



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



MICROENCAPSULAÇÃO POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DO RESÍDUO DE SERIGUELA E SUA CARACTERIZAÇÃO

HÁKYLLA RAYANNE MOTA DE ALMEIDA

Recife

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

A447m Almeida, Hákylla Rayanne Mota de
Microencapsulação por atomização do extrato do resíduo de
ceriguela e sua caracterização / Hákylla Rayanne Mota de Almeida.
– 2019.
82 f. : il.

Orientadora: Enayde de Almeida Melo.
Coorientadora: Andrelina Maria Pinheiro Santos.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia
de Alimentos, Recife, BR-PE, 2019.
Inclui referências.

1. Atomização 2. Frutas tropicais 3. Fenóis 4. Ceriguela
5. Antioxidantes I. Melo, Enayde de Almeida, orient. II. Santos,
Andrelina Maria Pinheiro, coorient. III. Título

CDD 664

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

HÁKYLLA RAYANNE MOTA DE ALMEIDA

**MICROENCAPSULAÇÃO POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DO RESÍDUO DE
SERIGUELA E SUA 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

CO-ORIENTADORA: ANDRELINA MARIA PINHEIRO SANTOS

Recife

2019

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

**MICROENCAPSULAÇÃO POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DO RESÍDUO DE
SERIGUELA E SUA CARACTERIZAÇÃO**

Por Hákylla Rayanne Mota de Almeida

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

Banca Examinadora:

Profª Drª. Margarida Angélica da Silva Vasconcelos
Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª. Samara Alvachian Cardoso Andrade
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Drª. Maria Inês Sucupira Maciel
Universidade Federal Rural de Pernambuco

*Dedico esse trabalho aos meus pais,
a quem devo todas minhas conquistas.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu forças a cada manhã, me ajudou a vencer cada obstáculo e dificuldade nesses dois anos. Sem Ele nada seria possível.

Aos meus pais e irmãos, que sempre me apoiaram em todas as decisões tomadas até aqui.

À minha avó e avô, Amara Mota e José Pedro Mota, que apesar de não estarem mais comigo, me ajudaram e sempre torceram por meu crescimento profissional e pessoal.

A toda a minha família e sogra pelo apoio, gratidão, confiança, torcida até aqui.

Ao meu namorado, pela paciência e apoio diário durante esses anos de distância.

Às minhas amigas e companheiras de aulas, Luana, Ana e Amanda, que me ajudaram dia a dia, durante esse período. Nossa amizade e convivência tornaram esses dois anos mais leves e alegres.

À minha orientadora Enayde Melo, bem como minha co-orientadora Andrelina Pinheiro pela paciência, dedicação e ajuda durante a realização desta pesquisa.

À ex-técnica do Laboratório de Análise Físico-química, Jaqueline, pela atenção, paciência e pelo cuidado durante as análises no laboratório.

A todas as pessoas as quais eu conheci e convivi durante essa jornada e fase de vida tão intensa, muito obrigada pelas palavras de apoio, pela força, pela ajuda, por cada compreensão e afeto.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charlie Chaplin

RESUMO

O resíduo agroindustrial de seriguela é rico em compostos fenólicos, substâncias com propriedade antioxidante, entretanto, frente à sensibilidade destas substâncias se faz necessário empregar tecnologia com vistas a promover sua estabilidade e biodisponibilidade, possibilitando sua utilização em alimentos e/ou em embalagens. Assim, com o objetivo de avaliar a viabilidade da microencapsulação por atomização do extrato do resíduo agroindustrial de seriguela, as condições de processo referentes à temperatura de entrada e concentração de maltodextrina (10 DE) foram investigadas. O extrato hidroetanólico foi obtido a partir do resíduo seco, e para definir as melhores condições de microencapsulação foi aplicado o planejamento fatorial 2^2 , com três pontos centrais, tendo como variáveis independentes a concentração de maltodextrina (10%; 15%; 20%) e a temperatura de entrada (100°C; 120°C; 140°C), mantendo-se constante a vazão do ar de secagem de 28m³/h e a taxa de alimentação de 0,60mL/min. O teor de umidade, atividade de água, higroscopicidade, densidade aparente, solubilidade, teor de fenólicos totais, atividade antioxidante e eficiência da encapsulação foram as variáveis dependentes. O perfil de fenólicos do extrato, antes e após a microencapsulação, foi determinado por cromatografia de alta performance. A temperatura e a concentração de maltodextrina exerceram influência significativa ($p < 0,05$) sobre a umidade, densidade aparente e teor de fenólicos totais, não exercendo influência sobre os demais parâmetros estudados. Microencapsulados com menor teor de umidade foi visto ao empregar maltodextrina na concentração entre 15 a 20%. A solubilidade se mostrou acima de 80%, independente da temperatura de entrada e concentração de maltodextrina. O teor de fenólicos totais, particularmente, sofreu influência significativa da concentração de maltodextrina e pouca influência da temperatura de entrada. O ácido gálico, p-cumárico e siríngico, foram os compostos majoritários presentes no extrato hidroetanólico, havendo alteração no perfil qualitativo e quantitativo dos fenólicos do microencapsulado. Assim, a maltodextrina 10 DE usada como agente encapsulante não foi eficiente para promover a estabilidade dos compostos fenólicos, evidenciando-se a necessidade de estudos que objetivem a otimização do processo.

Palavras-chave: Atomização; Micropartícula; Frutas Tropicais; Fenólicos; Atividade antioxidante.

ABSTRACT

The agroindustrial residue of seriguela is rich in phenolic compounds, substances with antioxidant properties, however, in view of the sensitivity of these substances, it is necessary to employ technology with a view to promoting its stability and bioavailability, allowing its use in food and / or packaging. Thus, in order to evaluate the viability of the microencapsulation by atomization of the seriguela agroindustrial residue extract, the process conditions related to the entry temperature and maltodextrin concentration (10 DE) were investigated. The hydroethanolic extract was obtained from the dry residue and, to define the best microencapsulation conditions, the factorial design 2^2 was applied with three central points, with the concentration of maltodextrin (10%, 15%, 20%) as the independent variables. (100°C, 120°C, 140°C), the drying air flow rate of 28m³/h and the feed rate of 0.60mL/min were kept constant. Moisture content, water activity, hygroscopicity, apparent density, solubility, total phenolic content, antioxidant activity and encapsulation efficiency were the dependent variables. The phenolic profile of the extract, before and after the microencapsulation, was determined by high performance chromatography. The temperature and the concentration of maltodextrin exerted significant influence ($p < 0.05$) on moisture, apparent density and total phenolic content, without influencing the other parameters studied. Microencapsulated with lower moisture content was observed when using maltodextrin in the concentration between 15 to 20%. The solubility was above 80%, regardless of the inlet temperature and maltodextrin concentration. Total phenolic content, in particular, was significantly influenced by the concentration of maltodextrin and little influence of the inlet temperature. Galician, p-coumaric and syringogenic acids were the major compounds present in the hydroethanolic extract, and there was a change in the qualitative and quantitative profile of the microencapsulated phenolics, thus, the 10 DE maltodextrin used as an encapsulating agent was not efficient to promote the stability of the compounds phenolics, in this way, it is evident the need of studies that aim at the optimization of the process.

