com destaque para a produção de polpa de frutas congeladas, com grande aceitação no mercado nacional por apresentar praticidade e preservar as características sensoriais das frutas.

Como consequência da elevada produção, processamento e comercialização de produtos de frutas, a indústria de alimentos e bebidas gera uma alta quantidade de resíduos orgânicos (bagaços e cascas) como subprodutos dos processos de fabricação, representando um potencial poluente para o meio ambiente (AHMED; GUO; ZHAO, 2016). Vale ressaltar que estes resíduos apresentam em sua composição quantidades significativas de compostos bioativos, com propriedade antioxidante. Os fenólicos, em especial, são os principais compostos bioativos, encontrados majoritariamente em cascas e sementes (BABBAR et al., 2011). Desta forma, o emprego destes subprodutos, caracterizados frequentemente como potenciais poluidores ambientais, para a obtenção de extratos, ricos em compostos bioativos, a ser empregado em produtos alimentícios pode se apresentar como uma alternativa interessante. No entanto, muitas limitações existem para a aplicação desses extratos em alimentos, em decorrência de sua baixa estabilidade frente ao pH, temperatura, presença de oxigênio, luz e enzimas oxidativas (ÇAM; IÇYER; ERDOGAN, 2014; FANG; BHANDARI, 2011). Assim, torna-se relevante empregar tecnologias que propiciem a estabilidade e preservem a funcionalidade desses compostos. A microencapsulação por atomização, tem se mos-

trado uma técnica efetiva na proteção de compostos fenólicos (TOLUN; ALTINTAS; ARTIK, 2016).

No processo de microencapsulação por atomização uma substância (agente ativo), no estado sólido, líquido ou gasoso, é aprisionada dentro de pequenas cápsulas, de tamanho variado, protegendo moléculas sensíveis à luz, calor, umidade ou oxidação (KRISHNA; JYOTHIKA, 2015), além de melhorar a biodisponibilidade e estabilidade das moléculas e dos produtos. Entretanto, a eficiência da proteção destes compostos se deve, dentre outros fatores, ao agente encapsulante (material de parede) empregado no processo, pois tem influência direta sobre as propriedades físicas e químicas das micropartículas obtidas. Sendo assim, o material encapsulante deve ter a capacidade de formar uma película coesa com o material do núcleo. Esta capacidade exige compatibilidade química e física, proporcionando as propriedades desejadas, tais como flexibilidade, resistência, impermeabilidade e estabilidade na preparação (AIZPURUA-OLAIZOLA et al., 2016).

Dentre os agentes encapsulantes mais utilizados, tanto isolados como em blendas, no processo de atomização, destacam-se as maltodextrinas (MD) e a goma arábica (GA), para encapsular sucos e extratos de frutas (TONON et al., 2009). Esses agentes são úteis para aumentar a temperatura de transição vítrea, visando evitar problemas operacionais durante a secagem, como adesão à parede da câmara do secador, especialmente no caso de produtos ricos em açúcar, como sucos de frutas (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

Fang e Bhandari (2011) relatam que uma matriz isolada nem sempre apresenta todas as características requeridas para um material de parede. Sendo assim, o emprego de mistura de polímeros em diferentes proporções tem sido investigado com vistas a obter melhor eficiência na encapsulação e menor custo do processo. Frente a estas constatações, este trabalho tem como objetivo estudar a influência de diferentes blendas de materiais de parede, tais como, maltodextrina, goma arábica e soro de leite, sobre a eficiência da encapsulação por atomização do extrato hidroetanólico do resíduo agroindustrial proveniente do processamento da seriguela.

2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE

Considerando que os resíduos agroindustriais provenientes do processamento da seriguela detêm considerável teor de compostos fenólicos, os quais exibem ação antioxidante, torna-se relevante utilizar este material para a obtenção de extrato rico em bioativos com vistas a aplicá-lo em alimentos. No entanto, os compostos presentes nesse extrato apresentam instabilidade às condições adversas durante o processamento e armazenamento de alimentos. Desta forma, submeter este extrato ao processo de atomização empregando blendas de maltodextrina, goma arábica e/ou soro de leite como agentes encapsulantes seria uma alternativa viável para obter um produto estável e de valor agregado. Contudo, algumas questões necessitam ser elucidadas, a saber: Qual a proporção dos agentes encapsulantes na blenda que propiciará maior eficiência de encapsulação? Qual a temperatura de secagem que permitirá obter um microencapsulado com características de qualidade? O microencapsulado obtido exibirá significante teor de fenólicos e ação antioxidante? O teor de fenólicos e a ação antioxidante dos microencapsulados se mantêm estáveis ao serem armazenados durante 30 dias em refrigeração e em temperatura ambiente?

2.1. HIPOTESE

Blendas de Maltodextrina, goma arábica e soro de leite apresentam as características requeridas para serem usadas como material de parede na microencapsulação por atomização do extrato do resíduo de seriguela.

Com a microencapsulação do extrato de seriguela usando blenda de Maltodextrina, goma arábica e soro de leite, como agente encapsulante, é possível preservar teor de compostos fenólicos, sua estabilidade e a manutenção de sua característica antioxidante no produto obtido.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Resíduos agroindustriais

O cenário para o mercado dos produtos processados de frutas e hortaliças é de crescimento mundial, uma vez que os consumidores buscam cada vez mais por sucos, molhos e condimentos prontos, em decorrência da praticidade e conveniência encontrada nesses alimentos (DOS SANTOS et al., 2015). No Brasil, o processamento industrial de frutas e hortaliças é cada vez mais intenso, gerando, além dos produtos com aceitação no mercado (doces, geleias, sucos, néctares, xaropes concentrados, óleos essenciais, aromas, etc.), elevada quantidade de resíduos sólidos que podem chegar até 50 % do peso da matéria-prima (SILVA et al., 2017; FILHO; FRANCO, 2015).

Os resíduos agroindustriais de frutas, constituídos por cascas, caroços, sementes, bagaços, etc., não obstante largamente desperdiçados, são importantes fontes de nutrientes, ricos em fibras e compostos bioativos (SUN-WATERHOUSE , 2011), que podem ser aproveitados na produção de diferentes produtos (LÓPEZ-MARCOS et al., 2015). O reaproveitamento de resíduos pela indústria alimentícia como matéria-prima em processos produtivos vem sendo estudado. Desta forma, as próprias indústrias de alimentos geradoras destes resíduos passam a reutiliza-los em formulação alimentar ou composição de misturas alimentícias. Entre as empresas de alimentos, as processadoras de polpa de frutas são as mais interessadas em acrescentar valor agregado aos resíduos produzidos, uma vez que elas perdem em torno de 60 % da massa total das frutas processadas (SANCHO et al., 2015; ANDRADE, 2016).

A progressiva preocupação com os impactos ambientais e o elevado índice de desperdício, ocasionado pelas indústrias de alimentos, são fatores que têm levado à busca de alternativas viáveis de aproveitamento dos resíduos gerados por essas indústrias (PINELI et al., 2015; SANTOS, 2011). Desta forma, o uso destes resíduos no desenvolvimento de novos produtos, além de propiciar a obtenção de produtos com aumento do valor nutricional agregado, reduz o impacto que esses subprodutos podem ocasionar ao serem descartados no ambiente, em locais inadequados (PARAMAN et al., 2015). Entretanto, vale ressaltar que os resíduos agroindustriais possuem suscetibilidade intrínseca à degradação microbiológica,

logo sua exploração pode ser limitada (FUGEL; SCHIEBER; CARLE, 2006). A secagem e, subsequente, transformação destes resíduos em pós-alimentícios ou farinhas, constitui uma alternativa viável para o seu armazenamento e utilização como matéria-prima para fabricação de produtos funcionais alternativos, frente ao seu elevado conteúdo de fibras, vitaminas, minerais e substâncias fenólicas, proporcionando efeitos benéficos à saúde (FERREIRA et al., 2015).

3.2. Seriguela

O gênero *Spondia* pertence à família *Anacardiaceae* é comumente encontrada em regiões tropicais da América do Sul, África e Ásia. Cerca de 17 espécies são conhecidas, porém as mais importantes comercialmente no Brasil são a seriguela (*Spondia purpurea*), o cajá (*Spondia mombin*) e o umbu (*Spondia tuberosa*). A seriguela é uma drupa elipsóide bastante difundida na região do semiárido do nordeste brasileiro. O fruto é carnudo, contém apenas uma semente, polpa de pouca espessura e coloração amarela ou avermelhada quando em estágio de maturação maduro (BICAS et al., 2011; ALMEIDA et al., 2017; TIBURSKI et al., 2011; OMENA et al., 2012). Apresenta excelente qualidade sensorial podendo ser tanto consumida fresca como processada. Além disso, possui ótimas perspectivas comerciais por meio do uso de processamento pós-colheita, que agrega valor ao produto final e facilita a comercialização em regiões onde o clima não é favorável para o cultivo (FERREIRA et al., 2015).

O período de coleta dos frutos ocorre nos meses de setembro a dezembro, levando até seis meses para completa formação. O epicarpo dos frutos em estágio pré-climatérico apresenta alteração na coloração, apresentando cor laranja, amarelado ou vermelho no pico do estágio até o estágio final de maturação, onde os índices de carotenoides aumentam e os teores de ácido ascórbico diminuem. A composição química dos frutos varia conforme os tipos de cultivares e o período de maturação que o fruto se encontra, sendo geralmente ricos em ácidos fenólicos, antocianidinas, catequinas e epicatequinas, além de outros compostos não voláteis e voláteis (VARGAS-SIMÓN, 2018).

3.3. Atividade antioxidante

A comprovação da existência de compostos com propriedades antioxidantes em frutas tropicais tem contribuído com o aumento de pesquisas para avaliar o potencial destes alimentos (RODRIGUEZ-AMAYA, 2010; SILVA et al., 2016). Nos alimentos, dentre os compostos associados à atividade antioxidante estão o ácido ascórbico e uma série de outros fitoquímicos, com destaque para os polifenóis, tocoferóis, carotenoides, tocotrienóis e outros tióis. Na seriguela, o ácido ascórbico, os carotenoides e os compostos fenólicos são os fitoquímicos apontados como responsáveis pela ação antioxidante do fruto (OMENA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2011).

A capacidade antioxidante geralmente é mensurada em extratos alimentares obtidos usando solventes orgânicos (metanol, etanol, acetona, clorofórmio, etc.) em solução aquosa. Porém, não há um solvente inteiramente satisfatório para extração de todos os compostos antioxidantes presentes no alimento, sendo necessária a determinação do melhor solvente para o alimento em questão (JIMÉNEZ et al., 2008). O uso da solução de etanol a 60 % tem se mostrado eficiente para extração de compostos fenólicos de resíduos agroindustriais (ANDRADE et al., 2015).

Diferentes métodos têm sido empregados para avaliar a capacidade antioxidante in vitro de frutas, como a capacidade de absorção do radical de oxigênio (ORAC), e o poder de redução do ferro (FRAP), porém, destacam-se como os mais utilizados os métodos de sequestro que utilizam os radicais 1,1-difenil-2-picrilhidrazina (DPPH) e 2,2’-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico (ABTS) (SILVA et al., 2016; OLIVEIRA, 2015; MORAIS et al., 2013).

Silva et al. (2012) pesquisando a capacidade antioxidante utilizando os métodos de captura dos radicais DPPH e ABTS em diversos genótipos de seriguela, encontraram valores que variaram de 0,18 a 0,73 g.g-1 de DPPH e de 1.664,01 a 6.633,87µMol TEAC.g-1 de polpa, respectivamente. Os pesquisadores concluíram que os extratos dos frutos de seriguela apresentaram significativo potencial antioxidante, demonstrando eficiência na captura dos radicais DPPH e do ABTS, sendo possível considerar que o consumo da seriguela é uma alternativa para ingestão de antioxidantes naturais. O conhecimento do potencial antioxidante de um grupo de fitoquímico presente em um alimento não indica, necessariamente, sua

capacidade antioxidante. Pois, pode existir efeito sinérgico entre os diferentes compostos antioxidantes, desta forma, o efeito antioxidante total pode ser maior do que a soma das atividades individuais (SANTOS et al., 2016).

3.4. Compostos Bioativos

As plantas produzem compostos bioativos como metabólitos secundários, muitos com ação antioxidante e outras importantes atividades biológicas, como anticarcinogênica, antiviral, anti-inflamatória, dentre outras, sendo, portanto, frequentemente utilizados na indústria farmacêutica e, também, alimentícia (NOREEN et al., 2017). As propriedades antioxidantes dos compostos fenólicos têm atraído cada vez mais a atenção de pesquisadores e consumidores, devido os seus inúmeros benefícios à saúde humana (ALBAYRAK; ATASAGUN; AKSOY, 2017; HAN; YU; WANG, 2018).

Extratos vegetais contendo fitoquímicos com ação antioxidante podem ser utilizados para a eliminação de radicais livres, devido a sua ação redox, que promove retardo de danos oxidativos a biomoléculas, como lipídios, proteínas e ácidos nucleicos (ALBAYRAK; ATASAGUN; AKSOY, 2017; KAM et al., 2018). Nas plantas, os compostos fenólicos têm múltiplas funções, como reguladores de mecanismos de defesa contra predadores e agentes patógenos, contra a radiação UV e demais condições adversas do meio, além de serem responsáveis pela cor, odor, sabor adstringente e estabilidade oxidativa dos alimentos (SANTOS et al., 2017; RAHMAN; CAMARGO; SHAHIDI, 2017).

3.4.1. Compostos Fenólicos

Dentre os compostos bioativos, os fenólicos presentes em muitos extratos vegetais destacam-se como potentes antioxidantes, por possuírem propriedades redutoras úteis para a neutralização e sequestro de radicais livres (SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2017). O maior interesse na utilização dos compostos fenólicos decorre de sua capacidade de inibir e eliminar a formação de radicais livres in vivo, além de apresentarem ação antimicrobiana, contribuindo na prevenção ou retardo da deterioração microbiológica dos alimentos. A incorporação desses compostos antimicrobianos em alimentos amplia o tempo de pratelei-

ra do produto, principalmente aqueles com elevada umidade e que necessitem de consumo rápido (NOREEN et al., 2017; ORTEGA-TORO et al., 2017).

Os compostos fenólicos ou polifenóis apresentam estrutura química extremamente diversificada, porém, como característica, possuem anel aromático com uma ou mais hidroxilas, incluindo os seus grupos funcionais. Esse grupo de compostos abrange desde moléculas mais simples, como os fenóis, até polímeros complexos, como lignina e taninos. Estão amplamente distribuídos no reino vegetal e englobam uma gama de substâncias, com mais de 8000 estruturas fenólicas conhecidas (RENARD, 2018)). Nas plantas, os polifenóis, metabólitos secundários, são sintetizados em respostas a situações críticas e de estresse, podendo ser encontrados em todas as partes dos vegetais, como caules, folhas e frutos. No entanto, as maiores concentrações podem estar disponíveis em partes específicas da planta, e no caso dos frutos, a casca pode apresentar maior teor de compostos fenólicos em relação à polpa (SILVA et al., 2017).

O teor de fenólicos de cada vegetal difere conforme a sua maturidade, tipo de tecido e condições de crescimento e armazenamento (MAKITA et al., 2016). Os principais compostos fenólicos presentes em alimentos e que fazem parte da dieta são os ácidos fenólicos, e os flavonóides. Estes fitoquímicos ocorrem nos alimentos em quantidades que variam entre 1 a 3 mg/kg, e são difíceis de serem avaliados devido à complexidade e ao elevado número de compostos presentes nas matrizes. Além disso, a quantidade e tipos desses compostos podem variar de acordo com alguns fatores como espécie, cultivar, sistema de cultivo, localização geográfica, estádio de maturação, partes avaliadas e condições de armazenamento (KING, 1999). Silva et al. (2012) reportaram que o teor de compostos fenólicos totais em diversos genótipos de seriguela, variaram de 351,3 a 862,3 mg EAG.100g^{-1} de polpa. Estes quantitativos permitiram considerar os frutos como excelentes fontes desses fitoquímicos.

Os compostos fenólicos se degradam facilmente durante o processamento e armazenamento de alimentos, pois são altamente sensíveis a fatores como luz, pH, temperatura, presença de oxigênio e enzimas (ARIYARATHNA; KARUNARATNE, 2015). A eficácia destes compostos depende da sua estabilidade durante o processamento e armazenamento dos alimentos. Além disso, a sua biodisponibilidade pode ser afetada no decorrer da digestão, a depender das condições do

trato gastrointestinal dos humanos (GAN et al., 2017). Portanto, torna-se importante a aplicação de tecnologias que visem minimizar a degradação destes compostos durante o processamento e armazenamento de alimentos. Dentre as técnicas disponíveis, a microencapsulação apresenta-se como eficiente na proteção de ingredientes ativos uma vez que reduz a volatilização dos aromas durante o armazenamento, inibe a reatividade dos compostos com fatores ambientais e as interações indesejáveis com outros componentes dos alimentos. Como consequência, diminui as alterações de cor, de perda do valor nutricional e a separação de componentes reativos ou incompatíveis (BORGES et al., 2016).

3.5. Microencapsulação

A microencapsulação, método que protege os compostos sensíveis quando expostos as condições adversas, como altas temperaturas, presença de luz, oxigênio, entre outros, tem como finalidade aprisionar a substância (CELLI; GHANEM; BROOKS, 2015). Esta técnica propicia uma barreira física entre o núcleo, constituído pela substância encapsulada e os outros componentes do produto. Desta forma, muitos produtos que eram considerados tecnicamente inviáveis para a desidratação agora são possíveis (DOMIAN; BRYNDA-KOPYTOWSKA; OLEKSZA, 2015; PAULO; SANTOS, 2017). A microencapsulação destaca-se, também, por permitir um controle sofisticado de certas propriedades do produto e por ser uma tecnologia que envolve processos complexos que permitem incorporar a um material ativo novas propriedades funcionais e "inteligentes", como a liberação ou atuação controlada em um meio específico ou em condições apropriadas, tornando mais eficaz o produto final que conterá esse material (FANG; BHANDARI, 2010).

A microencapsulação pode ser definida como um processo em que pequenas partículas sólidas, gotículas de líquidos ou compostos gasosos, geralmente definidos como ingredientes ativos (material de núcleo) são envolvidos, aprisionados por um revestimento ou incorporados em uma matriz homogênea ou heterogênea (material secundário ou de parede), de modo a obter pequenas cápsulas com muitas propriedades úteis (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018; GONÇALVES; ESTEVINHO; ROCHA, 2016). Diversas técnicas estão disponíveis para obtenção de microencapsulação, (DAVIDOV-PARDO; AROZARENA; MAR´IN-

ARROYO, 2013) porém a atomização mostra-se mais efetiva na proteção de compostos fenólicos (TOLUN; ALTINTAS; ARTIK, 2016).

3.5.1. Atomização

A microencapsulação por atomização caracteriza-se por ser um dos métodos mais antigos de encapsulação. Relatos indicam que foi aplicado pela primeira vez na década de 1930 para encapsular aromas utilizando goma acácia como material de revestimento (GHARSALLAOUI et al., 2007). Desde então, tem sido amplamente aplicada na indústria de alimentos, possibilitando o encapsulamento de líquidos, partículas solidas e até mesmo gases. A aplicação do atomizador no processo de microencapsulação envolve basicamente três etapas: atomização da amostra, secagem de gotículas líquidas e a recuperação do pó (SHISHIR; CHEN, 2017).

A atomização de sucos de frutas tende a apresentar alguns problemas durante o processo, tais como a aderência do pó a câmara de secagem, redução do rendimento do produto e aumento da viscosidade durante a manipulação e armazenamento (TODISCO et al., 2013; ZAREIFARD et al., 2012; TRUONG, 2005). Este fenômeno ocorre devido à presença de açúcares de baixo peso molecular e da baixa temperatura de transição vítrea, de natureza higroscópica e termoplástica, em especial sacarose, glicose e frutose, os quais provocam mudanças na viscosidade, solubilidade e higroscopicidade do pó (TODISCO et al., 2013; PHISUT, 2012; ZAREIFARD et al., 2012; TRUONG, 2005). A fim de solucionar os problemas de secagem relacionados à aderência do pó, é recomendada a adição de agentes carreadores durante o processo de atomização (CANO-HIGUITA; MALACRIDA; TELIS, 2015; BORA et al., 2018).

3.6. Agentes carreadores

A seleção do agente carreador depende das propriedades físico-químicas do material a ser microencapsulado, do processo utilizado para formar a partícula e das propriedades finais desejadas (SHISHIR; CHEN, 2017). Um material de cobertura ideal deve ser insolúvel e não reativo com o material de recheio, ser de fácil manipulação (apresentar uma baixa viscosidade a altas concentrações), ter habilidade para dispersar ou emulsificar o material ativo e estabilizar a emulsão

produzida, aprisionar e manter o material ativo dentro da sua estrutura durante o processamento e estocagem. Além disso, deve liberar completamente o solvente ou outro material que será usado durante o processo de encapsulação, proporcionar a máxima proteção ao material ativo contra condições ambientes, ser solúvel em solventes utilizados na indústria de alimentos, apresentar boa disponibilidade no mercado e baixo custo (KEMP et al., 2016, BORA et al., 2018).

Os agentes carreadores ou material de parede a serem utilizados na microencapsulação são geralmente carboidratos (amidos, maltodextrinas, xaropes de milho, dextranas, sacarose, e ciclodextrinas), celulose (carboximetilcelulose, metilcelulose, etc.), gomas (goma arábica, ágar, carragena, etc.), lipídeos (ceras, parafina, etc.) e proteínas (glúten, gelatinas, albumina e peptídeos) (MORENO et al., 2016; EZHILARASI et al.,2013).

Embora vários tipos de agentes encapsulantes possam ser usados, algumas características devem ser observadas, incluindo sua capacidade para formar filmes, biodegradabilidade, resistência ao trato gastrointestinal, viscosidade, teor de sólidos, higroscopicidade e custo (SILVA et al., 2013). Fang e Bhandari (2011) relatam que uma matriz isolada nem sempre apresenta todas as características requeridas para um material de parede. Sendo assim, o emprego de mistura de polímeros em diferentes proporções tem sido investigado com vistas a obter melhor eficiência na encapsulação e menor custo do processo.

3.6.1. Maltodextrina

Dentre os principais agentes carreadores utilizados em alimentos, as maltodextrinas têm sido comumente empregadas na atomização de sucos de frutas (MORENO et al., 2016; MISHRA; BRAHMA; SETH, 2017). Este material apresenta solubilidade em água e baixa viscosidade mesmo em soluções concentradas. Sua estrutura é composta por múltiplas unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas do tipo α (1→4) e são classificadas por seu equivalente de dextrose (DE–dextrose equivalente), uma medida do grau de hidrólise do polímero de glicose às suas unidades monoméricas constituintes e, portanto, estão disponíveis em diferentes pesos moleculares. A maltodextrina tem por característica sabor suave ou apenas moderadamente doce, apresentando boa relação entre custo e

eficácia, apesar da sua capacidade de emulsão limitada e ter baixa retenção de compostos voláteis (MORENO et al., 2016).

A maltodextrina está disponível em diferentes Dextroses Equivalentes (DE), (COSTA et al., 2015; NURHADI; ROOS; MAIDANNYK, 2016; PYCIA; GALKOWSKA; JUSZCZAK, 2017) cujo valor da DE é inversamente proporcional ao peso molecular e ao grau de polimerização, ou seja, quanto maior a DE menor é o peso molecular e menor o grau de polimerização (COSTA et al., 2015; SAA-VEDRA-LEOS et al., 2015). É importante destacar que maltodextrina com mesma DE pode exibir diferentes propriedades físico-químicas se forem obtidas de fontes de amido variadas (batata, milho, trigo e banana). Desta forma, conhecer a origem é importante, pois determinará a sua estrutura molecular e o índice de amilose e amilopectina (PYCIA et al., 2016).

A Maltodextrina tem como característica formar uma película de revestimento no material encapsulado, minimizando o contato deste com o oxigênio e outros fatores adversos (COSTA et al., 2015; AKHAVAN MAHDAVI et al., 2016). Esse agente encapsulante vem sendo utilizado com sucesso na microencapsulação de compostos bioativos, atuando na sua proteção e melhorando sua estabilidade (NEDOVIC et al., 2011). Diversos estudos relatam a utilização deste carboidrato no processo de secagem por atomização, como em suco de manga (CANO-HIGUITA et al., 2015), extrato de chá verde (TENGSE et al., 2017), suco de cenoura e aipo (MOVAHHED; MOHEBBI, 2016), suco de laranja (SORMOLI; LANGRISH, 2015), bagaço de azeitona (PAINI et al., 2015), extrato de gengibre (SIMON-BROWN et al., 2016) e infusão de louro (MEDINA-TORRES et al., 2016). O uso deste agente facilita a secagem, propicia a eficiência da microencapsulação e aumenta a estabilidade do pó durante o armazenamento.

3.6.2. Goma Arábica

A goma arábica (ou goma acácia), polissacarídeo proveniente de árvores de Acácia (*Acacia senegal* e *Acacia seyal*), originária das regiões sub-desérticas da África e Sudão. Essa substância, muito utilizada na área alimentícia, é constituída por um arranjo altamente ramificado de galactose, arabinose, ramnose e ácido glucurônico, contendo, ainda, cerca de 2 % de um componente proteico ligado covalentemente a esse arranjo molecular, exercendo um papel crucial na deter-

minação das propriedades emulsificantes da goma (SUKHOTU et al., 2016; VASILE et al., 2016; COSTA et al., 2015). A goma arábica é bastante efetiva como material de parede (encapsulante) por formar emulsão estável, apresentar boa retenção de voláteis (HOSSEINI et al., 2015), solubilidade em água e baixa viscosidade, podendo ser utilizada em concentração de até 50 %, pois acima disto apresenta propriedades de gel. Apresenta, ainda, boas propriedades emulsificantes e sabor suave (REINECCIUS, 1998; RAMÍREZ; TSAOUSI; RUDDEN, 2015; JAFARI et al., 2008). Estas características favorecem a produção de micropartículas com boas propriedades de proteção dos compostos bioativos (GHARSALLAOUI et al., 2007).

3.6.3. Soro de Leite

O soro de leite é o produto lácteo obtido da coagulação do leite no processo de fabricação de queijos, de caseína e de produtos similares (APIL RS, 2017). É um líquido opaco de coloração amarelo-esverdeada, devido à presença de riboflavina (vitamina B2), que apresenta sabor e odor bastante marcantes (POPPI et al., 2010; SMITHERS, 2008). O soro de leite representa de 80 a 90 % do volume total do leite utilizado durante a produção de queijos e contém, aproximadamente, 55 % dos nutrientes do leite: proteínas solúveis, lactose, vitaminas, minerais e uma quantidade mínima de gordura (ALVES et al., 2014). A projeção para produção no ano de 2017, foi de aproximadamente 7,2 milhões de toneladas/ano de soro de leite produzidas no país (OECD/FAO, 2016). Até 2022, espera-se que seja um segmento de maior crescimento em termos de produtos alimentares, atingindo 9 milhões de dólares (MORDOR INTELLIGENCE, 2017). Os laticínios que comercializam o soro líquido gerado podem obter rendimentos que representam até 10 % no faturamento total da empresa, o que é bastante promissor (SOUZA, 2017).

Caso seja descartado indevidamente no solo e em rios, pode causar sérios problemas de poluição ambiental (SILVA; BOLINI, 2006). Alternativas tecnológicas para o seu adequado aproveitamento vêm sendo realizadas com o objetivo de agregar valor a esta matéria-prima, tornando-o um coproduto, pois é rico em proteínas de alto valor biológico, sendo considerado um subproduto de relevante im-

portância na indústria de laticínios, tendo em vista o volume produzido (KUMAR; VANDNA, HATI, 2016).

Devido ao perfil proteico das proteínas do soro de leite, a indústria alimentar utiliza o soro e os seus produtos em bens de pastelaria, bebidas, molhos, enlatados (frutas e vegetais), congelados, compotas, geleias e substitutos da gordura. Dada a importância nutricional destas proteínas, existe um mercado que valoriza a comercialização de soro em pó e proteínas do soro em pó (BRANDELLI; DAROIT; CORRÊA, 2015; YADAV et al., 2015).

As proteínas do soro na forma de concentrado proteico de soro (CPS) ou ainda isolado proteico de soro (IPS) têm sido utilizadas como encapsulantes (DOHERTY et al., 2011; GBASSI; VANDAMME; YOLOU, 2011). No entanto, o uso de soro de leite na forma líquida foi estudado somente por Pimentel-González et al. (2009), que empregaram o soro concentrado como emulsificante na microencapsulação de *Lactobacillus rhamnosus* por emulsificação.

3.7. Características das micropartículas

Os produtos microencapsulados possuem composição química e características físicas diferentes, pois são obtidos de fontes diversas e dependem principalmente das variáveis operacionais durante a secagem (temperaturas de entrada e saída do ar), vazão de alimentação, pressão da câmara, da composição da matéria prima ou alimentar, da concentração de sólidos e também do tipo e concentração de agente carreador utilizado na formulação (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010; PAULO; SANTOS, 2017). Algumas propriedades, como cor e sabor podem ser afetadas não só pelas propriedades do material inicial (composição, concentração, viscosidade etc.), como também pelas condições de processo, além de outros fatores (BORA et al., 2018; CAI; CORKE, 2000). Portanto, diferenças na forma, estrutura, composição e os comportamentos dos pós devem ser mais bem compreendidos (RAY; RAYCHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2016).

A micropartícula produzida é classificada em relação ao tamanho e morfologia, de acordo com o encapsulante e o método de microencapsulação empregado (BAKRY et al., 2015). Conforme Silva et al. (2014), as partículas podem ser classificadas de acordo com seu tamanho em macropartículas (≥ 5.000 μm), micropartículas (0,2 a 5.000 μm) e nanopartículas (≤ 0,2 μm). As-

sim, as análises de microestrutura e distribuição do tamanho de partículas são extremamente relevantes para a caracterização do produto.

Apesar de serem considerados estáveis ao armazenamento, e demonstrar benefícios ao manuseio e transporte, por causa de sua natureza química, estudos demonstram que os pós são sensíveis as variações de umidade, pressão, conteúdo de água e temperatura (MAHDAVI et al., 2016; SHISHIR; CHEN, 2017). Sendo, portanto, importante estudar a estabilidade de encapsulados, além de definir as condições operacionais da encapsulação para obtenção de produto com baixo teor de umidade, atividade de água, e teor elevado de compostos bioativos.

Muitas pesquisas têm se dedicado ao estudo da estabilidade físico-química de extratos atomizados. Daza et al. (2016) avaliando a estabilidade do extrato de cagaita atomizado reportam uma perda superior a 25 % no teor de compostos fenólicos ao final do período de armazenamento (120 dias) a 30 °C, em 32,8 % de umidade relativa. Medina-Torres (2016) estudando a atomização de extraro aquoso de louro, utilizando maltodextrina, obteve 20,22 ± 0,30 mg GAE/g do louro. Simon-Brown et al. (2016) analisando a estabilidade de compostos fenólicos em extrato de gengibre, utilizando maltodextrina e goma arábica como materiais de parede, observaram que os fenólicos contidos no produto final apresentaram boa estabilidade e ação antioxidante.

Frente a estas constatações torna-se relevante estudar a microencapsulação do extrato do resíduo de seriguela, empregando blendas de maltodextrina, goma arábica e/ou soro de leite como agentes encapsulantes, com vistas a obter produto com característica antioxidante mais estável e significante teor de compostos fenólicos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABRAFRUTAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES EXPORTADORES DE FRUTAS. **A Associação.** Disponível em: <http://abrafrutas.org/index.php?option=com_content&view=article&id=53&Itemid=255&lang=pt-br>. Acesso em: 26 set. 2018.

AHMED, M., GUO, X., ZHAO, X-M. Determination and analysis of trace metals and surfactant in air particulate matter during biomass burning haze episode in **Malaysia. Atmospheric Environment**, v. 141, p. 219 –229. 2016.

AIZPURUA-OLAIZOLA, O., ORMAZABAL, M., VALLEJO, A., OLIVARES, M., NAVARRO, P., ETXEBARRIA, N., USOBIAGA, A. Optimization of supercritical fluid consecutive extractions of fatty acids and polyphenols from Vitis Vinifera grape wastes. **Journal of Food Science**, v.80, n.1, p.101-107, 2016.

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

ALBAYRAK, S.; ATASAGUN, B.; AKSOY, A. Comparison of phenolic components and biological activities of two Centaurea sp. obtained by three extraction techniques. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, Kayseri, Turkey. v. 10, n. 6, p. 599–606, 2017.

ALMEIDA, M. M. B.; SOUSA, P. H. M.; ARRIAGA, A. M. C.; PRADO, G. M.; MAGALHÃES, C. E. C.; MAIA, G. A.; LEMOS, T. L. G. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruitsfrom northeastern Brazil. **Food Research International**, v. 44, p. 2155–2159, 2011.

ALMEIDA, C. L. F. de; BRITO, S. A.; SANTANA, T. I.; COSTA, H. B. A. C.; JUNIOR, C. H. R. de C.; SILVA, M. V.; ALMEIDA. L. L.; ROLIM, L. A.; SANTOS, V. L.; WANDERLEY, A. G.; SILVA, T. G. Spondias purpurea L. (Anacardiaceae): Antioxidant and Antiulcer Activities of the Leaf Hexane Extract. **Hindawi Oxidative Medicine and Cellular Longevity**. Recife, Pernambuco, Brazil. v. 2017, 2017.

ALVES, M.P.; MOREIRA, R. O., RODRIGUES JÚNIOR, P. H., MARTINS, M. C. FREITAS, PERRONE, I.T., CARVALHO, A. F. Soro de leite: tecnologias para o processamento de coprodutos. **Revista do Instituto Latticinios Cândido Tostes**, v. 69, n. 3, p. 212-226, 2014.

ANDRADE, R. A. M. S., MACIEL, M. I. S., SANTOS, A. M. P., MELO, E. A. Optimization of the extraction process of polyphenols from cashew apple agro-industrial residues. **Food Science and Technology**, v.35, p.354-360, 2015.

ANDRADE, A. S. A. D. **Estudo da produção de enzimas pectinolíticas e celulolíticas por fermentação em estado sólido a partir do bagaço de cajá**. TCC.UFPB. João Pessoa -PB. 2016.

APIL RS, Soro, a riqueza desperdiçada: de descarte na fabricação de queijos à produto de alto valor industrial. **Revista Leite & Queijos**, Porto Alegre, v. 6, n. 33, p.8-12, abr. 2017.

ARIYARATHNA, I.R.; KARUNARATNE, N.D. Use of chickpea protein for encapsulation of folate to enhance nutritional potency and stability. **Food and Bioproducts Processing**, v. 95, p. 76–82, 2015.

BABBAR, N., OBEROI, H.S., UPPAL, D.S., PATIL, R.T. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. **Food Research International**, v.44, p.391–396, 2011.