Keywords: Atomization; Microparticle; Tropical Fruit; Phenolic; Antioxidant activity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Frutos de seriguela em diferentes fases de maturação.....	18
Quadro 1 - Microencapsulamento de extrato vegetais utilizando diversas condições de processo.....	28
Figura 2. Influência da temperatura e concentração de maltodextrina 10 DE sobre a Atividade de água e Umidade do Extrato de Resíduo de Seriguela Microencapsulado - Diagrama de Pareto e Gráfico de Contorno.....	61
Figura 3. Influência da temperatura e concentração de maltodextrina 10 DE sobre a Solubilidade, Higroscopicidade e Densidade Aparente do Extrato de Resíduo de Seriguela Microencapsulado – Diagrama de Pareto e Gráfico de Contorno.....	65
Figura 4. Influência da temperatura e concentração de maltodextrina 10 DE sobre o Teor Total de Fenólicos, DPPH e Eficiência do Encapsulamento do Extrato de Resíduo de Seriguela Microencapsulado – Diagrama de Pareto e Gráfico de Contorno.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Matriz do delineamento fatorial 2^2 - níveis codificados e decodificados das variáveis independentes, para a microencapsulação de extratos hidroetanólico do resíduo agroindustrial da seriguela.....	56
Tabela 2: Atividade de água (a_w) e umidade do microencapsulado do extrato de seriguela.....	60
Tabela 3: Valores da análise ANOVA da Atividade de Água e da Umidade do Extrato do Resíduo de Seriguela Microencapsulado.....	62
Tabela 4: Solubilidade, higroscopicidade e densidade aparente do extrato de seriguela microencapsulado.....	64
Tabela 5: Valores da análise ANOVA da Solubilidade, Higroscopicidade e Densidade Aparente do Extrato do Resíduo de Seriguela Microencapsulado.....	66
Tabela 6: Teor de fenólicos totais, capacidade de sequestro do radical DPPH e Eficiência de Encapsulação (EE) do extrato de seriguela microencapsulado.....	68
Tabela 7: Valores da análise ANOVA do Teor de Fenólicos totais, Atividade Antioxidante e Eficiência do Encapsulamento do Extrato do Resíduo de Seriguela Microencapsulado.....	71
Tabela 8: Perfil fenólico do extrato hidroetanólico e do microencapsulado do resíduo de seriguela.....	73

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE.....	15
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
3.1. Seriguela (<i>Spondias purpurea</i> L.).....	17
3.2. Compostos Bioativos.....	19
3.3. Microencapsulação.....	21
3.4. Microencapsulação por Atomização (<i>Spray Drying</i>).....	25
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
5. RESULTADOS.....	50
ARTIGO: MICROENCAPSULAÇÃO POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DO RESÍDUO DE SERIGUELA E SUA CARACTERIZAÇÃO	
5.1. Introdução.....	53
5.2. Material e Métodos.....	54
Preparo das Amostras.....	54
Obtenção do Extrato Hidroetanólico.....	55
Determinação de Fenólicos Totais do Extrato.....	55
Ensaio da Atividade Antioxidante do Extrato.....	55
Microencapsulação do Extrato.....	56
Determinações Analíticas.....	57
1-Umididade.....	57
2-Atividade de Água.....	57
3-Higroscopicidade.....	57
4-Solubilidade.....	57
5-Densidade aparente.....	58
6-Teor Total de Fenólicos.....	58
7-Teor de fenólicos totais na superfície da microcápsula.....	58
8-Eficiência do Encapsulamento.....	58
9-Ensaio da Atividade Antioxidante.....	58
10-Delineamento do Perfil Fenólico do extrato e do microencapsulado.....	59
Análise Estatística.....	60

5.3.	Resultados e Discussão.....	60
5.4.	Conclusão.....	74
5.5.	Referências Bibliográficas.....	75

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, no âmbito da fruticultura, é considerado o terceiro maior produtor mundial de frutas, com 43 milhões de toneladas ao ano (IBRAF, 2010). Dentre as espécies frutíferas brasileiras, destacam-se às que pertencem à família Anacardiaceae, conhecidas por apresentarem elevado valor econômico, a exemplo da *Spondia purpurea* L., serigueleira (NADIA et al., 2007). Contudo, dados mostram que o país também lidera no ranking de perdas, com aproximadamente 7 milhões de toneladas de frutas descartadas por ano (ECOD, 2013).

A seriguela é uma fruta de polpa doce-acidulada, bastante saborosa (LORENZI, 2006), cuja forma de exploração, no Brasil, é extrativista, encontra-se mais concentrada nas regiões nordestinas, semiáridas do agreste e sertão e, em menor proporção, nas regiões da zona da mata (LIRA JUNIOR et al., 2010). Essa fruta apresenta grande potencial de comercialização no Brasil (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014), devido à sua qualidade nutricional e sensorial, além de ser bastante utilizada no processamento de polpa concentrada e outros produtos alimentícios (FREIRE, 2001), gerando grande produção de resíduos.

O mercado de frutas frescas, sucos e polpas vêm crescendo cada vez mais, devido à alta demanda pelos consumidores (SOUSA et al., 2011), todavia, com o aumento do processamento das frutas há uma maior geração de resíduos agroindustriais, constituídos de restos de polpas, cascas e caroços das frutas. Estes resíduos, por sua vez, podem ser utilizados para desenvolver novos produtos alimentícios ou para aumentar o valor nutricional de diversas preparações culinárias, uma vez que são ricos em diversos nutrientes, como: minerais, fibras e compostos bioativos, bastante conhecidos por seus benefícios à saúde (ABUD, 2009). Vale destacar que muitos compostos bioativos exibem ação antioxidante, como os fenólicos, e são encontrados majoritariamente em partes não comestíveis da planta, como sementes e cascas (BABBAR et al., 2011). Desta forma, o reaproveitamento dos resíduos agroindustriais além de propiciar melhor valor nutricional aos alimentos e trazer benefícios à saúde do consumidor decorrentes da ação dos bioativos pode, também, reduzir o impacto ambiental,

pois grandes volumes de resíduos de frutas produzidos pela indústria, muitas vezes são eliminados em locais inadequados (SOUSA; CORREIA, 2010).

De acordo com a Organização para Alimentação e a Agricultura, aproximadamente um terço das partes comestíveis dos alimentos produzidos para o consumo é desperdiçado mundialmente, representando cerca de 1,3 bilhões de toneladas por ano (GUSTAVSSON et al., 2011). Esse dado não reflete apenas os resíduos do processamento de alimentos como um todo, mas também o “desperdício de alimento”, pois são resíduos de grande carga orgânica, derivados, geralmente, da transformação de matéria-prima para gêneros alimentícios (GUSTAVSSON et al., 2011). A elevada quantidade de resíduos desperdiçados em todo o mundo pode ser diminuída com as tecnologias existentes, estas prometem recuperação, reciclagem e sustentabilidade de ingredientes de alto valor, agregando-os à cadeia alimentar (GALANAKIS, 2013).

Dentre as tecnologias destaca-se a microencapsulação, processo pelo qual uma substância (agente ativo), no estado sólido, líquido ou gasoso, é aprisionada dentro de pequenas cápsulas, de tamanho variado (KRISHNA; JYOTHIKA, 2015). Essa técnica por proteger 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 (DUBE et al., 2010), torna-se bastante interessante para aplicação em extratos contendo compostos fenólicos e/ou outros compostos bioativos. Entretanto, a eficiência da proteção destes compostos se deve ao agente encapsulante empregado no processo. Dentre as substâncias utilizadas na encapsulação de compostos fenólicos, destaca-se a maltodextrina como um dos mais utilizados (JAFARI et al., 2008). Esse amido hidrolisado apresenta baixo custo, baixa viscosidade em soluções aquosas, elevada solubilidade em água (>75%), e capacidade de formar uma película de revestimento no material encapsulado, minimizando o contato deste com o oxigênio (POURASHOURI et al., 2014).

Diversas técnicas estão disponíveis para obtenção de microencapsulados, como a atomização, por leito fluidizado, por coacervação e por liofilização (DAVIDOV-PARDOET al., 2013). Dentre as quais, a atomização mostrou ser uma tecnologia efetiva na proteção de compostos fenólicos (TOLUN et al., 2016). Assim, devido à relevância da microencapsulação de compostos

bioativos, especialmente aqueles presentes em resíduos de frutas, para posterior aplicação em alimentos, esse trabalho teve como objetivo definir as condições de processo que melhor preserve o teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante do extrato hidroetanólico do resíduo de seriguela submetido à microencapsulação por atomização.

2. PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESE

Considerando que o resíduo agroindustrial proveniente do processamento de frutas ainda contém teores significantes de compostos bioativos, muitos dos quais com propriedade antioxidante, e que o seu descarte inadequado promove impacto ambiental, é importante o uso de tecnologias que possibilitem o reaproveitamento desse material, como fonte de compostos bioativos. Dentre as tecnologias, a microencapsulação por atomização tem se mostrado uma técnica interessante por preservar moléculas sensíveis, a exemplo dos compostos fenólicos. Entretanto, se faz necessário responder os seguintes questionamentos: “Existe viabilidade em encapsular o extrato de resíduo de seriguela com a finalidade de emprega-lo em alimentos e/ou embalagens para alimentos?” “Quais as condições de processo que permitem obter extrato de resíduo de seriguela microencapsulado com elevado teor de compostos fenólicos e alta capacidade antioxidante?” Quais as características físicas do microencapsulado obtido?”.

Hipóteses:

A microencapsulação é uma técnica viável a ser aplicada ao extrato do resíduo de seriguela visando preservar o seu teor de compostos fenólicos e sua propriedade antioxidante;

A temperatura e a concentração de maltodextrina são variáveis do processo que influenciam o teor de fenólicos, a ação antioxidante e as características físico-químicas do extrato do resíduo de seriguela microencapsulado.

3. REVISÃO DA LITERATURA

O Brasil ocupa a terceira posição na produção de frutas em todo o mundo, tendo em seu mercado interno diversas indústrias de sucos com grande potencial (FILHO; FRANCO, 2015). No ano de 2013 foram produzidas 43,6 milhões de toneladas de sucos de frutas, estima-se que a indústria do processamento consumiu 23,8 milhões de toneladas do total de frutas produzidas (IBRAF, 2015).

Grandes volumes de resíduos sólidos gerados pela indústria de alimentos, geralmente, decorrem da fabricação de sucos, produtos minimamente processados, geleias, dentre outros produtos (LIMA et al., 2014). Esses resíduos, constituídos por cascas, polpas, sementes e bagaços, são gerados em diferentes etapas do processo industrial e, usualmente são descartados (AJILA et al., 2007). A ausência de valor comercial dos resíduos agroindustriais é a possível causa de sua não utilização ou reciclagem (SOONG; BARLOW, 2004).

O bagaço constitui cerca de 20-25% do peso das frutas e, a depender da fruta, a produção de resíduos pode chegar até a 50% da matéria-prima. Resíduos produzidos a partir de extração de suco correspondem a aproximadamente 40% do peso da fruta (HENRIQUE et al., 2013). Sendo assim, aproximadamente 90% dos resíduos das frutas transforma-se em toneladas de dejetos (VIEIRA et al., 2009). O descarte desses resíduos diretamente no solo pode causar sério problema ambiental, uma vez que apresenta elevada quantidade de água e açúcares fermentáveis, propiciando enorme produção de gás carbônico durante sua degradação, além de proporcionar uma fermentação não controlada (PARAMAN et al., 2015). Dos Santos et al. (2015) mencionam que resíduos de seriguela gerados pelo despulpamento da fruta para fins industriais, também vêm acarretando diversos problemas ambientais, uma vez que grande parte desse resíduo é disposto diretamente ao ambiente. Vale mencionar que com o intenso crescimento populacional a produção de resíduos agroindustriais é cada vez mais crescente, o que intensifica mais ainda o problema da formação e descarte desses resíduos (FIGUEIREDO et al., 2009).

Os resíduos agroindustriais podem ser utilizados de distintas maneiras, todavia, a maior parte desses materiais, comercializada a baixo custo, é destinada

ao enriquecimento de rações animais (MAPA, 2015). Porém, considerando que este material detém elevado teor de fibras, vitaminas, minerais e de compostos bioativos, com destaque para os compostos fenólicos, evidencia-se a sua subutilização (SILVA et al., 2017; FILHO; FRANCO, 2015; LÓPEZ-MARCOS et al., 2015), agravando, ainda mais, um dos maiores problemas do Brasil na atualidade, que é o desperdício de alimento (HENRIQUE et al., 2013).

Estudos mostram que elevado teor de compostos fenólicos bem como sua ação antioxidante estão presentes nos resíduos gerados do processamento de frutas, chegando, em muitos casos, ser superior aos encontrados na polpa da fruta, sugerindo, assim, a utilização desses resíduos como fontes de ingredientes funcionais (TARAZONA-DÍAZ; AGUAYO, 2013; AYALA-ZAVALA et al., 2011). Desta forma, evidencia-se que substâncias com propriedade antioxidante, como compostos fenólicos e vitamina C, estão principalmente concentradas na pele, nas cascas e nas sementes de frutas, logo, o aproveitamento dos resíduos agroindustriais pode ser bastante interessante para enriquecer diversos alimentos, (FERREIRA et al., 2015; PINELI et al., 2015), além de auxiliar na preservação ambiental e contribuir para as questões financeiras e econômicas (FILHO; FRANCO, 2015).

3.1. Seriguela (*Spondias purpurea* L.)

A seriguela (*Spondias purpurea* L.), também conhecida como jocote, ciriguela ou ameixa espanhola, é uma fruta pertencente à família *Anacardiaceae*, que compreende mais de 70 gêneros e mais de 600 espécies (WANNAN, 2006). A serigueleira é nativa de regiões tropicais, subtropicais e temperadas, apresenta um crescimento espontâneo e é considerada bem adepta a solos pobres (ALIA-TEJACAL et al., 2012). A fruta seriguela é bastante consumida na região do Nordeste brasileiro (AUGUSTO; CRISTIANINI; IBARZ, 2012), região que apresenta clima bastante favorável ao seu cultivo, cuja produção e processamento representam atividades econômicas importantes tanto para a comercialização local, quanto para o mercado nacional e internacional (TIBURSKI et al., 2011).