BAKRY, A. M.; ABBAS, S.; ALI, B.; MAJEED, H.; ABOUELWAFA, M. Y.; MOUSA, A.; LIANG, L. Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. Comprehensive Reviews in **Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 1, p. 143-182, 2015.

BICAS, J. L.; MOLINA, G.; DIONÍSIO, A. P.; BARROS, F. F. C.; WAGNER, R.; MARÓSTICA, M. R.; PASTORE, G. M. Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. **Food Research International**, Ouro Branco, Minas Gerais, Brazil. v. 44, n. 7, p. 1843–1855, 2011.

BORA, A.F.M.; MA, S.; LI, X.; LIU, L.Application of microencapsulation for the safe delivery of green tea polyphenols in food systems: Review and recent advances.**Food Research International**, v. 105, p. 241-249, 2018.

BORGES, K. C.; AZEVEDO, J.C.; MEDEIROS, M.F.; CORREIRA, R.T. Physico-chemical characterization and bioactive value of tropical berry pomaces after spouted bed drying. **Journal of Food Quality**, v. 39p.192-200,2016.

BRANDELLI, A., DAROIT, D. J., CORRÊA, A. P. F. Whey as a source of peptides with remarkable biological activities.**Food Research International**, 73, 149-161, 2015.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray dried amaranthus beta-cyanin pigments. **Journal of Food Science**, v.65, p.1248-1252, 2000.

ÇAM, M., İÇYER, N. C; ERDOĞAN, F. Pomegranate peel phenolics: microencapsulation, storage stability and potential ingredient for functional food development **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie**, v.55, n.1, p.117- 123, 2014.

CANO-HIGUITA, D. M., MALACRIDA, C. R., & TELIS, V. R. N. Stability of curcumin microencapsulated by spray and freeze drying in binary and ternary matrices of maltodextrin, Arabic gum and modified starch. **Journal of Food Processing and Preservation**, 39(6), 2049-2060, 2015.

CELLI, G. B., GHANEM, A., BROOKS, M. S. Bioactive Encapsulated Powders for Functional Foods – a Review of Methods and Current Limitations. **Food and bioprocess technology**, v. 8, p.1825–1837, 2015.

COSTA, S. S.; MACHADO, B. A. S.; MARTIN, A. R.; BAGNARA, F.; RAGADALLI, S. A.; ALVES, A. R. C. Drying by spray drying in the food industry: Micro-encapsulation, process parameters and main carriers used. **African Journal of Food Science**,v. 9, n. 9, 462-470, 2015.

DAVIDOV-PARDO G, AROZARENA I, MAR´IN-ARROYO M.R. Optimization of a wall material formulation to microencapsulate a grape seed extract using a mixture design of experiments. **Food Bioprocess Technology.** v.6, n.4, p.941-951, 2013.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C.S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (Eugenia dysentericaDC.) fruit extracts. **Food and Bioproducts Processing**,v. 97, p. 20-29, 2016.

DOHERTY, S. B., GEE, V. L., ROSS, R. P., STANTON, C., FITZGERALD, G. F., & BRODKORB, A. Development and characterisation of whey protein micro-beads as potential matrices for probiotic protection. **Food Hydrocolloids**, 25(6), 1604–1617, 2011.

DOMIAN, E.; BRYNDA-KOPYTOWSKA, A.; OLEKSZA, K. Rheological properties and physical stability of o/w emulsions stabilized by OSA starch with trehalose. **Food Hydrocolloids**, v. 44, p. 49–58, 2015.

DOS SANTOS, T.C.; AMORIM, G.M.; BONOMO, C.F.; FRANCO, M. Determinação da atividade de CMCase e FPase da estipe fúngica Rhizopus sp. através da bioconversão do resíduo de seriguela (Spondias purpúrea L.). **Journal of Health Sciences**, v. 13, n. 3, 2015.

EZHILARASI, P. N.; KARTHIK, P.; CHHANWAL, N.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review.**Food and Bioprocess Technology**,v. 6, n. 3, p. 628-647, 2013.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols -a review. Trends in **Food Science & Technology**, v. 21, n. 10, p. 510-523, 2010.

FANG, Z., BHANDARI, B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v.129, p.1139–1147, 2011.

FERREIRA, A.P.R.; DA COSTA, J.P.; SOUSA, S.L.; RIBEIRO, L.C.; COSTA, J.M.C. Comportamento Higroscópico de Polpa de Seriguela Atomizada Utilizando Diferentes Agentes Carreadores de Secagem. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 3900-3907, 2015.

FILHO, W.B. N; FRANCO, C.R. Avaliação do Potencial dos Resíduos Produzidos Através do Processamento Agroindustrial no Brasil.**Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

FUGEL, R.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Determination of the fruit content of cherry fruit preparations by gravimetric quantification of hemicellulose. **Food Chemistry**, v. 95, n. 1, p.163-168, 2006.

GAN, R.Y.; LUI, W.Y.; KAO, W.; CHAN, C.L.; DAI, S.H.; SUI, Z.Q.; CORKE, H. Bioactive compounds and bioactivities of germinated edible seeds and sprouts: An updated review.**Trends in food science & technology**, v. 59, p. 1-14, 2017.

GBASSI, G.K., VANDAMME, T., YOLOU, F.S. *In vitro* effects of pH, bile salts and enzymes on the release and viability of encapsulated *Lactobacillus plantarum* strains in a gastrointestinal tract model. **International Dairy Journal**, v.21, n.2, p.97-102, 2011.

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

GONÇALVES, A.; ESTEVINHO, B.N.; ROCHA, F. Microencapsulation of vitamin A: a review.Trends in **Food Science & Technology**, v. 51, p. 76-87, 2016.

GONZALEZ-AGUILAR, G. A., ROBLES-SANCHEZ, R. M., MARTINEZ TELLEZ, M. A., OLIVAS, G. I., ALVAREZ-PARRILLA, E., DE LA ROSA, L. Bioactive compounds in fruits: health benefits and effect of storage conditions. **Stewart Postharvest Review**, v.4, n.3, p.1-10, 2008.

HAN, Y.; YU, M.; WANG, L. Preparation and characterization of antioxidant soy protein isolate films incorporating licorice residue extract. **Food Hydrocolloids**, Harbin, China. v. 75, p. 13–21, 2018.

HOSSEINI, A., JAFARI, S. M., MIRZAEI, H., ASGHARI, A., AKHAVAN, S. Application of image processing to assess emulsion stability and emulsification properties of Arabic gum. **Carbohydrate Polymers**. v.126, p.1–8, 2015.

JAFARI, S. M.; ASSADPOOR, E.; BHANDARI, B. Encapsulation Efficiency of Food Flavours and Oils during Spray Dryer. **DryerTechnology**, Nova Iorque, v. 26, n. 7, p. 816–835, 2008.

JIMENEZ, J.; SERRANO, J.; TABERNERO, M.; ARRANZ, S.; DÍAZ-RUBIO, M.E.; GOÑI, I.; GARCIA-DIZ, L.; SAURA-CALIXTO, F.; Effects of grape antioxidante

die-tary fiber in cardiovascular disease factors. **Nutrition**. Vol. 24, p. 645-653, 2008.

KAM, W. Y. J.; MIRHOSSEINI, H.; ABAS, F.; HUSSAIN, N.; HEDAYATNIA, S.; FLORENCE CHONG, H. L. Antioxidant activity enhancement of biodegradable film asactive packaging utilizing crude extract from durian leaf waste. **Food Control, Selangor**, Malaysia. v. 90, p. 66–72, 2018.

KEMP, I.C.; HARTWIG, T.; HAMILTON, P.; WADLEY, R.; BISTEN, A. Production of fine lactose particles from organic solvent in laboratory and commercial-scale spray dryers. **Drying Technology**, v. 34, p. 830–842, 2016.

KING, A.H. Encapsulation of food ingredients. In: RISCH, S.J.; REINECCIUS, G.A. Encapsulation and controlled release of food ingredients. ACS **Symposim Series**, 590. Washington. DC: ACS. p.26-39, 1999.

KRISHNA, A., JYOTHIKA, M. A. review on microcapsules. **Canadian Journal of Plant and Science,** v.4, n.2, p.26-33, 2015.

KUMAR, N., VANDNA, HATI, S. Fermented and Non Fermented Whey Beverages. Beverage **Food World** 42, 5, 2016.

LÓPEZ-MARCOS, M.C.; BAILINA. C.; VIUDA-MARTOS. M.; PÉREZ-ALVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. Properties of dietary fibers from agroindustrial co-products as source for fiber-enriched foods. **Food Bioprocess Technology**, v. 8, p. 2400-2408, 2015.

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

MAKITA, C.; CHIMUKA, L.; STEENKAMP, P.; CUKROWSKA, E.; MADALA, E. Comparative analyses of flavonoid content in Moringa oleifera and Moringa ovalifolia with the aid of UHPLC-qTOF-MS fingerprinting. South African **Journal of Botany**, v. 105, p. 116–122, 2016.

MEDINA-TORRES, L. SANTIAGO-ADAME, R.; CALDERAS, F.; GALLEGOS-INFANTE, J.A.; GONZÁLEZ-LAREDO, R.F.; ROCHA-GUZMÁND, N.E.; NÚNEZ-RAMÍREZ, D.M.; BERNAD-BERNADA, M.J.; MANERO, O. Microencapsulation by spray drying of laurel infusions (Litseaglaucescens) with maltodextrin.**Industrial Crops and Products**, v. 90, p. 1-8, 2016.

MISHRA, P.; BRAHMA, A.; SETH, D. Physicochemical, functionality and storage stability of hog plum (Spondia pinnata) juice powder produced by spray drying. **Journal Food Science Technology**, v. 54, p. 1052-1061, 2017.

MORAIS, M. L.; SILVA, A.C.R.; ARAÚJO, C.R.R.; ESTEVES, E.A.; DESSIMONI-PINTO, N.A.V. Determinação do potencial antioxidante in vitro de frutos do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 355-360, 2013.

MORDOR INTELLIGENCE, 2017. Whey Protein Market -Growth, Trends and Forecast (2017-2022).Glob.WheyProteinMark.Disponível em https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-whey-protein-market Acesso em: 08 janeiro. 2020.

MORENO, T.; DE PAZ, E.; NAVARRO, I.; RODRÍGUEZ-ROJO, S.; MATÍAS, A.; DUARTE, C.; SANZ-BUENHOMBRE, M.; COCERO, M. J. Spray Drying Formulation of Polyphenols-Rich Grape Marc Extract: Evaluation of Operating Conditions and Different Natural Carriers. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, p. 2046–2058, 2016.

MOVAHHED, K.M.; MOHEBBI, M. Spray drying and process optimization of carrot–celery juice.**Journal of Food Processing and Preservation**, v. 40, n. 2, p. 212-225, 2016.

NEDOVIC, V., KALUSEVIC, A., MANOJLOVIC, V., LEVIC, S., BUGARSKI, B. An overview of encapsulation technologies for food application. **Procedia Food Science**, v.1, p.1806-1815, 2011.

NOREEN, H.; SEMMAR, N.; FARMAN, M.; MCCULLAGH, J. S. O. Measurement of total phenolic content and antioxidant activity of aerial parts of medicinal plant Coronopus didymus. Asian Pacific **Journal of Tropical Medicine,** Islamabad, Pakistan. n. August, p. 1–10, 2017.

NURHADI, B., ROOS, Y. H., MAIDANNYK, V. Physical properties of maltodextrin DE 10: water sorption:water plasticization and enthalpyrelaxation. **Journal of Food Engineering**, 174, 68–74, 2016.

OECD/FAO, 2016. **Dairy and Dairy Products**: Market situation. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2016-11. Acesso em: 18 out. 2018.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P.R. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, p. 641-650, 2010.

OLIVEIRA, G. L. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH: estudo de revisão**. Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 36-44, 2015.

OMENA, C. M. B.; VALENTIM, I. B.; GUEDES, G. S.; RABELO, L. A.; MANO, C. M.; BECHARA, E. J. H.; SAWAYA, A. C. H. F.; TREVISAN, M. T. S.; COSTA, J. G.; FERREIRA, R. C. S.;SANT'ANA, A. E. G.; GOULART, M. O. F. Antioxidant, anti-acetylcholinesterase and cytotoxic activities of ethanol extracts of peel, pulp and seeds of exotic Brazilian fruits. **Food Research International**, v. 49, p. 334–344, 2012.

ORTEGA-TORO, R.; COLLAZO-BIGLIARDI, S.; ROSELLÓ, J.; SANTAMARINA, P.; CHIRALT, A. Antifungal starch-based edible films containing Aloe vera. **Food Hydrocolloids**, Bogotá, Colombia. v. 72, p. 1–10, 2017.

PAINI, M.; ALIAKBARIAN, B.; CASAZZA, A.A.; LAGAZZO, A.; BOTTER, R.; PEREGO, P.Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: a study of operative parameters.**LWT-Food Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 177-186, 2015.

PARAMAN, I.; SHARIF, M. K.; SUPRIYADI, S.; RIZVI, S.S.H. Agro-food industry byproducts into value-added extruded foods. **Food and Bioproducts Processing**, v. 96, p. 78–85, 2015.

PAULO, F; SANTOS, L. Design of experiments for microencapsulation applications: A review.**Materials Science and Engineering**: C, v.77, p. 1327-1340, 2017.

PHISUT, N. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. **International Food Research Journal**, v. 19, p. 1297-1306, 2012.

PIMENTEL-GONZÁLEZ, D.J., CAMPOS-MONTIEL, R.G., LOBATO-CALLEROS, C., PEDROZA-ISLAS, R., VERNON-CARTER, E.J. Encapsulation of Lactobacillus rhamnosus in double emulsions formulated with sweet whey as emulsifier and survival in simulated gastrointestinal conditions. **Food Research International**, v.42, p.292-297, 2009.

PINELI, L.L.O.; CARVALHO, M.V.; AGUIAR, L.A.; OLIVEIRA, G.T.; CELESTINO, S.M.C.; BOTELHO, R.B.A.; CHIARELLO, M.D. Use of baru (Brazilian almond) waste from physical extraction of oil to produce flour and cookies. **Food Science and Technology**, Zürich, v.59, n.2, p.1197-1212, 2015.

POPPI, F.A.; COSTA, M.R.; DE RENSIS, C, M, V, B.; SIVIERI, K. Soro de leite e suas proteínas: Composição e Atividade Funcional. **Ciências Biológicas da Saúde**, v.12, n.2, p.31-37, 2010.

PYCIA, K., JUSZCZAK, L., GAŁKOWSKA, D., WITCZAK, M., JAWORSK, G.Maltodextrins from chemically modified starches Selected physicochemical properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 146, p. 301–309, 2016.

PYCIA; GALKOWSKA; LESLAW; JUSZCZAK. Maltodextrins produced from chemically modified starches as agents affecting stability and rheological properties of albumin foam. LWT -**Food Science and Technology**, v. 80, p. 394-400, 2017.

RAHMAN, M. J.; CAMARGO, A. C. DE; SHAHIDI, F. Phenolic and polyphenolic profiles of chia seeds and their in vitro biological activities. **Journal of Functional Foods**, St. John's, Canada. v. 35, p. 622–634, 2017.

RAMÍREZ, I. M.; TSAOUSI, K.; RUDDEN, M.; et al. Rhamnolipid and surfactin production from olive oil mill waste as sole carbon source. **Bioresource Technology**, v. 198, p. 231–236, 2015.

RAY, S.; RAYCHAUDHURI, U.; CHAKRABORTY, R. An overview of encapsultion ofactive compoundsused in food products by drying technology. **Food Bioscience,** v. 13, p. 76-83, 2016.

REINECCIUS, G. A. Spray drying of food flavors. In: RISH, S. J. AND REINECCIUS, G. A. (Eds), Flavor Encapsulation. ACS Symposium Series 370. **American Chemical Society**, pp. 55-66, 1988.

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

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

RODRIGUEZ – AMAYA, D. B., **Biodiversidade brasileira de fontes de carotenóides.** 2010. Dissertação (mestrado) –Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campina,SP, 2010.

SAAVEDRA, L.Z., LEYVA, P.C., ARAUJO, D.S.B., TOXQUI, T.A., & BORRÁS, E.A.J. Technological application of maltodextrins according to the degree of polymerization. ***Molecules*****,** 20, 21067–21081,2015.

SANCHO, S.O; SILVA, A.R.A; DANTAS, A.N.S; MAGALHÃES, T.A; LOPES, G.S; RODRIGUES, S; COSTA, J.M.C; FERNANDES, F.A.N; SILVA, M.G.V. Characterization of the Industrial Residues of Seven Fruits and Prospection of Their Potential Application as Food Supplements. **Journal of Chemistry**, v. 2015, 2015.

SANTOS, C. X. Caracterização físico-química e análise da composição química da semente de goiaba oriunda de resíduos agroindustriais. 61p. **Dissertação**. (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia, 2011.

SANTOS, M. A. I.; SIMÃO, A.A; MARQUES, T.R.; SACKZ, A. A.; CORRÊA, A. D. Efeito de diferentes métodos de extração sobre a atividade antioxidante e o perfil de compostos fenólicos da folha de mandioca. **Brazilian Journal Food Technology,** v. 19, 2016.

SANTOS, C. C. de S.; MASULLO, M.; CERULLI, A.; MARI, A.; ESTEVAM, C. D. S.; PIZZA, C.; PIACENTE, S. Isolation of antioxidant phenolics from Schinopsis brasiliensisbased on a preliminary LC-MS profiling. **Phytochemistry**, São Cristovão, Sergipe, Brazil. v. 140, p. 45–51, 2017.