A seriguela podendo atingir até 5,5 cm de comprimento e 12-28g é caracterizada drupa oval, lisa e brilhante, de coloração amarela, laranja ou avermelhada (Figura 1) (ENGELS et al., 2012). A fruta apresenta textura que varia de calcário a cremoso e succulento, endocarpo que envolve as sementes mal formadas fibroso e lignificado (OMENA et al., 2012). O sabor, que pode ser amargo ou doce ácido, e aroma são critérios importantes de qualidade da fruta (CEVA-ANTUNES et al., 2006). Dentre os diversos compostos aromáticos responsáveis pelo aroma característico dessa fruta estão vários alcoóis, ésteres, aldeídos, cetonas e hidrocarbonetos terpênicos (BICAS et al., 2011).

Figura 1. Frutos de seriguela em diferentes fases de maturação



Fonte: Google.

A seriguela é consumida madura, com ou sem sal, com ou sem a pele, crua, cozida, seca, em sobremesas, como conserva ou como bebida (PIMENTA-BARRIOS; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, 2003). A fruta é muito apreciada e comercializada, tendo um crescente valor econômico no mercado (FERREIRA et al., 2015). Seriguelas, no estágio maduro, provenientes do Nordeste brasileiro, apresentam em média, em relação ao peso da fruta, 70,22% de polpa, 13,80% de casca e 15,61% de semente (EMBRAPA, 2001). Entretanto, vale mencionar que esses percentuais podem variar, uma vez que sofrem influência das condições edafoclimáticas (HARRIS, 1997).

Em relação às propriedades de saúde, diversos estudos vêm mostrando a aplicação e benefício da seriguela no tratamento de diarreia, úlceras, inchaço e doenças parasitárias (MILLER; SCHAAL, 2005; ENGELS et al., 2012; GACHET et al., 2010). Além disso, o extrato dessas frutas tem mostrado uma atividade antibacteriana (GACHET et al., 2010). Quanto às características nutricionais, a

seriguela é apontada como boa fonte de vitaminas do complexo B (B1, B2, B3), vitamina C e minerais (cálcio, potássio, ferro e fósforo) (VIDIGAL et al., 2011). Apresenta, também, elevada quantidade de compostos bioativos, como taninos, flavonoides e ácidos fenólicos (OMENA et al., 2012), que lhes confere potencial biológico, nutricional (SILVA, 2012) e antioxidante (RUFINO et al., 2010).

A polpa de diferentes genótipos de seriguela contém quantidade significativa de compostos fenólicos (351,30 a 862,31 mgEAG.100g⁻¹) (SILVA et al., 2012). Em função da presença desses compostos, estudos demonstram que a seriguela apresenta elevada capacidade de sequestrar o radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) (ALMEIDA et al., 2011; SILVA et al., 2012; GREGORIS et al., 2013). No entanto, o extrato bruto da casca dessa fruta também apresenta considerável concentração de compostos fenólicos, com atividade antioxidante e fotoprotetora capaz de combater os efeitos nocivos das espécies reativas ao oxigênio (ROS) e de absorver os raios ultravioleta (UV) (SILVA et al., 2016).

Devido a sua elevada perecibilidade, grande parte da produção da seriguela é destinada à elaboração de produtos como sucos, sorvetes, doces, polpas congeladas, molhos e geleias (BAUTISTA-BAÑOS et al., 2000; INFANTE et al., 2013). Aproximadamente 40% da produção da seriguela é descartada como resíduo agroindustrial, composto por restos de polpa, sementes e cascas (HENRIQUE et al., 2013). No entanto, conforme Silva (2014), esse resíduo agroindustrial possui forte potencial antioxidante, com possibilidade de utilização para extração de compostos ativos, como fenólicos, a serem incorporados em diversos setores da indústria de alimentos e de embalagens. Logo, há a necessidade de se realizar uma investigação científica e tecnológica que possibilite o emprego desse resíduo de forma segura, econômica e eficiente (SOUSA et al., 2011).

3.2. Compostos Bioativos

Os compostos bioativos, também conhecidos como fitoquímicos, são representados por diversas famílias de moléculas, como flavonóis, glucosinolatos, ácidos fenólicos, isoflavonas, flavonas, carotenoides e fitoestrógenos (SEPTEMBRE-MALATERRE; REMIZE; POUCHERET, 2017). Esses compostos

são considerados metabólitos secundários, ou seja, não são essenciais para o metabolismo básico das plantas (RENARD, 2018), todavia, apresentam inúmeras funções nos vegetais, muitos agem como compostos de defesa contra herbívoros e patógenos, enquanto outros têm função como atrativos de polinizadores ou dispersores de frutos, na proteção contra a radiação ultravioleta, no suporte mecânico ou reduzindo o crescimento de plantas competidoras adjacentes (TAIZ; ZEIGER, 2009). Esses compostos, ainda, são responsáveis pela cor, odor e sabor característicos das frutas (MIGLIO et al., 2008), e seu conteúdo varia de acordo com o grau de maturação, o tipo, a variedade, as condições ambientais e as condições de processamento e armazenamento dos frutos (BJÖRKMAN et al., 2011).

Além de promover diversos benefícios às plantas, os compostos bioativos também são importantes à saúde humana, apresentando função antioxidante, anti-inflamatória, antibacteriana e imunomoduladora (HSIEH et al., 2015; IMM; KIM; IMM, 2014; KRIS-ETHERTON et al., 2002). A propriedade antioxidante desses compostos permite que eles atuem como agentes doadores ou redutores de elétrons, sendo assim, eles possuem a capacidade de eliminar os radicais livres, finalizando a cadeia oxidativa (CAN-CAUICH et al., 2017) e, conseqüentemente, auxiliam no combate a doenças como diabetes, hipertensão, obesidade, câncer, doenças degenerativas neuronais e cardiovasculares (CUEVAS et al., 2013; GODOS et al., 2017; RODRÍGUEZ-PÉREZ; SEGURA-CARRETERO; DEL MAR CONTRERAS, 2017; RECHARLA et al., 2017).

Dentre os grupos dos compostos bioativos, os compostos fenólicos, com mais de oito mil estruturas distribuídas em todo o reino vegetal, destacam-se devido à grande capacidade antioxidante, e por serem abundantes na dieta, (CAN-CAUICH et al., 2017; BRAVO, 1998). Esses compostos podem ser encontrados principalmente em frutas, legumes, bebidas (vinho, chá, café, suco de fruta), cereais, leguminosas e oleaginosas (BRAT et al., 2016). O efeito biológico dessas substâncias está diretamente relacionado a sua estrutura química, constituída por um ou mais grupos fenol e pelo menos uma hidroxila (OH) (MOLLER; LOFT, 2006; MONTEIRO et al., 2007). Nas frutas, o potencial fenólico sofre influência de fatores internos, como estado fisiológico do fruto,

genótipo e posição do fruto na árvore, e de fatores externos, como condições climáticas (DRAGOVIC-UZELAC et al., 2007).