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

SHISHIR, M.R.I.; CHEN, W. Trends of spray drying: a critical review on drying of fruit and vegetable juices. Trends in **Food Science & Technology**, p. 49-67, 2017.

SILVA, K.; BOLINI, H. M. A. Avaliação sensorial de sorvete formulado com produto de soro ácido de leite bovino. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 1, n. 26, p. 116-122, 2006.

SILVA, Q. J.; MOREIRA, A. C. G.; MELO, E. A.; LIMA, V. L. A. G.; Compostos fenólicos e atividade antioxidante de genótipos de ciriguelas (spondia purpurea L.). **Alimentos e Nutrição**. Vol. 23, p. 73-80, 2012.

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

SILVA, P. T.; FRIES, L. L. M.; MENEZES, C. R.; HOLKEM, A. T.; SCHWAN, C. L.; WIGMANN, E. F.; BASTOS, J. O.; SILVA, C. B. Microencapsulation: concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, p. 1304-1311, 2014.

SILVA, R.V.; COSTA, S.C.C.; BRANCO, C.R.C.; BRANCO, A. In vitro photoprotective activity of the Spondias purpurea L. peel crude extract and its incorporation in a pharmaceutical formulation.**Industrial Crops and Products**, v. 83, p. 509-514, 2016.

SILVA, J.G.S.; REBELLATO, A.P.; GREINERB, R.; PALLONEA, J.A.L. Bioaccessibility of calcium, iron and magnesium in residues of citrus and characterization of macronutrients, **Food Research International**, v. 97, p. 162-169, 2017.

SIMON-BROWN, K.; SOLVAL, K.M.; CHOTIKO, A.; ALFARO, L.; REYES, V.; LIU, C.; DZANDU, B.; KYEREH, E.; BARNABY, A.G.; THOMPSON, I.; XU, Z.; SATHIVEL, S. Microencapsulation of ginger (Zingiber officinale) extract by spray drying technology.**LWT-Food Science and Technology**, v. 70, p. 119-125, 2016.

SMITHERS, G. Review Whey and whey proteins-From 'gutter-to-gold'. **International Dairy Journal**, v 18, p.695-704, 2008.

SORMOLI, M. E.; LANGRISH, T. Moisture sorption isotherms and net isosteric heat of sorption for spray-dried pure orange juice powder. **Food Science** and Technology,v. 62,p. 875–882, 2015.

SOUZA, F. C. **Soro de queijo - "o ouro branco"** 2017.Disponível em: <https://www.milkpoint.com.br/colunas/claucia-fernanda-souza/soro-de-queijo-o-ouro-branco-108372n.aspx>. Acesso em: 9 abr. 2019.

SUKHOTU, R.; GUO, S.; XING, J.; HU, Q.; WANG, R.; SHI, X.; NISHINARI, K.; FANG, Y.; GUO, S. Changes in physiochemical properties and stability of peanut oil body emulsions by applying gum arabic. **Food Science and Technology**, v. 68, p. 432-438, 2016.

SUN-WATERHOUSE, D. The development of fruit-based functional foods targeting the health and wellness market: a review. **International Journal of Food Science & Technology***,* v. 46, n. 5, p. 899-920, 2011.

TENGSE, D.D.; PRIYA, B.; KUMAR, P.; ARUN, R. Optimization for encapsulation of green tea (*Camellia sinensis L*.) extract by spray drying technology. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, p. 85–92, 2017.

TIBURSKI, J. H.; ROSENTHAL, A.; DELIZA, R.; OLIVEIRA GODOY, R. L. DE; PACHECO, S. Nutritional properties of yellow mombin (Spondias mombin L.) pulp**. Food Research International**, Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil. v. 44, n. 7, p. 2326–2331, 2011.

TODISCO, M. K.; COSTA, J. M. C. da; RODRIGUES, S.; CLEMENTE, E. Micro-encapsulation of Red Mombin (Spondias Purpurea L.) pulp using spray-drying. **International Journal of Sciences**, v. 2, p. 6-11,2013.

TOLUN, A., ALTINTAS, Z., ARTIK, N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization, **Journal of Biotechnology**, v.239, p.23–33, 2016.

TONON, R.V., BRABET, C., PALLET, D., BRAT, P., HUBINGER, M.D. Physico-chemical and morphological characterization of açaí (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced with different carrier agents. **Journal of Food Science and Technology**, v.44, p.1950–1958, 2009.

TONON, R.V., BRABET, C., HUBINGER, M.D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (Euterpe oleracea Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, v.43, p.907–914, 2010.

TRUONG, V. Optimization of spray drying of sugar-rich foods. In: SUN, D.-W. ed. Optimization in Food Engineering. **CRC Press Taylor& Francis Group**, LLC ed., 454-488 p, 2005.

VARGAS-SIMÓN, G. Ciruela/Mexican Plum-Spondias purpurea L. **Exotic Fruits**, Tabasco, Mexico. p. 141–152, 2018.

VASILE, F. E.; MARTINEZ, M. J.; PIZONES RUIZ-HENESTROSA, V. M.; JUDIS, M. A.; MAZZOBRE, M. F. Physicochemical, interfacial and emulsifying properties of a nonconventional exudate gum (Prosopis alba) in comparison with gum arabic. **Food Hydrocolloids**, v. 56, p. 245-253, 2016.

YADAV, J.S.S., YAN, S., PILLI, S., KUMAR, L., TYAGI, R.D., SURAMPALLI, R.Y. Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. **Biotechnol. Adv,** 2015.

ZAREIFARD, M. R.; NIAKOUSARI, M.; SHOKROLLAHI, Z.; JAVADIAN, S.; A Feasibility Study on the Drying of Lime Juice: The Relationship between the Key Operating Parameters of a Small Laboratory Spray Dryerand Product Quality. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, p. 1896–1906, 2012.

ARTIGO 1: MICROENCAPSULAÇÃO POR SPRAY DRYING DE COMPOSTOS BIOATIVOS EXTRAÍDOS DO RESÍDUO DE SERIGUELA (*Spondias purpúrea L*.) COM MALTODEXTRINA, GOMA ARÁBICA E SORO DE LEITE.

RESUMO:

Com o objetivo de avaliar a viabilidade da encapsulação por atomização do extrato hidroetanólico do resíduo de seriguela foram utilizadas diferentes temperaturas (120; 140 e 180 ºC) e os materiais de parede: maltodextrina (MD), goma arábica (GA); MD+GA; MD + Soro de leite (SL); GA+SL e MD+GA+SL, na proporção de 100:0; 100:0; 50:50; 90:10; 90:10; 45:45:10 (v/v), respectivamente. No processo de atomização manteve-se constante a pressão de 6,5 Bar; vazão do ar de secagem (28 m^3/h); alimentação da câmara de secagem com a mistura por uma bomba peristáltica com vazão de 12 mL/min. Os microencapsulados foram analisados quanto ao teor de umidade, atividade de água, teor de compostos fenólicos, ação antioxidante, eficiência e rendimento da encapsulação, densidade aparente, higroscopicidade, análise instrumental da cor, estabilidade durante o armazenamento e microscopia eletrônica. Independente da condição de processo, os microencapsulados apresentaram baixo teor de umidade (3,35 a 6,96 %) e de aw (0,11 a 0,16). Entretanto, os melhores resultados para eficiência de encapsulação (90,79 a 96,07%); rendimento (39,37 a 52,81%) e capacidade antioxidante (28,95 a 43,76%) foram obtidos usando temperatura de 140 ºC e GA; MD+GA e MD+SL. De modo geral, essas partículas apresentaram formato esférico, levemente abauladas, íntegras, sem fissuras e cor amarela clara (L= 91,34 a 92,38; Hue= 85,18 a 88,77; Croma= 7,43 a 11,15). A higroscopicidade foi <20%, com destaque para o microencapsulado com MD+GA que exibiu o menor valor (9,87 g/100 g); densidade aparente de 0,49 g/mL e estabilidade do teor de fenólicos e ação antioxidante até o 18º dia de estocagem sob refrigeração (4 ºC). A microencapsulação do resíduo de seriguela, empregando temperatura de 140 ºC e GA; MD+GA ou MD+SL como material encapsulante mostrou ser uma técnica promissora para obtenção do extrato em pó, com potencial aplicação em alimentos, visando a elaboração de produtos com propriedades funcionais.

Palavras-chaves: *Spondias purpúrea L*.; Atomização; Compostos Bioativos.

ABSTRACT:

In order to evaluate the viability of the encapsulation by atomization of the hydro-ethanolic extra-to of the silken residue, different temperatures (120; 140 and 180 ºC) and the wall materials were used: maltodextrin (MD), gum arabic (GA) MD + GA; MD + SL (whey = SL); GA + SL and MD + GA + SL, in the proportion of 100: 0; 100: 0; 50:50; 90:10; 90:10; 45:45:10 (v / v), respectively. In the atomization process, the pressure of 6.5 Bar was kept constant; drying air flow (28 m3 / h); feeding the drying chamber with the mixture through a peristaltic pump with a flow rate of 12 mL / min. Microencapsules were analyzed for moisture content, water activity, phenolic compounds content, antioxidant action, encapsulation efficiency and yield, bulk density, hygroscopicity, instrumental color analysis, stability during storage and electron microscopy. Regardless of the process condition, the micro-capsules presented low moisture content (3.35 to 6.96%) and aw (0.11 to 0.16). However, the best results for encapsulation efficiency (90.79 to 96.07%); yield (39.37 to 52.81%) and antioxidant capacity (28.95 to 43.76%) were obtained using temperatures of 140 ºC and GA; MD + GA and MD + SL. In general, these parti-cles were spherical in shape, slightly rounded, intact, without fissures and light yellow in color (L = 91.34 to 92.38; Hue = 85.18 to 88.77; Chroma = 7.43 a 11.15). Hygroscopicity was <20%, with emphasis on the microencapsulated with MD + GA, which showed the lowest value (9.87 g / 100g); apparent density of 0.49 g / mL and stability of the phenolic content and antioxidant action until the 18th day of storage under refrigeration (4 ºC). The microencapsulation of the seriguela resi-due, using a temperature of 140 ºC and GA; MD + GA or MD + SL as an encapsu-lating material has shown to be a promising technique for obtaining powdered ex-tract, with potential application in foods, aiming at the elaboration of products with functional properties.

Keywords: *Spondias purpúrea L*.; Spray drying; Bioactive compounds

1. INTRODUÇÃO

No mercado internacional de frutas, o Brasil é um dos principais fornecedores, ocupando a terceira posição como produtor mundial. Frente a grande variedade de espécies frutíferas existentes no solo brasileiro, o País se destaca na produção de frutos tropicais (FAO, 2016; ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2016). Dentre as espécies exóticas, a serigueleira, árvore caducifólia de 3 a 6m de altura, pertencente à família *Anacardiacea*, originária do México e América Central, se adaptou ao clima tropical do Nordeste brasileiro. A seriguela, fruto do tipo drupa, pesando em média 15 a 20 g, é bastante apreciada por apresentar aroma e sabor agradáveis. A polpa desse fruto exibe quantidade significante de compostos fenólicos (3,11 mg GAE /g), ácido ascórbico (0,76 mg/g) e carotenoides (0,9 mg/g) (RIBEIRO et al., 2019), além de vitaminas do complexo B, ferro, cálcio e fósforo (CEVA-ANTUNES et al., 2016; NEPA/UNICAMP, 2011).

O Brasil, país de elevada produção agrícola, gera grandes quantidades de resíduos agroindustriais, motivando vários centros de pesquisa a buscarem alternativas para utilização dessa matéria orgânica gerada (TORRES et al., 2002). Esses resíduos por conterem, principalmente, material orgânico biodegradável, ao serem descartados de forma inapropriada, promovem sérios problemas ambientais (MAKRIS; BOSKOU; NIKOLAOS, 2007). Vale ressaltar que, além do mercado de frutas frescas, o de sucos e polpas congeladas vem crescendo cada vez mais, devido à alta demanda pelos consumidores (SOUSA et al., 2011). Como consequência, há uma maior geração de resíduos agroindustriais, que são constituídos de restos de polpas, cascas e caroços das frutas.

Os resíduos provenientes do processamento de frutas podem ser utilizados para desenvolver novos produtos alimentícios, uma vez que muitos desses resíduos são ricos em diversos nutrientes, como minerais, fibras além de compostos bioativos (ABUD; NARAIN, 2009). No que se refere ao resíduo agroindustrial da seriguela. Silva et al. (2016) relatam que o extrato da casca da seriguela apresenta teores relevantes de compostos fenólicos (28.68 mg GAE/g) e expressivo potencial antioxidante (74,41 %, com EC50 27.11 µg/mL). Sendo assim, o resíduo da seriguela constitui matéria-prima interessante para extração de bioativos, com ação antioxidante, na perspectiva de empregá-los em alimentos. Contudo, existem muitas limitações para aplicar estes extratos em produtos alimentares, uma

vez que os compostos bioativos presentes são bastante suscetíveis à ação da luz, calor, umidade e oxigênio (ARIYARATHNA; KARUNARATNE, 2015). Assim, torna-se relevante empregar tecnologias que propiciem a estabilidade desses compostos e preservem sua funcionalidade, protegendo-os de condições ambientais adversas, dentre as quais se destaca a microencapsulação.

Na microencapsulação, por atomização, a substância (agente ativo), no estado sólido, líquido ou gasoso, é aprisionada dentro de pequenas cápsulas, de tamanho variado (KRISHNA; JYOTHIKA, 2015), protegendo moléculas sensíveis à luz, calor, umidade ou oxidação (AIZPURUA-OLAIZOLA et al., 2016), além de melhorar a biodisponibilidade e estabilidade das moléculas e dos produtos. No processo de microencapsulação tem se utilizado uma diversidade de agentes encapsulantes que além de promoverem o revestimento dos compostos ativos de modo a proporcionar proteção durante o armazenamento prolongado, evitando a ocorrência de alterações químicas e sensoriais no material encapsulado (GOUIN, 2014; SOUZA et al., 2005), conferem forma à microcápsula (AZEREDO et al., 2005). Dentre os agentes encapsulantes mais utilizados no processo de atomização, destacam-se as maltodextrinas (MD) e goma arábica (GA), entre os mais comuns para encapsular sucos e extratos de frutas (TONON et al., 2009). Embora vários tipos de agentes encapsulantes possam ser usados, algumas características devem ser observadas, incluindo sua capacidade para formar filmes, biodegradabilidade, resistência ao trato gastrointestinal, viscosidade, teor de sólidos, higroscopicidade e custo (SILVA; ROGER, 2013). Entretanto, nem sempre um polímero reúne todas as características requeridas para um material de parede (FANG; BHANDARI, 2011), sendo necessário empregar blendas de polímeros. Assim, têm sido investigadas blendas, com diferentes proporções de polímeros, com vistas a obter melhor eficiência na encapsulação e menor custo do processo. Entretanto, além do tipo do material de parede e sua concentração, a temperatura do processo é outro fator que desempenha papel importante nas propriedades dos microencapsulados, referentes a estabilidade, eficiência da encapsulação, entre outras (LAO; GIUSTI, 2017).

Frente a estas constatações, este trabalho tem como objetivo investigar a influência da temperatura do processo de encapsulação e de diferentes materiais de parede (maltodextrina, goma arábica e soro de leite), isolados e em blendas,

sobre a eficiência da encapsulação por atomização do extrato hidroetanólico do resíduo agroindustrial, proveniente do processamento da seriguela.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de Realização

A pesquisa foi desenvolvida nos laboratórios de Análises físico-químicas de Alimentos e Processamento de Alimentos do Departamento de Ciências do Consumo da Universidade Federal Rural de Pernambuco-DCC/UFRPE e no Laboratório de Bioprocessos do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco.

2.2. Preparo das amostras

O resíduo de seriguela (casca, engaço e partes da semente) foi cedido por uma indústria produtora de polpa de fruta congelada, localizada na cidade de João Pessoa/PB. O material foi coletado diretamente da linha de produção e, imediatamente, transportado para o Laboratório de Análises Físico-químicas de Alimentos do Departamento de Ciências do Consumo da Universidade Federal Rural de Pernambuco. No laboratório, o resíduo foi submetido a secagem à 50 °C, em estufa com circulação de ar (NA 035/5 – Marconi), até atingir a umidade igual ou inferior a 10 % e, em seguida, triturado em moinho multiuso (TE 631/2 - (Tecnal). A farinha obtida, após ser peneirada, foi acondicionada em sacos de polietileno de alta densidade, envolvidos em papel alumínio, e armazenada em congelamento (-18 °C) até o desenvolvimento dos experimentos.

2.3. Obtenção do Extrato Hidroetanólico

O extrato hidroetanólico foi obtido de acordo com o procedimento proposto por Andrade et al., (2015), com modificações. Foram adicionados 20 g da farinha de seriguela a 100 mL da solução extratora (etanol a 60 %) e a mistura submetida à agitação de 400 rpm, em agitador mecânico digital (TE – 039/1 – Tecnal), à temperatura ambiente, por 30 min. Em seguida, a mistura foi centrifugada a 4000 rpm, por 15 minutos (centrifuga CT-6000 R-CIENTEC). O resíduo de centrifugação foi ressuspendido em 100 mL da solução extratora e submetido ao mesmo procedimento acima descrito. Os sobrenadantes coletados foram reunidos e o

volume final aferido para 100 mL. Alíquotas desse extrato foram submetidas à determinação do teor de fenólicos totais, ao ensaio da atividade antioxidante e o delineamento do perfil qualitativo.

2.4. Determinação analítica no extrato

2.4.1. Fenólicos Totais

O extrato hidroetanólico foi submetido à determinação do teor de fenólicos totais, por método espectrofotométrico, com espectro de absorção registrado no comprimento de onda de 725 nm, utilizando o reagente Folin-Ciocalteau (Merk) e curva de padrão de ácido gálico (WETTASINGHE; SHAHIDI, 1999). Os resultados foram expressos em µg em equivalente de ácido gálico por mL do extrato (µg EAG. mL^{-1}).

2.4.2. Capacidade antioxidante

O extrato hidroetanólico foi avaliado quanto a sua capacidade de sequestrar o radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazina (DPPH) 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:

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

2.4.3. Microencapsulação do extrato hidroetanólico de seriguela

O processo de microencapsulação foi realizado por atomização utilizando mini spray dryer (modelo LM (MSD® 1.0 LM, LABMAQ do Brasil LTDA) e Maltodextrina (MD) 10DE, goma arábica (GA), isoladas e em blendas, contendo, também, soro de leite, como matérias de parede. O estudo da microncapsulação foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira foi investigado o material de parede e a temperatura que melhor propiciou efeito protetor dos compostos fenólicos do extrato.

Na segunda etapa, os microencapsulados que apresentaram os melhores resultados foram submetidos a outras determinações analíticas.

A- Primeira etapa: MD e GA foram solubilizados, individualmente, em água destilada, sob agitação (400 rpm), por 30 min em temperatura ambiente, utilizando agitador mecânico digital (TE – 039/1 – Tecnal). As soluções obtidas foram submetidas às seguintes combinações: a) MD; b) GA; c) MD+GA d) MD+SL; e) GA+SL e f) MD+GA+SL, respectivamente, nas seguintes proporções: 100:0; 100:0; 50:50; 90:10; 90:10; 45:45:10 (v/v), atingindo concentração final de 27 % de sólidos totais e constituindo, assim, os grupos experimentais (Tabela 1).

Tabela 1- Planejamento experimental para otimização do material de parede, com base nos sólidos totais

Materiais de Parede	**Percentual de material parede relativo a 27%**					
Maltodextrina	100	-	50	90	-	45
Goma arábica	-	100	50	-	90	45
Soro de leite	-	-	-	10	10	10

Considerando os Sólidos totais (Soro= 8,1 g/100 mL; Extrato = 5,5 g/ 100 mL), e volume final de 300 mL

A solução do material de parede (encapsulante), isolado ou em blandas, foi adicionada ao extrato de seriguela, de modo a atingir concentração final de 30 % de sólidos totais, e submetidas à agitação magnética (400 rpm) para completa homogeneização da mistura. O processo de atomização de cada grupo experimental foi conduzido nas temperaturas de 120; 140 e 180 °C, mantendo-se constante a pressão de 6,5 Bar; vazão do ar de secagem de 28 m^3/h; e a alimentação da câmara de secagem com a mistura, por uma bomba peristáltica, com vazão de 12 mL/min (TOLUN; ALTINTAS; ARTIK, 2016). Ao final da atomização o microencapsulado obtido foi acondicionado em sacos polietileno “zip lock” metalizados e armazenados em dessecador para, em seguida, serem submetidos à determinação do teor de umidade, atividade de água, compostos fenólicos, ação antioxidante e a eficiência da encapsulação.

B- Segunda etapa: Os ensaios que obtiveram melhores respostas na primeira etapa foram submetidos às determinações de estabilidade do microencapsulado, higroscopicidade, densidade aparente, análise colorimétrica e microscopia eletrônica de varredura.

2.4.4. Determinação analítica do microencapsulado

2.4.4.1. Umidade

Determinada por gravimetria (AOAC, 2000) utilizando medidor de umidade balança com fonte de calor infravermelho (Marte ID50, Marconi, Brasil) e os resultados expressos em percentual (%).

2.4.4.2. Atividade de Água

Determinada utilizando o analisador de atividade de água AQUA LAB®, modelo 4TE (AOAC, 2000).

2.4.4.3. Rendimento de secagem

O rendimento de secagem (Y) foi avaliado por gravimetria considerando a relação entre a massa total do pó obtido (produto) e a massa da solução (extrato + material de parede) que alimentou o sistema, empregando a seguinte fórmula com base no teor de matéria seca (FAZAELI et al., 2012).

Y (%) = Massa das microcapsulas (g) / Massa da solução de alimentação (g) x 100

2.4.4.4. Eficiência da encapsulação (EE) – Teor de Fenólicos totais das microcápsulas (TTF) e Teor de fenólicos totais da superfície da microcapsula (TFS)

Para determinação do teor total de fenólicos do microencapsulado (TTF), 100 mg do microencapsulado foram dispersos em 1 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 microfiltro de 0,45 µm (SAÉNZ, et al., 2009). O teor de fenólicos foi determinado por método espectrofotômetro, com espectro de absorção registrado no comprimento de onda de 725 nm, utilizando o reagente de Folin-Ciocalteau (Merk) e curva padrão de ácido gálico (WETTASINGHE; SHAHIDI, 1999). Os resultados foram expressos em µg em equivalente de ácido gálico por mg microcápsulas (pó) (µg EAG.mg^{-1}).

O Teor de fenólicos totais na superfície da microcapsula (TFS) foi determinado segundo procedimento descrito por Saénz et al. (2009). 100 mg do microencapsulado foram dispersos em 1 mL de etanol:metanol (1:1 v/v), levemente agitado por 5 min e filtrado em microfiltro de 0,45 µm. O teor de fenólicos foi determinado utilizando o reagente de Folin-Ciocalteau (Merk) e curva padrão de ácido gálico (WETTASINGHE; SHAHIDI, 1999).

Eficiência do Encapsulamento (EE) foi calculada considerando a equação descrita MAHDAVI, et al., (2016).

$$EE\ (\%) = \frac{TTF - TFS}{TTF} \times 100$$

2.4.4.5. Capacidade antioxidante

Para determinação da capacidade de sequestro do radical DPPH, foram solubilizadas 15 mg do microencapsulado, em 3 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 microfiltro de 0,45 µm. Alíquotas do filtrado de 0,1 mL e 90 µL foram utilizadas, respectivamente, para determinação da capacidade de sequestro do radical DPPH (BRAND-WILLIAMS CUVELIER; BERSET, 1995), segundo procedimento descrito no item 2.4.2.

2.4.5. Determinação analítica do microencapsulado selecionado (Etapa 2)

Ao definir a temperatura do processo e o material de parede, com base nos dados das determinações acima descritas, o microencapsulado foi submetido às seguintes determinações analíticas:

2.4.5.1. Estabilidade do microencapsulado

Foram acondicionados 1,5 g do microencapsulado em vidro âmbar e armazenados em refrigeração (4 ºC ± 2 ºC) e em temperatura ambiente (28 ºC ± 2 ºC) e na ausência de luz durante 44 dias. Inicialmente, a cada 4 dias, dos primeiros 10 dias de estocagem, e em seguida, a cada 8 dias até completar o tempo de armazenamento, amostras (100 mg) foram retiradas e submetidas a determinação dos fenólicos e da atividade antioxidante.

2.4.5.2. Densidade aparente

A determinação da densidade aparente foi realizada de acordo com o método descrito por Beristain, Garcia e Vernon-Carter (2001), com algumas modificações. Dois gramas de pó foram colocados em uma proveta graduada de 10 mL e foi feita a compactação dos pós, batendo-se a proveta por 2 minutos sobre a bancada, utilizando uma altura de queda de 10 cm. A densidade aparente foi calculada, a partir do volume de amostra obtido após a compactação e será expressa em kg m^{-3}.

2.4.5.3. Higroscopicidade

Determinada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas modificações, 1,5 g do microencapsulado foi colocado a 25 °C em um recipiente hermético contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,3 %). Após 7 dias, as amostras foram pesadas, tendo sua higroscopicidade expressa como grama de umidade absorvida por 100 g de sólidos.

2.4.5.4. Microscopia eletrônica de Varredura

A uniformidade e morfologia do microencapsulado foi determinada por microscopia eletrônica, utilizando microscópio eletrônico, JEOL-6460 (SANTOS; SANTOS, 2008). As imagens obtidas no microscópio foram analisadas utilizando o software AxioVision Rel. 4.8 (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Alemanha).

2.4.5.5. Análise Colorimétrica

A cor do pó micrencapsulado foi avaliada usando o colorímetro (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. O colorímetro operando no modo de refletância e iluminante C., com ângulo de observação de 2°, foi previamente calibrado usando uma cerâmica branca. Os valores a* e b* foram utilizados para calcular o ângulo Hue ($°h^* = tang^{-1}\ b^*/\ a^*$) e croma ($C^* = (a^{*2} + b^{*2)\ ½}$).

2.4.6. Análise estatística

Todas as determinações foram efetuadas em triplicata e os resultados expressos em média ± desvio padrão. Os dados submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Ducan ($p<0,05$), utilizando o software Statistica (Statsoft 5.0, Tulsa, USA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O extrato hidroetanólico obtido do resíduo agroindustrial de seriguela apresentou teor de fenólicos totais de 1831,82 µg EAG/mL, quantidade bastante expressiva para ser descartada. Sendo assim, esse extrato foi submetido a microencapsulação empregando diferentes materiais de parede e temperaturas (120 a 180 ºC) na perspectiva de investigar o efeito destes parâmetros sobre a qualidade do produto.

3.1. Umidade (%) e Atividade de água (aw)

A atividade de água e a umidade dos microencapsulados (Tabela 2), independente das condições de processo, apresentaram valores que indicam uma disponibilidade muito pequena de água para a ocorrência de reações químicas e crescimento biológico, conferindo-lhes estabilidade química e microbiológica, o que é favorável para produtos desidratados (TONON; FREITAS; HUBINGER, 2011). Segundo Quek, Chok e Swedlund (2007), o alimento pode ser considerado microbiologicamente estável, se a atividade de água for menor do que 0,6. A atividade de água do extrato do resíduo de seriguela microencapsulado (0,11 a 0,17) encontra-se abaixo deste valor. Vale mencionar que 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 produtos alimentícios. Portanto, é classificada como um padrão de segurança e qualidade e possui relação direta com muitas reações químicas e microbiológicas que afetam a validade comercial dos alimentos (NEGRÃO-MURAKAMI et al., 2017; ETHUR; ZANATTA; SCHLABITZ, 2010).

Tabela 2- Efeito do material de parede e da temperatura sobre a umidade (%) e aw do extrato do resíduo de seriguela agroindustrial encapsulado

Material de parede	Umidade			aw		
	120ºC	140 ºC	180 ºC	120 ºC	140 ºC	180 ºC
MD	5,15±0,04$^{a\ A}$	3,89±0,40$^{b\ C}$	3,93±0,10$^{b\ A}$	0,15±0,01$^{a\ A}$	0,12±0,01$^{c\ C}$	0,14±0,01$^{bc\ A}$
GA	5,41±0,22$^{a\ A}$	4,52±0,44$^{ab\ ABC}$	3,72±0,06$^{b\ A}$	0,12±0,01$^{c\ B}$	0,14±0,01$^{b\ B}$	0,15±0,01$^{b\ A}$
MD+GA	5,36±0,16$^{a\ A}$	4,12±0,37$^{ab\ BC}$	3,88±0,21$^{b\ A}$	0,17±0,01$^{a\ A}$	0,16±0,01$^{a\ A}$	0,17±0,01$^{b\ B}$
MD+SL	5,30±0,16$^{a\ A}$	4,24±0,10$^{a\ BC}$	4,76±0,01$^{a\ A}$	0,12±0,01$^{a\ B}$	0,13±0,01$^{a\ BC}$	0,13±0,01$^{a\ A}$
GA+SL	5,76±0,21 $^{a\ A}$	5,11±0,21$^{a\ A}$	4,58±0,04$^{a\ A}$	0,12±0,01$^{b\ B}$	0,13±0,01$^{a\ BC}$	0,13±0,01$^{c\ A}$
MD+GA+SL	5,20±0,04$^{a\ A}$	4,74±0,27 $^{a\ AB}$	4,51±0,02 $^{a\ A}$	0,13±0,01$^{a\ B}$	0,11±0,01$^{b\ E}$	0,12±0,01$^{c\ A}$

MD= maltodextrina; GA= goma arábica; SL= soro de leite.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan (p>0,05). Médias na linha referentes a cada parâmetro (umidade e aw) seguidas por letras maiúsculas iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Ducan (p>0,05).

Quanto ao teor de umidade, embora não se disponha de um Regulamento Técnico Brasileiro que estabeleça limite de tolerância, pode-se inferir que o extrato microencapsulado apresenta baixo teor de umidade (3,35 a 6,96 %). Desta forma, encontra-se dentro do estabelecido por normativas para outros tipos de alimentos, como leite em pó integral, café em pó e farinha de trigo (3,5 a 15 %) (BRASIL, 1996, 2005, 2010). A umidade é outro fator que interfere na qualidade do pó, portanto, constitui parâmetro importante, pois está diretamente associada à estabilidade, qualidade, composição e estocagem do produto (AMORIM; CARLOS; THEBAS, 2016). Tonon, Freitas e Hubinger (2011) afirmam que baixos valores de umidade, indicam uma disponibilidade muito pequena de água para a ocorrência de reações químicas e de crescimento microbiológico, bem como para atuar como plastificante da matriz sólida. Além de ser um dos fatores necessários para garantir a estabilidade e impedir a aglomeração de pós atomizados (DA SILVA et al., 2013).

Observa-se na Tabela 2 que os menores valores de umidade foram atingidos ao empregar no processo de microencapsulação a temperatura de 140 ºC, enquanto na temperatura de 120 ºC evidencia-se um leve aumento no teor de umidade dos microencapsulados, independente do material de parede empregado. Exceto, para o microencapsulado com GA e GA+SL, cujo teor de umidade não apresentou diferença significativa entre as três temperaturas, ($p>0,05$). No processo de microencapsulação o aumento da temperatura do ar de entrada promove a redução do teor de umidade dos microencapsulados. BAKRY et al., (2015), ressalta que ao aumentar a temperatura de secagem, a taxa de transferência de calor para as partículas também aumenta, fornecendo a força motriz para a remoção da umidade. Entretanto, segundo Tsali; Goula (2018), quando a temperatura do ar de entrada atinge valores superiores a 170 ºC, tende a ocorrer um aumento no teor de umidade do microencapsulado, uma vez que favorece a formação de uma crosta que dificulta a difusão da água dentro da partícula. Este fato pode justificar os maiores teores de umidade observados nos microencapsulados obtidos a 180 ºC.

Quanto ao material de parede, observa-se na Tabela 2 que ao empregar a temperatura de 120 ºC não houve diferença significativa no teor de umidade dos microencapsulados, ($p>0,05$). Já quando se emprega a temperatura de 140 °C, há

diferença significativa ($p<0,05$) apenas quando se utiliza isoladamente MD, bem como nas demais condições de processo, ao usar, isoladamente, MD obteve-se microencapsulados com menor umidade ($p<0,05$). Observa-se, também, que com o uso das blendas MD+GA e MD+SL bem como GA+SL e MD+GA+SL, como material de parede, nas temperaturas de 140 ºC e 180 ºC, respectivamente, obteve-se microencapsulados com baixo teor de umidade. Entretanto, estes valores foram estatisticamente superiores ao do microencapsulado que usou apenas MD como material encapsulante.

Segundo Mahdavi et al. (2016), microencapsulação utilizando GA e MD como material de parede tende a apresentar menor teor de umidade quando comparados a outros materiais. Isto pode ser atribuído ao maior número de ramificações e hidroxilas presentes na estrutura química destes polímeros, favorecendo a ligação com a água. Por outro lado, Kha, Nguyen e Roach (2010), relatam que a umidade do produto final tende a ser menor quando se aumenta a concentração de maltodextrina, pois com esse aumento, eleva-se a matéria sólida na solução de alimentação, causando redução da umidade total do produto final. Já Tontul e Topuz (2017) relatam que a microencapsulação usando material parede a base de proteínas favorece a obtenção de produto com maior teor de umidade quando comparado com aqueles que empregam material encapsulante a base de carboidratos. No entanto, a associação do SL com MD ou GA, bem como a interação do material de parede e as condições de processo poderá favorecer a menor umidade no produto final.

3.2. Compostos fenólicos

Os maiores teores de fenólicos foram detectados nos microencapsulados que usaram GA e temperatura de 140 ºC, bem com naqueles obtidos empregando MD+GA e temperatura de 140 °C e 180 °C e MD+SL e temperatura de 120 °C, (Tabela 3). Mortari (2018), ao formular microencapsulados de Spirulina, observou que a utilização de goma arábica nas formulações, pode ser uma boa alternativa para aumentar o efeito protetor nos microencapsulados. A autora verificou que a goma arábica nas formulações, proporcionou uma maior proteção quando comparado com as microcápsulas com maltodextrina, ao ser submetidas a uma tempe-

ratura de 200 °C. Nas microcápsulas com maltodextrina, a degradação começou em torno de 160 °C.

Observa-se que em todas as temperaturas, os microencapsulados com GA associada com MD apresentam teor de fenólicos, estatisticamente, mais elevado do que os microencapsulados com apenas MD. Tolun, Altintas e Artik (2016), também, reportam a melhor proteção da blenda MD+GA aos compostos ativos quando comparada ao uso apenas da maltodextrina. Segundo o autor as propriedades de emulsificação e criação de filmes da GA, em associação com a MD, melhora a eficiência em aprisionar os compostos fenólicos.