Os compostos fenólicos são pequenas moléculas que podem estar presentes tanto na forma livre (aglicona), como ligada a açúcares (glicosídeos) e/ou a proteínas em diversas partes da planta (comestíveis e não comestíveis), como nas sementes, frutos, folhas, casca, caule e raiz (MAKITA et al., 2016; GAN et al., 2017). Em função de sua estrutura química se classificam em dois grupos principais: os flavonoides e os não flavonoides. O grupo dos flavonoides possui uma estrutura básica composta por um núcleo flavano, que consiste em quinze átomos de carbono distribuídos em três anéis (C6-C3-C6), e engloba moléculas como antocianinas, flavonóis, flavonas e flavanonas (SHINWARI; RAO, 2018). O grupo dos não flavonoides, por sua vez, se classifica conforme o número de carbonos que apresentam, e são subdivididos em fenóis simples, ácidos hidroxibenzóicos e hidroxicinâmicos, taninos hidrolisáveis, acetofenonas, benzofenonas, xantonas, estilbenos e lignanas (ANDRÉS-LACUEVA et al., 2010; CROZIER et al., 2009).

Apesar de todos os benefícios dos compostos bioativos à saúde humana, a sua alta instabilidade à luz, calor, umidade e ao oxigênio limita sua utilização pela indústria alimentícia, bem como sua funcionalidade (ARIYARATHNA; KARUNARATNE, 2015). Assim, é bastante importante lançar mão de tecnologias que aumentem a estabilidade desses compostos e preservem sua funcionalidade.

3.3. Microencapsulação

A tecnologia de microencapsulação teve início no ano de 1950, com a patente de Green e Schleicher relativa à produção de cápsulas contendo corantes a serem aplicadas em papel para fins de cópia (GHOSH, 2006; GREEN, 1956). Essa tecnologia é descrita como processo de revestimento de pequenas partículas líquidas, sólidas ou gasosas (LIU; XU; WANG, 2012; CHRANIOTI et al., 2015; DOMIAN et al., 2015) ou de incorporação destas partículas em uma matriz homogênea ou heterogênea (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018).

A microencapsulação é uma técnica bastante usada na área farmacêutica e de alimentos (PAULO; SANTOS, 2017). Na área farmacêutica, a microencapsulação está focada na busca de novos sistemas de distribuição de medicamentos, objetivando o aumento da vida útil do medicamento, a redução dos efeitos colaterais nos usuários dos medicamentos, a melhora da adesão dos pacientes e a possível liberação controlada e sustentada de compostos (AGNIHOTRI et al., 2012). Na área de alimentos, por sua vez, a técnica é empregada visando à proteção de compostos instáveis presentes em diversos produtos. Essa tecnologia propicia, portanto, barreira entre o composto ativo e o meio, promovendo a estabilidade da substância bioativa, uma vez que reduz o processo de degradação, mantendo sua propriedade funcional, bem como aumentando de sua biodisponibilidade (PAULO; SANTOS, 2017; SHAHIDI et al. 1993; FANG; BHANDARI, 2010).

Portanto, a microencapsulação protege as substâncias encapsuladas contra as condições adversas do ambiente externo, como da presença de luz, calor, umidade, radiação e oxigênio (SAÉNZ et al., 2009; GONÇALVES; ESTEVINHO; ROCHA, 2016), além de permitir a liberação controlada, por períodos prolongados de tempo, dessas substâncias aprisionadas (BANSODE et al., 2010; KAUR et al., 2013; SHAHIDI et al., 1993). Essa liberação do material contido nas microcápsulas se dá por estímulos causados por vários fatores, como pH, temperatura, pressão, difusão e degradação (AZEREDO, 2005).

As microcápsulas são, portanto, constituídas por uma camada externa, denominada parede, membrana, revestimento ou casca e por um núcleo, material encapsulado, que também recebe o nome de preenchimento ou fase interna (AGNIHOTRI et al., 2012; UMER et al., 2011; DUBEY et al., 2009). O núcleo é totalmente envolvido pelo revestimento dando origem às microcápsulas que segundo o seu tamanho são classificadas em macro ($> 5000 \mu\text{m}$), micro ($1,0\text{-}5000 \mu\text{m}$) e nano ($<1,0 \mu\text{m}$) (JAFARI et al., 2008).

Diversas técnicas estão disponíveis para obtenção de microencapsulação, como a secagem por atomização, por leito fluidizado, por coacervação e por liofilização (DAVIDOV-PARDO et al., 2013). Dependendo da técnica empregada no processo de microencapsulação, bem como, do tipo de material de revestimento e do núcleo, as microcápsulas assumem diferentes morfologias.

Dentre as formas, frequentemente surge a microcápsula mononuclear, constituída por um único núcleo envolvido pelo material de parede; e microcápsula contendo vários núcleos integrados ao revestimento (VILA et al., 2015; JYOTHI; SEETHADEVI, 2012; UMER et al., 2011, PERES, 2011; FANG; BHANDARI, 2010; DUBEY et al., 2009).

Como material de revestimento, pode-se usar maltodextrina, amido, quitosana, gelatina, proteínas do soro do leite, caseína, proteínas de soja, mono e diglicerídeos, ácido esteárico, goma arábica, celulose, sacarose e ciclodextrina (BORA et al., 2018), de forma isolada ou combinando mais de um destes materiais. Todavia, a escolha do material de revestimento apropriado é fundamental para garantir a liberação segura e controlada do material do núcleo, bem como a proteção eficaz da substância encapsulada (BORA et al., 2018). Dentre as características a serem consideradas na escolha do agente encapsulante está o custo, a capacidade de formar filmes, a higroscopicidade, o teor de sólidos, a viscosidade e a biodegradabilidade (MADENE et al., 2006; BORA et al., 2018). Além disso, as características físico-químicas da microcápsula dependerão do material de revestimento utilizado no processo (MAHDAVI et al., 2016).

A maltodextrina é um dos agentes encapsulantes mais utilizados no processo de microencapsulação, especialmente para sucos e extratos de frutas (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). Este material de revestimento é largamente empregado no processo por apresentar como propriedade, capacidade de formação de filme, resistência à aglomeração, barreira ao oxigênio, suavidade, baixa densidade a granel (BORA et al., 2018). A alta solubilidade em água é outra propriedade importante, especialmente para ser empregada na microencapsulação de alimentos líquidos (GHARSALLAOUI et al., 2007). A eficácia da maltodextrina como agente encapsulante de extratos vegetais contendo compostos bioativos, como compostos fenólicos e antocianinas, é demonstrada em diversos estudos (NUNES et al., 2015; MEDINA-TORRES et al., 2016; SANTOS et al., 2017).

A adição da maltodextrina à proteína isolada do soro de leite melhorou as propriedades físicas das microcápsulas obtidas, como molhabilidade e densidade, no microencapsulamento por atomização de óleo de abacate, sugerindo que esse

carboidrato pode ser adicionado a outros agentes encapsulantes, obtendo, assim, pós com melhores propriedades e qualidades (BAE; LEE, 2008).

Tengse et al. (2017) utilizaram maltodextrina como agente encapsulante no processo de atomização de extrato de chá verde e as microcápsulas obtidas apresentaram elevado teor de polifenóis e atividade antioxidante, 72,91% de polifenóis livres e 57,81mg/g de matéria, expressa como equivalente de ácido gálico, com 0,92 de equivalência. Em outro estudo, também, utilizando extrato de chá verde, Pasrija et al. (2015) observaram que a maltodextrina apresentou maior eficiência de encapsulação, com maior velocidade de secagem e maior retenção de polifenóis, além de gerar cápsulas com menor teor de umidade e menor aglomeração, quando comparada a outros agentes encapsulantes como β -ciclodextrina e a associação de maltodextrina e β -ciclodextrina.