Tabela 3- Influência do material de parede e da temperatura sobre o teor de fenólicos totais (mg de EAG/g) do extrato hidroetanólico de seriguela microencapsulado

Material de parede	Temperatura de secagem		
	120ºC	**140ºC**	**180ºC**
MD	4,21±0,03 $^{B\,b}$	5,65±0,07 $^{C\,a}$	3,73±0,05 $^{C\,b}$
GA	6,82±0,01 $^{A\,c}$	14,31±0,06 $^{A\,a}$	8,96±0,06 $^{A\,b}$
MD+GA	4,07±0,06 $^{B\,b}$	7,08±0,07 $^{B\,a}$	6,44±0,02 $^{B\,a}$
MD+SL	7,01±0,06 $^{A\,a}$	4,09±0,05 $^{C\,b}$	1,36 ±0,04 $^{D\,c}$
GA+SL	4,59±0,06 $^{B\,b}$	4,67±0,03 $^{C\,b}$	6,88±0,04 $^{B\,a}$
MD+GA+SL	3,66±0,06 $^{B\,b}$	5,28±0,05 $^{C\,a}$	4,12±0,02 $^{C\,b}$

MD=maltodextrina; GA= goma arábica; SL= soro de leite.
Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha e por letras minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan (p>0,05)

Ao analisar os dados referentes à temperatura empregada no processo, observa-se que na temperatura de 140 ºC, todos os microencapsulados, exceto aqueles contendo MD+SL e GA+SL, apresentaram significativamente os maiores teores de fenólicos totais (p<0,05) quando comparados com os obtidos nas temperaturas de 120 ºC e 180 ºC. Observa-se, também, que na maioria dos casos, independente do material de parede usado, o emprego da temperatura de 180 ºC levou a redução do teor deste fitoquímicos do microencapsulado. Segundo Tolun, Altintas e Artik (2016), o aumento da temperatura tende a reduzir o teor de fenólicos, conforme observaram ao elevar a temperatura de 140 ºC para 160 ºC ao encapsular polifenóis extraídos da uva usando MD associada a GA como material de parede. Entretanto, a redução não foi significativa quando a temperatura aumentou de 120 ºC para 140 ºC. As exposições do material ao oxigênio além do

emprego de altas temperaturas no processo de microencapsulação estão relacionadas às perdas de compostos fenólicos (KUCK; NOREÑA, 2016).

3.3. Eficiência da encapsulação (%)

A eficiência de encapsulação refere-se a razão entre a quantidade do composto ativo presente na superfície da partícula e a quantidade total de ativo, presente dentro e fora da partícula (VELASCO et al., 2006; QUISPE-CONDORI; SALDAÑA; TEMELLI, 2011). Valores de encapsulação na faixa de 60 a 90 % são considerados adequados na microencapsulação e essa adequação tem como fatores de avaliação o tipo de ativo utilizado, o processo de encapsulação e o material de parede (VISHNU et al., 2017).

Tabela 4- Influência do material de parede e da temperatura sobre a eficiência da encapsulação (%) do extrato hidroetanólico de seriguela

Material de parede	**Temperatura de secagem**		
	120ºC	**140ºC**	**180ºC**
MD	90,15 $^{a\,A}$	72,57 $^{b\,B}$	80,33 $^{b\,AB}$
GA	61,13 $^{b\,B}$	96,07 $^{a\,A}$	95,20 $^{a\,A}$
MD+GA	89,64 $^{a\,A}$	92,30 $^{a\,A\,B}$	57,36 $^{b\,CD}$
MD+SL	87,39 ^{A}	90,79 $^{a\,A}$	37,75 $^{b\,D}$
GA+SL	59,01 $^{b\,B}$	84,91 $^{a\,A}$	78,78 $^{a\,B}$
MD+GA+SL	80,41 $^{a.A}$	82,56 $^{a\,A}$	70,12 $^{b\,BC}$

MD= maltodextrina; GA= goma arábica; SL= soro de leite.
Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha e por letras minúsculas na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan (p>0,05).

A maior eficiência de encapsulação (Tabela 4), foi obtida utilizando como material de parede MD+GA; GA e MD, respectivamente, nas temperaturas de 120 ºC, 140 ºC e 180 ºC. Entretanto, observa-se que na temperatura de 140 ºC, a EE do microencapsulado com a blenda MD+GA+SL não apresentou diferença significativa quando comparado com a EE do microencapsulado que usou apenas a GA como material de parede.

Kuck e Noreña (2016), justificam a alta eficiência da encapsulação de microencapsulados com goma arábica à estrutura do polímero que é altamente ramificado e possui pequena quantidade de proteína ligada covalentemente à cadeia de carboidratos. Esta característica estrutural confere a goma arábica excelente propriedade filmogênica, favorecendo o encapsulamento de moléculas. No entanto, a combinação de polímeros torna-se interessante, pois melhora a eficiência da

encapsulação considerando que nem sempre um único agente encapsulante possui todas as propriedades de um material de parede ideal, (RUTZ et al., 2016). Neste sentido, Baranaouskiene et al., (2006) ressaltam a EE de materiais de parede constituídos por blendas de carboidratos e proteína de soro de leite ao encapsular extratos fenólicos. Segundo esses autores, as hidroxilas presentes na estrutura dos fenólicos podem formar ligações de hidrogênio com sítios relevantes nas moléculas de proteína, favorecendo a EE.

O material de parede foi considerado por Tsali e Goula (2018) como um dos fatores mais significativos relacionados à eficiência da encapsulação do extrato do resíduo de uva. A mistura da maltodextrina com proteína isolada do leite (50:50) propiciaram o mais alto valor de EE (92,49 %). Elevada eficiência da encapsulação (89,15 %) foi relatada por Akdeniz et al., (2018) ao encapsular extrato fenólico obtido da casca da cebola utilizando maltodextrina associada a caseína (6:4).

3.4. Capacidade Antioxidante

A análise da ação antioxidante do extrato de seriguela microencapsulado, foi mensurada quanto à capacidade de sequestrar o radical DPPH, que na presença de antioxidantes é degradado levando à redução da absorbância (LAJILI et al., 2016). A porcentagem de sequestro do radical DPPH se mostrou compatível com os resultados do teor de fenólicos, onde as amostras com maior conteúdo fenólico, do extrato microencapsulado, apresentam as melhores propriedades antioxidantes.

Constatou-se que o material de parede, independente da temperatura empregada, exerceu influência na capacidade antioxidante das partículas, sendo que, a micropartícula utilizando MD, isolada ou em blendas, apresentou os maiores percentuais na inibição do radical DPPH ($p<0,05$), com exceção da sua associação com a goma arábica e soro de leite.

A maior atividade antioxidante foi obtida quando empregada temperaturas na faixa de 120 a 140 °C, com exceção dos materiais de parede MD+GA e MD +SL ($p\leq0,05$), porém exibiu uma diminuição à medida que a temperatura foi aumentada para 180 °C. Logo, é possível determinar, a partir dos resultados apresentados, (tabela 5), que o maior teor da atividade antioxidante dos microencapsulados, está diretamente relacionada com a temperatura empregada, onde na faixa

de temperatura entre 120 e 140 °C, apresenta-se os maiores valores, já quando se emprega temperatura acima de 140 °C ocorre menor ação antioxidante (3,68 a 9,91). Segundo Medina-Torres (2016) esse comportamento é comum durante o processo de encapsulamento de compostos com capacidade antioxidante, pois o aumento da temperatura de entrada diminui significativamente a atividade de eliminação de radicais livres de DPPH da microcápsula.

Tabela 5- Influência do material de parede e da temperatura de secagem sobre a capacidade antioxidante (%) do extrato hidroetanólico encapsulado

Material de parede	Temperatura de secagem		
	120 ºC	**140 ºC**	**180 ºC**
MD	42,51$^{A\ a}$	32,25$^{B\ a}$	5,08$^{ABC\ b}$
GA	22,62$^{B\ a}$	30,67$^{B\ a}$	3,46$^{BC\ b}$
MD+GA	15,02$^{BCD\ b}$	28,95$^{B\ a}$	7,81$^{ABC\ c}$
MD+SL	21,17$^{BC\ b}$	43,76$^{A\ a}$	9,91$^{AB\ c}$
GA+SL	9,56$^{D\ ab}$	16,28$^{C\ a}$	3,68$^{C\ b}$
MD+GA+SL	11,14$^{CD\ a}$	13,00$^{C\ a}$	6,84$^{ABC\ a}$

MD= maltodextrina; GA= goma arábica; SL= soro de leite.
Medias seguidas de letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo Teste de Ducan (p>0,05)

Entretanto, independente do material de parede, ao adotar a temperatura de 140 °C, não foi observada diferença significativa (p≤0,05), na atividade antioxidante das micropartículas, variando de 13 a 43,76 %. Resultados semelhantes foram obtidos por Tolun, Altintas e Artik (2016), onde relatam ação antioxidante entre 17,2 a 23,2 %, microencapsulando polifenóis do bagaço da uva, utilizando maltodextrina e temperaturas entre 120 a 180 °C. Logo, a temperatura de 140 °C foi ideal para encapsular o extrato de seriguela nesse estudo.

3.5. Rendimento da encapsulação

O rendimento do produto é definido como a relação entre a massa do pó seco, ou seja, das microcapsulas, e o peso de sólidos totais na solução de alimentação. É um indicador importante para a indústria, uma vez que maior rendimento significa mais benefícios (CAN KARACA; GUZEL; AK, 2016). O rendimento de processo variou entre 26,85±0,50 e 52,81±1,36, indicando uma boa recuperação do material. Valores semelhantes foram reportados por Sanchez-Reinoso, Osorio, Herrera (2017), observando rendimentos de processo entre 32,65 e 58,77 % usando spray dryer na encapsulação de aroma de coco. Fadini et al., (2018) observaram rendimentos de processo na faixa de 45 % para obtenção de micropar-

tículas contendo óleo de peixe obtidas em um equipamento semelhante ao utilizado nesse trabalho.

Não foi constatada relação direta entre rendimento e o tipo de material de parede, com destaque para o emprego da temperatura a 140 ºC, onde apresentou os melhores rendimentos (p >0,05). No entanto ocorreu diminuição do rendimento quando se utilizou a GA na temperatura de 180°C e GA+SL com a temperatura de 120 °C.

Tabela 6- Rendimento da encapsulação de extrato do resíduo de seriguela utilizando diferentes materiais de parede e temperaturas

Material de parede	Temperatura de secagem		
	120ºC	**140ºC**	**180ºC**
MD	30,37±1,96 $^{a\ B}$	40,15±0,17 $^{a\ AB}$	41,41±0,33 $^{a\ A}$
GA	53,00±1,56 $^{a\ A}$	52,81±1,36 $^{a\ A}$	26,85±0,50 $^{b\ B}$
MD+GA	31,11±1,33 $^{a\ B}$	41,11±0,56 $^{a\ AB}$	35,60±1,62 $^{a\ AB}$
MD+SL	32,59±1,05 $^{ab\ B}$	39,37±1,54 $^{a\ B}$	26,94±1,62 $^{a\ B}$
GA+SL	18,04±0,90 $^{b\ C}$	35,30±1,89 $^{a\ BC}$	34,89±1,00 $^{a\ AB}$
MD+GA+SL	28,81±1,67 $^{a\ B}$	27,04±1,67 $^{a\ C}$	31,22±0,72 $^{a\ AB}$

MD= maltodextrina; GA= goma arábica; SL= soro de leite.

Medias seguidas de letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem significativamente entre si pelo Teste de Ducan (p>0,05)

O rendimento do extrato do resíduo de seriguela microencapsulado obtido a 180 ºC foi maior do que as demais temperaturas empregadas, com exceção da GA e MD+SL (Tabela 6). Comportamento semelhante foi relatado por Tsali e Goula (2018), para microencapsulação do extrato do resíduo de uva cujo rendimento foi maior a 180 ºC, havendo redução de rendimento em temperaturas mais elevadas. Segundo esses autores, a temperatura do ar superior a 180 ºC encontra-se acima da temperatura de transição vítrea das partículas secas, como consequência ocorre o aumento da viscosidade das gotículas pulverizadas e aderência nas paredes da câmara de secagem.

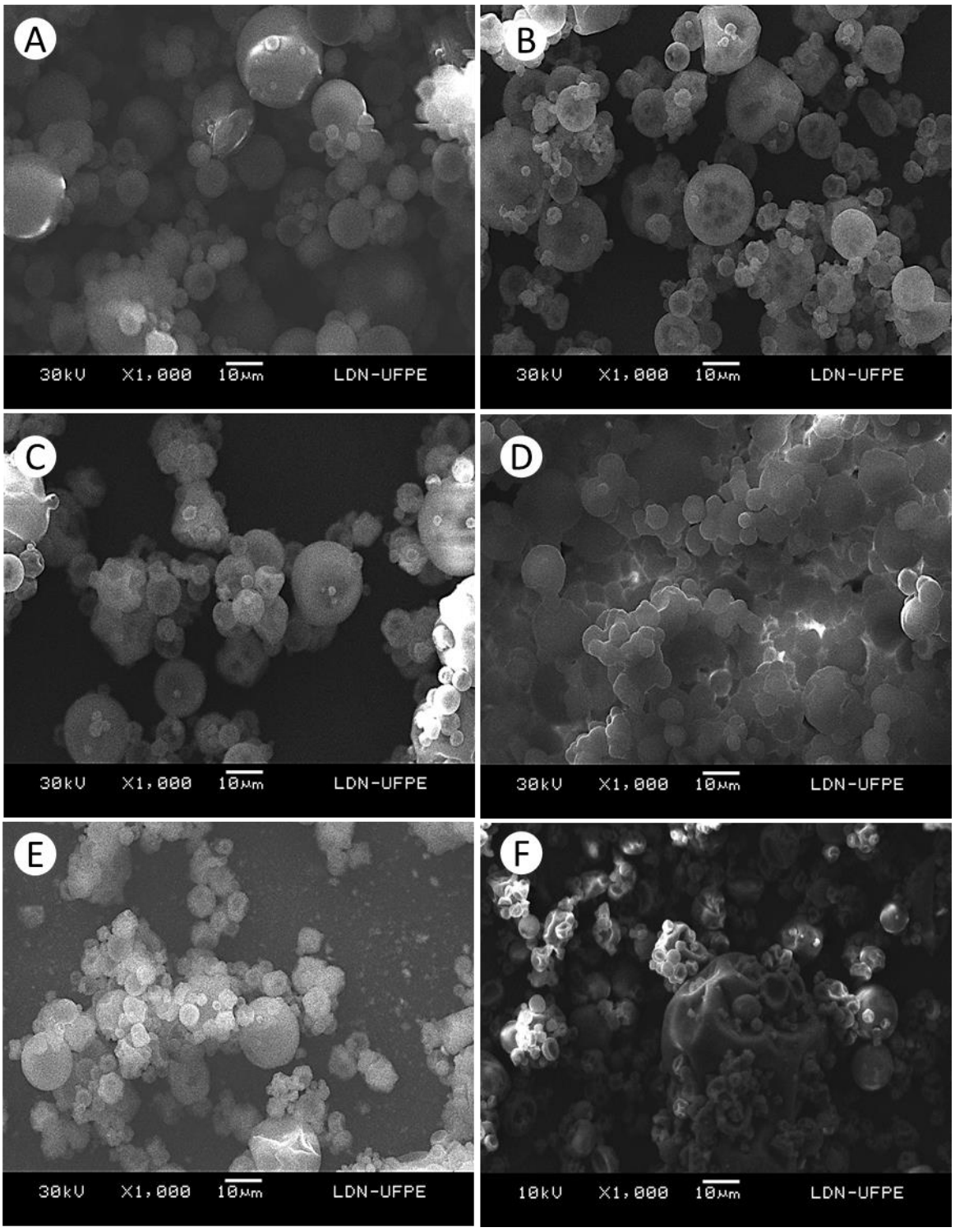
O rendimento pode sofrer alterações em função dos parâmetros do processo e das propriedades da emulsão atomizada, além da adesão do material nas vidrarias e nos equipamentos no momento da elaboração e na suspensão de partículas muito pequenas no ar, podendo ser perdidas na contabilização (FERNANDEZ, 2014). As variáveis mencionadas, provavelmente, podem ter contribuído na perda de material no momento da atomização, levando aos rendimentos apresentados.

3.6. Microscopia eletrônica de varredura

A morfologia das micropartículas está diretamente relacionada com a organização espacial dos seus componentes e pela interação ao longo do processo de secagem e a observação por micrografias nos fornece informações acerca do arranjo e das propriedades físicas (TALÓN et al., 2017). A análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica amplamente utilizada para avaliar o perfil superficial de micropartículas (PRAKASH et al., 2018). Os microencapsulados obtidos utilizando temperatura de 140 ºC, por terem apresentado os melhores valores de rendimento, capacidade antioxidante e teor de fenólicos foram submetidos a análise morfológica por MEV. Na Figura 1, observa-se que, de modo geral, as partículas apresentaram formato esférico, levemente abauladas, íntegras e sem rachaduras, cuja aparência foi muito similar à de outras micropartículas obtidas por spray drying e relatadas por diversos autores (ALVIM et al., 2016; SANCHEZ-REINOSO, OSORIO, HERRERA, 2017; FADINI et al., 2018). Além disso, foi possível visualizar a presença de aglomeração de partículas menores aderidas em outras maiores. Nenhuma das micropartículas obtidas neste estudo apresentaram fissuras ou poros, o que é relevante para uma proteção adequada, garantindo a retenção do agente encapsulado, uma vez que a permeabilidade do ar é mínima (NUNES et al.,2018).