Ao comparar maltodextrina com quitosana-alginato no processo de microencapsulação de β -caroteno, notou-se que o pó envolvido por maltodextrina apresentou maior teor de β -caroteno na superfície (39,5% contra 10% visto no pó envolvido por quitosana-alginato (DONHOWE et al., 2015). Movahhed; Mohebbi (2016), também, relataram a eficiência da utilização de maltodextrina como agente carreador na microencapsulação de suco de cenoura e aipo, nesse estudo, a concentração de maltodextrina no processo influenciou nos aspectos de umidade, atividade de água, higroscopicidade, tamanho da partícula e teor de β -caroteno.

Além desses estudos, há a aplicação de maltodextrina na microencapsulação por atomização de diversos outros alimentos, como polpa de açaí (Tonon et al. 2009), suco misto fermentado de cenoura e melancia (MESTRY et al., 2011), melão (SOLVAL et al., 2012), romã (ÇAM; ÍÇER; ERDOGAN, 2013), bagaço de azeitona (PAINI et al., 2015), infusão de louro (MEDINA-TORRES et al., 2016), extrato de erva mate (NUNES et al., 2015) e extrato de gengibre (SIMON-BROWN et al., 2016), enfatizando a importância da utilização da maltodextrina como agente encapsulante.

3.4. Microencapsulação por Atomização (*Spray Drying*)

Dentre as diversas técnicas de microencapsulação, a atomização (*spray drying*) mostrou ser uma tecnologia efetiva na proteção de compostos fenólicos (TOLUN et al., 2016). Esta técnica vem sendo largamente utilizada pela indústria de alimentos em decorrência de sua eficiência, possibilidade de produção contínua, simplicidade, facilidade de operação e devido à capacidade de produzir sistemas particulados que possuem diversos compostos (GHARSALLAOUI et al., 2007; SOSNIK; SEREMETA, 2015; PEANPARKDEE, IWAMOTO; YAMAUCHI, 2016). A atomização, também, é considerada econômica e mantém a qualidade das substâncias encapsuladas devido à sua elevada velocidade de desidratação (SHISHIR; CHEN, 2017). O tempo de contato com a matéria-prima relativamente baixo durante essa técnica possibilita preservar os nutrientes e compostos bioativos mais sensíveis, bem como os atributos de qualidade dos alimentos relacionados à cor e ao sabor (RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2005). Além disso, os produtos obtidos apresentam maior estabilidade frente à degradação microbiológica, oxidativa e enzimática, tendo em vista o baixo valor de atividade de água e de umidade do produto atomizado (SHISHIR; CHEN, 2017).

As partículas produzidas utilizando esse método contêm o núcleo, que é a substância encapsulada, dentro de uma matriz polimérica, material de parede. (SINGH; VAN DEN MOOTER, 2016). A principal vantagem dessas partículas é a fácil reconstituição, o que se mostra bastante interessante para aplicações em alimentos líquidos e pastosos, bem como em pós instantâneos (SOUZA et al., 2018).

A primeira patente da microencapsulação por atomização ocorreu há mais de 140 anos, cujo método foi descrito como um processo para atomizar e dessecar substâncias fluidas e sólidas. Assim, esse processo foi criado para limitar a umidade e evitar a mudança química destrutiva de produtos (PERCY, 1872). Inicialmente, a atomização foi mais utilizada na indústria alimentar e química, todavia, seu uso e aplicação se estenderam rapidamente para as áreas de cosméticos, tecidos e eletrônica (SINGH; VAN DEN MOOTER, 2016). Na área farmacêutica, por sua vez, a primeira aplicação da atomização foi para obtenção de ingrediente farmacêutico ativo puro, e posteriormente, passou a ser utilizada

para obtenção de partículas de liberação controlada, microcápsulas, nanopartículas e lipossomas (PARIKH, 2009). Com essa técnica obtêm-se, ainda, dispersões sólidas e sistemas de distribuição autoemulsificantes (DAVIS, 2017).

O processo da microencapsulação por atomização consiste em três etapas sequenciais: a atomização da amostra do alimento em suspensão, a secagem de gotículas líquidas e a recuperação do pó (SHISHIR; CHEN, 2017). Inicialmente, a suspensão é pulverizada dentro da câmara de secagem, cujas gotículas entram em contato com uma corrente controlada de ar quente que promove a evaporação de líquidos, obtendo-se o material seco, finalizando o processo com a recuperação do produto em forma de pó (SINGH; VAN DEN MOOTER, 2016). O tempo de processo é bastante variável e depende das condições do processo como, também, das dimensões do equipamento, todavia, geralmente esse tempo se mostra em torno de milissegundos (SINGH; VAN DEN MOOTER, 2016). As propriedades do produto final dependem do desempenho e do *design* do atomizador, destacando-se como fatores importantes para a atomização a temperatura de secagem, a taxa de fluxo do ar de secagem, a taxa de fluxo de alimentação, a velocidade do atomizador e a concentração do agente carreador ou encapsulante (FAZAELI et al., 2012; MURALI et al., 2015; PHISUT, 2012; TONON, BRABET; HUBINGER, 2008).

Em relação à taxa de fluxo elevada implica no uso de maior quantidade de energia pelo equipamento para propiciar a evaporação da umidade das gotas de alimentação, além de promover menor rendimento do processo e umidade mais elevada do pó gerado, uma vez que o tempo de interação entre a amostra e o ar quente não foi adequado (HONG; CHOI, 2007; SHISHIR; CHEN, 2017). A taxa de ar de secagem, também, influencia a eficiência do processo uma vez que está relacionada à quantidade de energia necessária para evaporar a umidade do produto. Quando essa taxa de ar de secagem se encontra elevada, o tempo de secagem, conseqüentemente, é reduzido, gerando uma secagem insuficiente e um maior teor de umidade no produto seco (SHISHIR; CHEN, 2017).

A pressão do atomizador influencia as propriedades físicas do produto final da secagem. Jumah et al. (2000), mostraram que uma pressão do atomizador mais alta, em torno de 1,0 a 2,5 Bar, tende a aumentar a área de superfície durante a atomização, produzindo partículas em tamanho menor e

melhorando o processo de microencapsulação. Todavia, Jumah et al. (2000) ressaltam que o uso da pressão excessivamente alta promove desperdício de energia sem redução adicional no tamanho das partículas.

O tipo adequado e a velocidade correta do atomizador, também, são essenciais para a secagem eficiente. Dentre os atomizadores mais utilizados estão o atomizador giratório, o de bocais hidráulicos e os pneumáticos. Em relação à velocidade do atomizador, o percentual de rendimento da atomização é reduzido com o uso de baixa velocidade, o que não é interessante para o processo (SHISHIR; CHEN, 2017). A temperatura de entrada e saída são fatores que influenciam a umidade final do produto seco, o tamanho e a morfologia das partículas do pó. Além disso, a temperatura de entrada, ainda, facilita o processo de secagem, pois temperaturas mais elevadas tendem a reduzir a tensão superficial e a viscosidade, propiciando a formação das gotículas (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010).