As micropartículas obtidas como material de parede MD+GA+SL, apresentaram rugosidade, concavidades e presença de tamanhos variados, porém segundo Moreno et al., 2016, esta ocorrência é geralmente relatada para partículas produzidas por spray drying e pode representar um ponto positivo, uma vez que as partículas menores podem penetrar nos espaços entre os maiores, ocupando menos espaço durante o armazenamento e estocagem. As concavidades presentes na superfície são provavelmente formadas pelo encolhimento/contração das partículas durante os estágios iniciais do processo de secagem, devido à drástica perda de umidade seguida de resfriamento (KUCK; NOREÑA, 2016). O tratamento térmico aplicado no processo de spray drying, promove a desnaturação e agregação das proteínas do soro de leite melhorando sua adsorção à interface (MILLQVIST-FUREBY; ELOFSSON; BERGENSTAHL, 2001).

Figura 1- Microscopias do extrato hidroetanólico do resíduo agroindustrial da seriguela microencapsulado por spray drying utilizando diferentes materiais de parede e temperatura de 140 °C



(A) Maltodextrina; (B) Goma arábica; (C) Maltodextrina + Goma arábica; (D) Maltodextrina + Soro de leite; (E) Goma Arábica + Soro de leite; (F) Maltodextrina + Goma Arábica + Soro de leite)

A aparência enrugada de algumas partículas pode, também, estar relacionada à formação mais lenta da camada de proteção durante a secagem das gotas atomizadas. Neste caso, a camada de proteção formada permanece úmida e flexível por mais tempo, de modo que a partícula possa se esvaziar e enrugar enquanto o vapor formado dentro da partícula se condensa, à medida que a partícula se move para as regiões mais frias do secador (DIAS et al., 2018).

3.7. Seleção das melhores condições de microencapsulamento

Os microencapsulados obtidos a 140 ºC e com GA, MD+GA e MD+SL, como material de parede, por terem apresentado os melhores resultados relativos ao teor de compostos fenólicos, capacidade antioxidante e rendimento, foram selecionados para dar continuidade ao estudo. Assim sendo, os microencapsulados obtidos nestas condições foram submetidos a determinação da higroscopicidade, densidade aparente, análise colorimétrica e da estabilidade.

3.8. Higroscopicidade, Densidade Aparente e Análise colorimétrica

A higroscopicidade é a capacidade de um material absorver a umidade do ambiente, sendo uma propriedade importante devido à sua influência na estabilidade dos alimentos (DAZA et al., 2016). Os microencapsulados apresentaram baixa higroscopicidade (Tabela7), uma vez que materiais que apresentam valores menores que 20 % de higroscopicidade podem ser considerados pouco higroscópicos, sendo uma característica desejável (TONTUL; TOPUZ, 2017).

As micropartículas apresentaram grande variabilidade em higroscopicidade (Tabela 7), onde as micropartículas com MD+SL apresentaram-se significativamente mais higroscópicas em relação às demais ($p>0,05$). Esse resultado foi maior do que os encontrados nos estudos de Busch et al. (2017) e Da Silva et al. (2011), respectivamente de 8,5 % e 13,1 %. Por outro lado, as micropartículas com GA isolada apresentaram valores intermediários e foram obtidos valores baixos de higroscopicidade com MD+GA. Parâmetro considerado de baixo valor, provavelmente por estar relacionado ao baixo teor de umidade encontrado (FERRARI; RIBEIRO; AGUIRRE, 2012).

A densidade aparente é uma característica importante em produtos em pó, pois está associada ao empacotamento, a reconstituição, manuseabilidade e es-

tabilidade (SANCHEZ-REINOSO, OSORIO, HERRERA, 2017; SHAMAEI et al., 2017). Os resultados da densidade aparente (Tabela 7), foram similares (p >0,05) para as amostras contendo maltodextrina na emulsão (0,49 e 0,51 g/mL). Os valores obtidos são similares aos observados por Gagneten et al., (2019) para extratos de framboesa, groselha e sabugueiro microencapsulados, utilizando maltodextrina (0,42 ± 0,02) e por Ferrari; Ribeiro; Aguirre, (2012) que citam uma densidade aparente na faixa de 0,40 a 0,44 para amostras de polpa de amora, contendo maltodextrina e/ou goma arábica como agentes carreadores, secas por spray drying.

Uma maior densidade é desejável na comercialização de pós, reduzindo assim os custos de material de embalagem, transporte e armazenamento (BÖGER; GEORGETTI; KUROZAWA, 2018). Pós com alta densidade aparente têm um tamanho de partícula menor e ocupa menos espaço na embalagem. Tontul e Topuz., (2017), explicam que uma densidade aparente muito baixa, aumenta a probabilidade de reações de oxidação devido ao aumento da oclusão do ar e consequentemente diminui o prazo de validade do produto.

Tabela 7– Higroscopicidade, densidade aparente e parâmetros de cor do extrato de seriguela encapsulado com diferentes materiais de revestimento

Material de Parede	Higroscopicidade (g/100g)	Densidade aparente (g/mL)	Parâmetros Colorimétricos		
			L	Croma	Hue
GA	13,64 ±3,98^{b}	0,37 ± 0,01^{b}	91,34±0,76^{a}	7,63±0,58 ^{b}	88,77±0,43^{a}
MD+GA	9,87±0,79^{c}	0,49 ± 0,03^{a}	91,54±0,01^{a}	7,43±0,08^{b}	89,74±0,09^{a}
MD+SL	20,54±6,08 ^{a}	0,51±0,03^{a}	92,38±0,55^{a}	11,15±0,99^{a}	85,18±1,31^{b}

GA=goma arábica; MD+GA= maltodextrina + goma arábica; MD+SL =maltodextrina + soro de leite
Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan (p>0,05);

O parâmetro de cor L* representa a luminosidade da amostra, podendo variar em uma escala de 0 (preto) a 100 (branco) e quanto mais próximo de 100 mais clara é a amostra. O parâmetro a* varia de vermelho (+) e verde (-) e o parâmetro b* varia de amarelo (+) e azul (-). Os valores a* e b* são utilizados para calcular o ângulo Hue (°h* = tang-1 b*/ a*) e croma (C*= (a*2 + b*2) ½). (MORITZ, 2011).

Os agentes encapsulantes utilizados não interferiram na luminosidade das amostras (p>0,05), apresentando valores elevados de L* entre 91,34±0,76 e 92,38±0,55. De acordo com os estudos de Kha, Nguyen e Roach (2010), Sahim-Nadeem et al., (2013) e Nunes et al., (2015), elevada luminosidade (L) com a utilização de maltodextrina e goma arábica é esperado, uma vez que estes materiais

apresentam cor branca e, dessa forma, imprimem maior luminosidade. Os valores de ângulo Hue revelam a mudança na coloração ou tonalidade das amostras e juntamente com os valores de croma ajudam a avaliar mudanças na coloração (ZHAO et al., 2019). O ângulo Hue (Tabela 7) indicou que os microencapsulados com GA e MD+GA apresentaram uma tonalidade amarelada, mais próximo do ângulo de 90º, enquanto os microencapsulados com MD+SL tiveram esse valor reduzido, se aproximando da tonalidade amarelo laranja.

Quanto ao chroma (C*), que indica intensidade ou saturação da cor, foi possível perceber que houve aumento significativo deste valor quando se utilizou MD+SL. Barbosa et al. (2015), utilizando maltodextrina na secagem de laranja, obtiveram valores para cromaticidade na faixa de 7,07. Esta diferença também pode ser devido à reação de Maillard entre açúcares redutores e proteínas que pode ter ocorrido durante a microencapsulação por spray drying com maltodextrina e o soro de leite (SLUKOVÁ et al., 2016; GHASEMI et al., 2017). Além disso, de acordo com Aryana e McGrew (2007), um fator que influencia a cor do produto é a cor dos ingredientes utilizados. Isto explica a maior tendência ao amarelo das microcápsulas com soro de leite, visto que o soro naturalmente apresenta coloração amarelo-clara.

3.9. Estabilidade do microencapsulado

A estabilidade do extrato hidroetanólico de seriguela obtida pelo processo de atomização com temperaturas na faixa de 120 °C a 180 °C, foi analisada ao longo de 40 dias, sob refrigeração (4 ºC ± 2 ºC) e em temperatura ambiente (28 ºC ± 2 ºC) na ausência de luz, em relação ao conteúdo total de compostos fenólicos e atividade antioxidante (radical DPPH).

Os teores de fenólicos totais armazenados nas condições de refrigeração e temperatura ambiente na ausência de luz, apresentaram uma redução significativa ($p<0,05$) com relação ao tempo inicial (Tabela 8). Ressaltando que o microencapsulado com a blenda MD+SL, aos 40 dias de armazenamento, teve maior redução de compostos fenólicos. Redução destes compostos durante o armazenamento, também, foi reportada por Mishra, Brahma e Seth (2017), no estudo de estabilidade físico-química e funcionalidade do suco de ameixa atomizada. As ligações insaturadas presentes na estrutura molecular dos compostos fenólicos

são as responsáveis pela degradação destes compostos causada por oxidação, luz, calor, pH, temperatura e umidade de armazenamento (UDOMKUN et al., 2016, TSALI; GOULA, 2018).

O teor total de compostos fenólicos para os microencapsulados estocados sob refrigeração apresentou em geral um decréscimo considerável nos primeiros dias de armazenamento e manteve-se estável após o 18 ° dia de armazenamento, com exceção da blenda com MD+SL que apresentou estabilidade após o 25 ° dia (Tabela 8). Essa redução pode estar relacionada com a oxidação de compostos fenólicos presentes na superfície das partículas ao longo do tempo. Moraes (2014), observou decréscimo significativo do teor total de compostos fenólicos em pó de caju amarelo nos primeiros 7 dias de armazenamento, o que provavelmente pode ser associado à degradação de fenólicos na superfície por oxidação.

As amostras armazenadas à temperatura ambiente apresentaram o maior decréscimo de compostos fenólicos, desde a contagem inicial. Observa-se que a baixa temperatura garantiu a proteção do material de recheio, mantendo ao final de 40 dias teores de fenólicos de 339,24±6,71 a 104,02±1,42. Segundo Lopes et al., (2007), a estabilidade dos compostos fenólicos e a taxa de degradação são notadamente influenciadas pela temperatura, pois à medida que se submete uma solução de compostos fenólicos a uma temperatura superior a ambiente (25 ºC), a sua degradação é maior.

A atividade antioxidante do microencapsulado, determinada pelo ensaio utilizando o radical livre DPPH, apresentou redução durante o período de estocagem (Tabela 9). O microencapsulado com MD+GA manteve sua ação constante até 18º dia de estocagem para em seguida reduzir de maneira significativa, isto é provavelmente devido à redução do teor total de compostos fenólicos. Zoric et al., (2017), também observaram a diminuição da ação antioxidante, associada ao teor de fenólicos, durante o armazenamento de cereja azeda atomizada durante 12 meses.

Constata-se que os outros microencapsulados estocados tanto sob refrigeração como a temperatura ambiente apresentaram redução significativa ($p<0,05$), em relação ao primeiro dia de armazenamento. A redução da ação antioxidante pode estar relacionada a redução do teor de fenólicos que ocorreu durante o armazenamento.

Tabela 8- Estabilidade do teor de fenólicos totais (mg de EAG/g) em extrato de seriguela microencapsulado e estocados em refrigeração (R) (4 ± 2 ºC) e em temperatura ambiente (TA) (25 ± 2 ºC) por 40 dias

Dias de estocagem	GA		MD+GA		MD+SL	
	R	TA	R	TA	R	TA
1	361,97±4,38$^{A\ a}$	341,89±5,97$^{A\ b}$	231,67±11,07$^{A\ c}$	190,38±2,83$^{A\ d}$	126,74±1,93$^{A\ e}$	126,23±1,86$^{A\ e}$
4	357,05±4,91$^{AB\ a}$	332,42±5,44$^{B\ b}$	222,95±7,01$^{AB\ c}$	180,53±3,86$^{A\ d}$	118,41±2,45$^{B\ e}$	115,76±1,93$^{B\ e}$
18	349,85±5,44$^{ABC\ a}$	322,58±3,26$^{C\ a}$	216,89±6,18$^{ABC\ b}$	139,62±4,55$^{B\ c}$	112,73±0,93$^{C\ c}$	112,73±0,93$^{C\ c}$
25	346,82±4,82$^{BC\ a}$	316,52±1,42$^{CD\ a}$	209,70±5,44$^{BC\ b}$	137,35±4,55$^{B\ c}$	107,42±2,34$^{D\ c}$	110,45±0,93$^{CD\ c}$
32	341,89±6,96$^{C\ a}$	310,45±2,45$^{DE\ a}$	206,67±5,11$^{BC\ b}$	132,42±4,55$^{B\ c}$	105,91±2,45$^{D\ c}$	108,18±0,93$^{DE\ c}$
40	339,24±6,71$^{C\ a}$	307,05±1,86$^{E\ a}$	201,36±5,17$^{C\ b}$	130,91±3,98$^{B\ c}$	104,02±1,42$^{D\ c}$	105,53±0,54$^{E\ c}$

GA=goma arábica; MD+GA= maltodextrina + goma arábica; MD+SL =maltodextrina + soro de leite
Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na coluna e letras minúsculas iguais na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan (p>0,05); Letras minúsculas iguais na linha (relativo ao mesmo material de parede) não diferem significativamente entre si pelo teste t de Student (p>0,05).

Tabela 9- Estabilidade da capacidade antioxidante (% sequestro do radical DPPH) em extrato de seriguela microencapsulado e estocados em refrigeração (R) (4 ± 2 ºC) e em temperatura ambiente (TA) (25 ± 2 ºC) por 40 dias

Dias de estocagem	GA		MD+GA		MD+SL	
	R	TA	R	TA	R	TA
1	31,11±0,95$^{A\ a}$	26,30±0,67$^{A\ b}$	27,72±1,90$^{A\ b}$	19,16±1,13$^{A\ c}$	21,22±0,61$^{A\ c}$	26,84±0,42$^{A\ b}$
4	27,20±1,24$^{B\ a}$	19,42±0,67$^{B\ b}$	26,01±1,74$^{A\ a}$	17,98±1,25$^{A\ b}$	20,17±0,26$^{B\ b}$	24,87±1,07$^{B\ a}$
18	26,24±1,49$^{B\ a}$	17,52±0,62$^{BC\ b}$	24,62±1,20$^{A\ a}$	16,73±0,55$^{A\ b}$	18,79±0,52$^{C\ b}$	15,64±0,87$^{C\ b}$
25	23,23±1,14$^{C\ a}$	13,45±0,17$^{C\ c}$	18,86±0,90$^{B\ b}$	10,13±0,86$^{B\ d}$	17,52±0,25$^{D\ b}$	7,56±0,86$^{D\ d}$
32	21,42±1,39$^{CD\ a}$	12,56±0,23$^{C\ c}$	18,27±1,12$^{B\ b}$	8,99±0,86$^{BC\ d}$	16,68±0,33$^{DE\ b}$	6,50±0,48$^{D\ d}$
40	19,79±0,61$^{D\ a}$	10,28±0,71$^{C\ c}$	17,86±1,20$^{B\ ab}$	6,87±0,70$^{C\ d}$	16,42±0,31$^{E\ b}$	6,09±0,30$^{D\ d}$

GA=goma arábica; MD+GA= maltodextrina + goma arábica; MD+SL =maltodextrina + soro de leite
Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na coluna e letras minúsculas iguais na linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan (p>0,05). Letras minúsculas iguais na linha (relativo ao mesmo material de parede) não diferem significativamente entre si pelo teste t de Student (p>0,05).

4. CONCLUSÃO

A microencapsulação do resíduo de seriguela, empregando temperatura de 140 ºC e GA; MD+GA e MD+SL como material encapsulante mostrou ser uma técnica promissora para obtenção do extrato em pó, com potencial aplicação em alimentos, visando a elaboração de produtos com propriedades funcionais.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABUD, A.K.S.; NARAIN, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 257-265, 2009.

AIZPURUA-OLAIZOLA, O., ORMAZABAL, M., VALLEJO, A., OLIVARES, M., NAVARRO, P., ETXEBARRIA, N., USOBIAGA, A. Optimization of supercritical fluid consecutive extractions of fatty acids and polyphenols from Vitis Vinifera grape wastes. **Journal of Food Science**, v.80, n.1, p.101-107, 2016.

AKDENIZ, B.; SUMNU, G.; SAHIN, S. Microencapsulation of phenolic compounds extracted from onion (Allium cepa) skin. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.42, p.1-8, 2018.

ALVIM, I. D., STEIN, M. A., KOURY, I. P., DANTAS, F. B. H., & CRUZ, C. L. de C. V. Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. LWT -**Food Science and Technology**, 65, 689–694, 2016.

AMORIM, L. C.; CARLOS, M. C.; THEBAS, A. M. M. Prática medindo o teor de umidade de alimentos. **Revista Univap**, v. 22, p. 635, 2016.

ANDRADE, R. A. M. S., MACIEL, M. I. S., SANTOS, A. M. P., MELO, E. A. Optimization of the extraction process of polyphenols from cashew apple agro-industrial residues. **Food Science and Technology** (Campinas), v.35, p.354-360, 2015.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2016. Santa Cruz do Sul: **Editora Gazeta Santa Cruz**, 104p. 2015.

AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of the Analytical Chemists.** 17th ed., Gaithersburg, MD, USA Washington, 2000.

ARIYARATHNA, I.R., KARUNARATNE, N.D. Use of chickpea protein for encapsulation of folate to enhance nutritional potency and stability. **Food and Bioproducts Processing**, v.95, p.76–82, 2015.

ARYANA, K.J., MCGREW, P. Quality attributes of yogurt with Lactobacillus casei and various prebiotics. LWT –**Food Science and Technology** 40, 1808–1814,2007.