A escolha do agente carreador que participará do processo de secagem não é considerada menos importante que os demais fatores. O teor de umidade, a densidade e a granulometria do pó são significativamente afetados pelo agente carreador (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). O teor de umidade é um dos fatores de maior importância, pois se mostra diretamente relacionado com a estabilidade durante o acondicionamento e armazenamento do produto (ŞAHIN-NADEEM et al., 2013; SINIJA; MISHRA, 2008).

Como a temperatura de entrada e a concentração do agente carreador são parâmetros importantes para a secagem por atomização (SHISHIR; CHEN, 2017), uma vez que influenciam na umidade final do produto, na morfologia, no tamanho das partículas e no rendimento do processo, se faz necessário desenvolver estudos para melhor defini-los, objetivando obter o produto final da secagem com as melhores características possíveis (VEHRING, 2007; KEMP et al., 2016; SOSNIK; SEREMETA, 2015). Observa-se no Quadro 1 que dentre as várias condições de secagem aplicadas a diferentes extratos vegetais, temperatura de secagem entre 90 e 160°C propiciou a produção de encapsulados com maior teor de fenólicos totais e com maior capacidade antioxidante.

Quadro 1. Microencapsulamento de extrato vegetais utilizando diversas condições de processo.

AUTORES	EXTRATO	COMPARAÇÕES REALIZADAS	MELHORES CONDIÇÕES	RESULTADOS OBTIDOS
Paini et al. (2015)	Extrato hidroetanólico de bagaço de azeitona	Temperaturas: 130°C com 160°C Maltodextrina: 10% (100g/L extrato) com 50% (500g/L extrato) Taxas de fluxo: 5L/min e 10mL/min	Temperatura: 130°C Maltodextrina: 10% Taxa de fluxo: 10mL/min	Eficiência de encapsulação= 76,0 ± 3,3% Maior teor de fenólicos: 39,5 ± 4,9 mg CAE / g do pó (ácido caféico)
Simon-Brown et al. (2016)	Extrato de gengibre	Maltodextrina e goma arábica (ambas com concentração de 19%) Temperatura: 160°C	Sem diferença significativa entre os agentes encapsulantes para o conteúdo de fenólicos totais	Teor de fenólicos do extrato fresco: 7,74 ± 0,64 mg GAE/ g Teor de fenólicos do extrato microencapsulado: 2.2 ± 0.2 mg de ácido gálico/ g Os agentes encapsulantes nessas condições não evitaram a perda dos fenólicos do extrato
Medina-Torres (2016)	Extrato aquoso de louro	Fluxo: 8mL/min e 10mL/min Temperaturas: 140; 160 e 180°C Pressão fixa: 6,5bar Maltodextrina fixa: 10%	Para teor de fenólicos totais e DPPH (EC50): 160°C e 8mL/min	Teor de fenólicos totais: 20,22 ± 0,30 mg GAE / g do louro EC50: 1,3 ± 0,1 mg/mL de DPPH
Krishnaiah; Sarbatly; Nithyanandam (2012)	Extrato de noni	Temperaturas: 90; 100; 120 e 140°C Agente carreador: maltodextrina 5% (1:1; 1:2; 1:3; 1:4); carragena 1% (1:1; 1:2; 1:4; 1:6) Taxa de alimentação: 315ml/h Taxa de ar: 60m³/h Pressão: 1.1bar	Melhor teor de fenólicos totais e DPPH: Temperatura de 90°C. Maltodextrina na relação 1:2	Teor de fenólicos: 54mg GAE/g por partícula seca ± 0.006 DPPH: 28.36% ± 0.80
Santiago-Adame et al. (2015)	Infusões de canela	Taxa de alimentação: 8mL/min e 10mL/min Temperaturas: 140; 160 e 180°C Pressão: 6,5 bar	Para melhor proteção de compostos fenólicos e melhor atividade antioxidante: temperaturas de 160 e 180°C; taxa de alimentação de 10 mL/min	Teor fenólicos totais (mg GAE/g) EC ₅₀ (mg/ mL DPPH); com taxa de 10mL/min: 180°C = 20.17; 3,35; 160°C = 16,39; 3.65; 140°C = 19.60; 5,96

O processo de microencapsulação por atomização mostra-se eficiente na proteção de compostos bioativos de extratos vegetais. Wang et al. (2016) ao atomizar chá verde (*Camellia sinensis* L.) constataram que os polifenóis contidos no produto apresentaram boa estabilidade e ação antioxidante, demonstrando, assim, que a atomização pode ser uma técnica adequada de armazenar e aplicar polifenóis na indústria de alimentos. Pêra cacto (*Opuntia* spp.) submetida à atomização, também, apresentou a betalaína e polifenóis preservados bem como a ação antioxidante (SAÉNZ et al., 2009). Fernandes, Candido e Oliveira (2012) ao avaliarem a influência da atomização na ação antifúngica de extratos secos de alecrim pimenta encapsulados (*Lippia sidoides*) observaram que esse método de microencapsulação manteve a atividade antifúngica da erva, além de causar poucas alterações em suas propriedades físico-químicas. Desta forma, sugeriram a utilização do extrato de alecrim pimenta microencapsulado em produtos alimentícios, farmacêuticos e cosméticos. Wang et al. (2017), empregando a microencapsulação por atomização em óleo de semente de pimenta evidenciaram boa estabilidade e viscosidade relativamente baixa no material microencapsulado.

Assim, nota-se que a microencapsulação por atomização é uma boa estratégia para proteger substâncias sensíveis em diversos alimentos. Desta forma, a microencapsulação do extrato do resíduo de seriguela com vistas a proteger os compostos fenólicos e sua ação antioxidante torna-se interessante, especialmente por possibilitar a utilização desse resíduo da agroindústria, agregando valor a este material. Consequentemente, o microencapsulado poderá ser aplicado na indústria alimentícia e de embalagem, como uma maneira de reaproveitar as substâncias presentes neste resíduo que seriam anteriormente descartadas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

AGNIHOTRI, N.; MISHRA, R.; GODA, C.; ARORA, M. Microencapsulation – A Novel Approach in Drug Delivery: A review. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 2, n. 1, p. 1–20, 2012.

AIZPURUA-OLAIZOLA, O.; NAVARRO, P.; VALLEJO, A.; OLIVARES, M.; ETXEBARRIA, N.; USOBIAGA, A. Microencapsulation and storage stability of polyphenols from Vitisvinifera grape wastes. **Food Chemistry**, v. 190, p. 614-621, 2016.

AJILA, C.M.; NAIDU, K.A.; BHAT, S.G.; PRASADA RAO, U.J.S. Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. **Food chemistry**, v. 105, n. 3, p. 982-988, 2007.

ALIA-TEJACAL, I.; ASTUDILLO-MALDONADO, Y.I.; NÚÑEZ-COLIN, C.A.; VALDEZ-AGUILAR, L.A.; BAUTISTA-BAÑOS, S.; GARCÍA-VÁZQUEZ, E.; ARIZAFLORES, R. RIVERA-CABRERA. Caracterización de frutos de ciruela mexicana (Spondias purpurea L.) del Sur de México. **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v. 35, n. 5, p. 21-26, 2012.