AZEREDO, H.M.C.; BRITO, E.S; BRUNO, L.M.; PINTO, G.A.S. Métodos de conservação de alimentos. In: AZEREDO, H.M.C. (Ed.). Fundamentos de Estabilidade de Alimentos. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical,** p.97-128, 2005.

BAKRY, A. M.; ABBAS, S.; ALI, B.; MAJEED, H.; ABOUELWAFA, M. Y.; MOUSA, A.; LIANG, L. Microencapsulation of oils: a comprehensive review of benefits, techniques, and applications. Comprehensive Reviews in **Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 1, p. 143-182, 2015.

BARANAUSKIENĖ, R. VENSKUTONIS, P. DEWETTINCK, K. VERHÉ, R. Properties of oregano (Origanum vulgare L.), citronella (Cymbopogon nardus G.) and marjoram (Majorana hortensis L.) flavors encapsulated into milk protein-based matrices. **Food Research International**, v.39, p.413–425, 2006.

BARBOSA, J.; BORGES, S.; AMORIM, M.; PEREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A.; PINTADO, M. E.; TEIXEIRA, P. Comparison of spray drying, freeze drying and convective hot air drying for the production of a probiotic orange powder. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 340-351, 2015.

BERISTAIN, C. I., GARCIA, H. S., VERNON-CARTER, E. J. Spray-dried Encapsulation of Cardamom (Elettaria cardamomum) Essential Oil with Mesquite (Prosopis juli-ora) Gum. **Food Science and Technology International**, v.34, p.398-401, 2001.

BÖGER, B. R.; GEORGETTI, S. R.; KUROZAWA, L. E. Microencapsulation of grape seed oil by spray drying. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 38, n. 2, p. 263-270, 2018.

BRAND-WILLIANS, 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.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto n° 2314 de 4 de setembro de 1997. Regulamento Técnico que dispõe sobre a padronização,

a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas**.** **Diário Oficial da União**, 5 de setembro de 1996.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. RDC nº 272 de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o "Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis". **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. RDC n. 45, de 03 de novembro de 2010. Dispõe sobre o "Regulamento Técnico sobre os aditivos alimentares autorizados para uso segundo as Boas Práticas de Fabricação (BPF)". **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2010.

BUSCH, V. M., PEREYRA-GONZALEZ, A., SEGATIN, N., SANTAGAPITA, P. R., ULRIH N. P., BUERA, M. P. Propolis encapsulation by spray drying: Characterization and stability. LWT -**Food Science and Technology**, v. 75, p. 227-235, 2017.

CAI YZ, CORKE H. Amaranthus betacyanin pigments applied in model food systems. **J**. **Food Science**. V.64, p.869-873, 2000.

CAN KARACA, A.; GUZEL, O.; AK, M. M. Effects of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.96, p.449-455, 2016.

CEVA ANTUNES, P. M. N. et al. Analysis of volatile composition of siriguela (SpondiaspurpureaL.) by solid phase microextraction (SPME). LWT-**Food Science and Technology, Swiss**, v. 39, p. 436-442, 2016.

DA SILVA, F.C., FAVARO-TRINDADE, C.S., DE ALENCAR, S.M., THOMAZINI, M.; BALIEIRO, J.C.C. Physicochemical properties, antioxidant activity and stability of spray dried propolis. **Journal of Api Productand Api Medical Science**, v. 3. p. 94–100, 2011.

DA SILVA, F. C., DA FONSECA, C. R., DE ALENCAR, S. M., THOMAZINI, M., BALIEIRO, J. C. DE C., PITTIA, P., FAVARO-TRINDADE, C. S. Assessment of production efficiency, physicochemical properties and storage stability of spray-

dried propolis, a natural food additive, using gum Arabic and OSA starch-based carrier systems. **Food and Bioproducts Processing**,v. 91, p. 28–36, 2013.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C.S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (Eugenia dysentericaDC.) fruit extracts. **Food and Bioproducts Processing**. 97, p. 20-29, 2016.

DIAS, C. O.; DE ALMEIDA, J. DOS S. O.; PINTO, S. S.; SANTANA, F. C. DE O.; VERRUCK, S.; MÜLLER, C. M. O.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. DE M. C. Development and physico-chemical characterization of microencapsulated bifidobacteria in passion fruit juice: A functional non-dairy product for probiotic delivery. **Food Bioscience**, v. 24, p. 26–36, 2018.

ETHUR, E.M.; ZANATTA, C.L.; SCHLABITZ, C. Avaliação físico-química e microbiológica de farinhas obtidas a partir de vegetais não conformes à comercialização. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 3, p. 459-468, 2010.

FADINI, A. L., ALVIM, I. D., RIBEIRO, I. P., RUZENE, L. G., DA SILVA, L. B., QUEIROZ, M. B., RODRIGUES, R. A. F. Innovative strategy based on combined microencapsulation technologies for food application and the influence of wall material composition, LWT –**Food Science and Technology**, 91, 345-352, 2018.

FANG, Z.; BHANDARI, B.; Effect of spray dryingand storage on thestability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v. 129, p. 1139–1147, 2011.

FAO. **Economics and Statistics.** 2016. Disponível em: http://www.fao.org. Acesso em: 22 de julho de 2019.

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

FERNANDEZ, S.C.A. **Produção e caracterização de micropartículas lipídicas obtidas por spray cooling compostas por cera de caranaúba, ácido oleico e lecitina na encapsulação de solução de glicose e glicose sólida.** 2014.99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Faculdade de Engenharia de Alimentos,Universidade Estadual de Campinas,Campinas, 2014.

FERRARI, C. C.; RIBEIRO, C. P.; AGUIRRE, J. M. Spray drying of blackberry pulp using maltodextrin as carrier agent. **Brazilian Journal Food Technology**, v.15, p.157-165, 2012.

GAGNETEN M., CORFIELD R., MATTSON M.G., SOZZI A., LEIVA G., SALVATORI D., and SCHEBOR C. Spray-dried powders from berries extracts obtained upon several processing steps to improve the bioactive components content. **Powder Technol**., 342, 1008-1015, 2019.

GHASEMI, S.; JAFARI, S.M.; ASSADPOUR, E.; KHOMEIRI, M. Production of pectin-whey protein nano-complexes as carriers of orange peel oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 177, p. 369–377, 2017.

GOUIN, S. Micro-encapsulation: Industrial Appraisal of Existing Technologies and Trends. **Trends in Food Science & Technology**, v.15, p.330-347, 2014.

KHA, T.C.; NGUYEN, M.H.; ROACH, P.D. Effects of spray drying conditions onthe physicochemical and antioxidant properties of the Gac (Momordica cochinchinensis) fruit aril powder. **Journal of Food Enginnering**, v. 98, p. 385–392, 2010.

KRISHNA, A., JYOTHIKA, M. A. review on microcapsules. **Canadian Journal of Plant and Science,** v.4, n.2, p.26-33, 2015.

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

LAJILI, S.; AZOUAOU, S. A.; TURKI, M.; MULLER, C. D.; BOURAOUI, A. Anti-inflammatory, analgesic activities and gastro-protective effects of the phenolic contents of the red alga, Laurencia obtusa. **European Journal of Integrative Medicine**,v. 8, n. 3, p. 298-306, 2016.

LAO, F.; GIUSTI, M. M. The Effect of Pigment Matrix, Temperature and Amount of Carrier on the Yield and Final Color Properties of Spray Dried Purple Corn (Zea mays L.) Cob Anthocyanin Powders. **Food Chemistry**, v. 227, p. 376–382, 2017.

LOPES, T.J.; XAVIER, M.; QUADRI, M.G.; QUADRI, M. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.13, n.3, p.291-297, 2007.

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

MAKRIS, D.P.; BOSKOU, G.; NIKOLAOS, K. A. Polyphenolic content and in vitro antioxidant characteristics of wine industry and other agri-food solid waste extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.20, n.2, p.125-132, 2007.

MEDINA-TORRES, L. SANTIAGO-ADAME, R.; CALDERAS, F.; GALLEGOS-INFANTE, J.A.; GONZÁLEZ-LAREDO, R.F.; ROCHA-GUZMÁND, N.E.; NÚNEZ-RAMÍREZ, D.M.; BERNAD-BERNADA, M.J.; MANERO, O. Microencapsulation by spray drying of laurel infusions (Litseaglaucescens) with maltodextrin.**Industrial Crops and Products**, v. 90, p. 1-8, 2016.

MILLQVIST-FUREBY, A.; ELOFSSON, U.; BERGENSTAHL, B. Surface composition of spray-dried milk protein-stabilised emulsionsin relation to pre-heat treatment of proteins. **Colloid Surfaces** B, v.21, n.1-1, p.47-58, 2001.

MISHRA, P.; BRAHMA, A.; SETH, D. Physicochemical, functionality and storage stability of hog plum (Spondia pinnata) juice powder produced by spray drying.**Journal of food science and technology**,v. 54, n. 5, p. 1052-1061, 2017.

MORAES, F. P. **Polpa desidratada de caju amarelo (Anacardium occidentale L.) por atomização em spray dryer: caracterização físico-química, bioativa e estudo da vida de prateleira do produto.**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) –Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

MORENO, T.; DE PAZ, E.; NAVARRO, I.; RODRÍGUEZ-ROJO, S.; MATÍAS, A.; DUARTE, C.; SANZ-BUENHOMBRE, M.; COCERO, M. J. Spray Drying Formulation of Polyphenols-Rich Grape Marc Extract: Evaluation of Operating Conditions

and Different Natural Carriers. **Food and Bioprocess Technology**, v. 9, p. 2046–2058, 2016.

MORITZ, A. R. **Existe cor em nossas vidas: a colorimetria aplicada em nossos dias**. 1. ed. [s.l.]: [s.n.], 176 p, 2011.

MORTARI, L. M**. Microencapsulação da microalga Spirulina platensis e utilização no desenvolvimento de sorvete**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade de Passo Fundo, 2018.

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 paraguariensisA. St. Hil.). LWT -**Food Science and Technology**, v. 79, p. 561-567, 2017.

NUNES, G.L.; BOAVENTURA, C.B.; PINTO, S.S.; VERRUCK, S.; MURAKAMI, F.S.; PRUDÊNCIO, E.S.; AMBONI, R.D.M.C.Microencapsulation of freeze concentrated Ilex paraguariensis extractby spray drying.**Journal of Food Engineering**, v. 151, p. 60-68, 2015.

NUNES M., DE SOUZA MAGUERROSKI CASTILHO M., DE LIMA VEECK A., DA ROSA C., NORONHA C., MACIEL M., BARRETO P. Antioxidant and antimicrobial methylcellulose films containing Lippia alba extract and silver nanoparticles, **Carbohydrate Polymers**, 192, 37-43, 2018.

PRAKASH, B.; KUJUR, A.; YADAY, A.; KUMAR, A.; SINGH, P.; DUBEY, N.K. Nanoencapsulation: An efficient technology to boost the antimicrobial potential of plant essential oils in food system. **Food Control**, v. 89, 2018.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K.; SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing, Lausanne**, v. 46, n. 5, p. 386-392, 2007.

QUISPE-CONDORI, S., SALDAÑA, M.D.A.; TEMELLI, F. Microencapsulation of flax oil with zein using spray and freeze drying. **Food Science and Technology**, v.44, p.1880-1887, 2011.

RIBEIRO, C.M.C.M., MAGLIANO, L.C.S.A., COSTA, M.M.A., BEZERRA, T.K.A., SILVA, F.L.H., MACIEL, M.I.S. Optimization of the spray drying process conditions for acerola and seriguela juice mix. **Food Science and Technology**, v.39, p.48-55, 2019.

RUTZ, J. K.; BORGES, C. D.; ZAMBIAZI, R. C.; ROSA, C.G.; SILVA, M.M. Elaboration of microparticles of carotenoids from natural and synthetic sources for applications in food. **Food Chemistry**, v. 202, p. 324-333, 2016.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBERT, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (Opuntia ficus-indica). **Food Chemistry,** v.11, p.616–622, 2009.

SAHIN-NADEEM, H.; DINÇER, C.; TORUN, M.; TOPUZ, A.; ÖZDEMIR, F. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (Salvia fruticosa Miller) by spray drying. LWT - **Food Science and Technology**, Zürich, v. 52, n. 1, p. 31-38, 2013.

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.

SANCHEZ-REINOSO, Z., OSORIO, C., HERRERA, A. Effect of microencapsulation by spray drying on cocoa aroma compounds and physicochemical characterisation of microencapsulates. **Powder Technology**, 318, 110–119, 2017.

SANTOS, A.M.P.; SANTOS, E.J.P. Pre-heating temperature dependence of the c-axis orientation of ZnO thin films. **Thin Solid Films**, v. 516, n. 18, p. 6210-6214, 2008.

SHAMAEI, S., SEIIEDLOU, S.S., AGHBASHLO, M., TSOTSAS, E., KHARAGHANI, A. Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules.**Innovative food science & emerging technologies.** 39,101-112, 2017.

SILVA, J. J. M. da; ROGEZ, H. Avaliação da estabilidade oxidativa do óleo bruto de açaí (Euterpe oleracea) na presença de compostos fenólicos puros ou de extratos vegetais amazônicos. **Química Nova**, v.36, n.3, p. 400-406, 2013.

SILVA, R.V., COSTA, S.C.C., BRANCO, C.R.C., BRANCO, A. In vitro photoprotective activity of the Spondias purpurea L. peel crude extract and its incorporation in a pharmaceutical formulation. **Industrial Crops and Products**, v.83, p.509-514. 2016.

SLUKOVÁ, M.; HINKOVÁ, A.; HENKE, S.; SMRZ, F.; LUKACÍKOVÁ, M.; POUR, V.; BUBNÍK, Z. Cheese whey treated by membrane separation as a valuable ingredient for barley sourdough preparation. **Journal of Food Engineering**, v.172, p.38-47, 2016.

SOUSA, M.S.B.; VIEIRA, L.M.; SILVA, M.J.M., LIMA, A. Caracterização Nutricional e Compostos Antioxidantes em Resíduos de Polpas de Frutas Tropicais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 554-559, 2011.

SOUZA, T.C.R.; PARIZE, A.L.; BRIGHENTE, I.M.C.; FÁVERE, V.T.; LARANJEIRA, M. C. M. Chitosan microspheres containing the natural urucum pigment. **Journal of Microencapsulation**, v. 22, p. 511–520, 2005.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS. Campinas: UNICAMP/NEPA,2011.Disponível:<http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada>. Acesso em: 15 Dezembro 2019.

TALÓN, E.; TRIFKOVIC, K. T.; NEDOVIC, V. A.; BUGARSKI, B. M.; VARGAS, M.; CHIRALT, A.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Antioxidant edible films based on chitosan and starch containing polyphenols from thyme extracts. **Carbohydrate Polymers**, València, Spain. v. 157, p. 1153–1161, 2017.

TOLUN, A., ALTINTAS, Z., ARTIK, N. Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum Arabic as two alternative coating materials: Development and characterization, **Journal of Biotechnology**, v.239, p.23–33, 2016.

TONON, R.V., BRABET, C., PALLET, D., BRAT, P., HUBINGER, M.D. Physicochemical and morphological characterization of açaí (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced with different carrier agents. **Journal of Food Science and Technology**, v.44, p.1950–1958, 2009.

TONON, R. V.; FREITAS, S. S.; HUBINGER, M. D.; Spray drying of açai (Euterpe oleraceae Mart.) juice: effect of inlet air temperature and type of carrier agent. **Journal of Food Processing and Preservation**. v. 35, p. 691–700, 2011.

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

TORRES, J. B.; VARELA, B.; GARCIA, M. T.; CARILLA, A. J.; MATITO, C.; CENTELLES, J. J.; CASCANTE, M.; SORT, X.; BOBET, R. Valorization of grape (*Vitis vinifera*) byproducts. Antioxidant and biological properties of polyphenolic fractions differing in procyanidin composition and flavanol content. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.50, n.26, p.7548-7555, 2002.

TSALI, A.; GOULA, A. M. Valorization of grape pomace: Encapsulation and storage stability of its phenolic extract. **Powder Technology**, v.340, p.194–207, 2018.

UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; ARGYROPOULOS, D.; MAHAYOTHEE, B.; LATIF, S.; MÜLLER, J. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material.**Food chemistry**,v. 196, p. 712-719, 2016.

VELASCO, J.; MARMESAT, S.; DOBARGANES, C.; MARQUEZ-RUIZ, G. Heterogeneous Aspects of Lipid Oxidation in Dried Microencapsulated Oils. J. Agric**. Food Chem**., v. 54, n. 5, p. 1722-1729, 2006.

VISHNU, K.K.; AJEESHKUMAR, K.R.; REMYAKUMARI, B.; GANESAN, S.C.; NILADRI, R.G.K., LEKSHMI, K. SHYNI, K., AND MATHEW, S.,. Gastroprotective effect of sardine oil (Sardinella longiceps) against HCl/ethanol-induced ulceration in Wistar rats. International **Journal of Fisheries and Aquatic Studies,** 5 (2), 118–124, 2017.

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.

ZHAO, Y. Edible coatings for extending shelf-life of fresh produce during postharvest storage. **Encyclopedia of Food Security and Sustainability**, v. 2, n. 1, p. 506-510, 2019.

ZORIC, Z.; PELAIĆ, Z.; PEDISIĆ, S.; GAROFULIĆ, I. E.; KOVAČEVIĆ, D. B.; DRAGOVIĆ–UZELAC, V. Effect of storage conditions on phenolic content and antioxidant capacity of spray dried sour cherry powder.LWT**-Food Science and Technology**, v. 79, p. 251-259, 2017.