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

ANDRÉS-LACUEVA, C.; MEDINA-REMON, A.; LLORACH, R.; URPI-SARDA, M.; KHAN, N.; CHIVA-BLANCH, G.; LAMUELA-RAVENTOS, R.M. Phenolic compounds: Chemistry and occurrence in fruits and vegetables. **Fruit and**

vegetable phytochemicals: Chemistry, nutritional value and stability, 53-80, 2010.

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.

AUGUSTO, P.E.D.; CRISTIANINI, M.; IBARZ, A. Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 2, p. 283-289, 2012.

AYALA-ZAVALA, J.F.; VEGA-VEJA, V.; ROSAS-DOMÍNGUEZ, C.; PALAFOX-CARLOS, H.; VILLA-RODRIGUEZ, J.A.; SIDDIQUI, M.W.; DÁVILA-AVIÑA, J.E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, v. 44, p. 1866 – 1874, 2011.

AZEREDO, H. Encapsulação: Aplicação à Tecnologia de Alimentos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, 2005.

BAE, E. K.; LEE, S.J. Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. **Journal of Microencapsulation**, v. 25, n. 8, p. 549-560, 2008.

BANSODE, S.S.; BANARJEE, S.K.; GAIKWAD, D.D.; JADHAV, S.L.; THORAT, R.M. Microencapsulation: a review. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, v. 1, n. 2, p. 38–43, 2010.

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, n. 1, p. 391-396, 2011.

BAUTISTA-BAÑOS, S.; HERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; DÍAZ-PÉREZ, J.C.; CANO-OCHOA, C.F. Evaluation of the fungicidal properties of plant extracts to reduce *Rhizopus stolonifer* of 'ciruela' fruit (*Spondias purpurea* L.) during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 1, p. 99-106, 2000.

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

BJÖRKMAN, M.; KLINGEN, I.; BIRCH, A.N.E.; BONES, A.M.; BRUCE, T.J.A.; JOHANSEN, T.J.; STEWART, D. Phytochemicals of Brassicaceae in plant protection and human health – Influences of climate, environment and agronomic practice. **Phytochemistry**, v. 72, n. 7, p. 538–556, 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.

BRAT, P.; GEORGÉ, S.; BELLAMY, A.; DU CHAFFAUT, L.; SCALBERT, A.; MENNEN, L.; AMIOT, M.J. Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables. **The Journal of Nutrition**, v. 136, n. 9, p. 2368–73, 2006.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**, v. 56, p. 317-333, 1998.

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

CAN-CAUICH, C.A.; SAURI-DUCH, E.; BETANCUR-ANCONA, D.; CHEL-GUERRERO, L.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A.; CUEVAS-GLORY, L.F.; PÉREZ-PACHECO, E.; MOO-HUCHIN, V.M. Tropical fruit peel powders as functional

ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, v. 37, p. 501-506, 2017.

CEVA-ANTUNES, P.M.N.; BIZZO, R.; SILVA, A.S.; CARVALHO, C.P.S.; ANTUNES, O.A.C. Analysis of volatile composition of siriguela (*Spondias purpurea* L.) by solid phase microextraction (SPME). **LWT-Food Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 437-443, 2006.

CHRANIOTI, C.; NIKOLOUDAKI, A.; TZIA, C. Saffron and beetroot extracts encapsulated in maltodextrin, gum Arabic, modified starch and chitosan: Incorporation in a chewing gum system. **Carbohydrate Polymers**, v. 127, p. 252–263, 2015.

CROZIER, A.; JAGANATH, I.B.; CLIFFORD, M.N. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. **Natural Product Reports**, v. 26, p. 1001-1043, 2009.

CUEVAS, A.; SAAVEDRA, N.; SALAZAR, L.A.; ABDALLA, D.S.P. Modulation of immune function by polyphenols: Possible contribution of epigenetic factors. **Nutrients**, v. 5, n. 7, p. 2314-2332, 2013.

DAVIDOV-PARDO, G.; AROZARENA, I.; MARÍN-ARROYO, M.R. Optimization of a wallmaterial formulation to microencapsulate a grape seed extract using a mixture design of experiments. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 941–951, 2013.

DAVIS, M. Recent strategies in spray drying for the enhanced bioavailability of poorly water-soluble drugs. **Journal of Controlled Release**, 2017.

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.

DONHOWE, E.G.; Flores, F.P.; Kerr, W.L.; Wicker, L.; Kong, F. **Characterization and invitro bioavailability of-carotene: Effects of microencapsulation method and food matrix.** 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 purpurea* L.). **Journal of Health Sciences**, v. 13, n. 3, 2015.

DRAGOVIC-UZELAC, V.; LEVAJ, B.; MRKIC, V.; BURSAC, D.; BORAS, M. The content of polyphenols and carotenoids in three apricot cultivars depending on stage of maturity and geographical region. **Food Chemistry**, v. 102, n. 3, p. 966–975, 2007.

DUBE, A.; NG, K.; NICOLAZZO, J.A.; LARSON, I. Effective use of reducing agents andnanoparticle encapsulation in stabilizing catechins in alkaline solution. **Food Chemistry**, v. 122, p. 662–667, 2010.

DUBEY, R.; SHAMI, T.C.; BHASKER R.K.U. Microencapsulation technology and applications. **Defence Science Journal**, v. 59, n. 1, p. 82-95, 2009.

ECOD - Instituto EcoDesenvolvimento. Do Campo à Cidade: Soluções para o Desperdício de Alimentos. **Especial Meio Ambiente**, 2013.

EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL. Geração de Técnicas de Conservação Pós-colheita para Valorização do Cultivo de Cajá e Ciriguela no Estado do Ceará. **Relatório Técnico Final de Projeto - EMBRAPA**. Fortaleza, Ceará, 2001.

ENGELS, C.; GRATER, D.; ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V.M.; GANZLE, M.G.; SCHIEBER, A. Characterization of phenolic compounds in jocote (*Spondias purpurea* L.) peels by ultra high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. **Food Research International**, v. 46, n. 2, p. 557-562, 2012.

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

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

FERNANDES, L.P.; CANDIDO, R.C.; OLIVEIRA, W.P. Spray drying microencapsulation of Lippia sidoides extracts in carbohydrate blends. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 3, p. 425-432, 2012.

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.

FERREIRA, M.S.L.; SANTOS, M.C.P.; MORO, T.M.A.; BASTO, G.J.; ANDRADE, R.M.S.; GONÇALVES, E.C.B.A. Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. **Journal of Food Science and Technology**, v.52, n.2, p.822-830, 2015.

FIGUEIREDO, L.P.; VALENTE, W.A.; DIAS, M.V.; BORGES, S.V.; PEREIRA, P.A.P.; PEREIRA, A.G.T.; CLEMENTE, P.R. Efeito da adição de suco de maracujá e tempo de cozimento sobre a qualidade de doces do albedo de maracujá em calda. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 29, p. 840, 2009.

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.

FREIRE, F.C.O. Uso da manipueira no controle do oídio da cerigueleira: resultados preliminares. **Embrapa Agroindústria Tropical**, Comunicado Técnico, n. 70, p. 1-3, 2001.

GACHET, M.S.; LECARO, J.S.; KAISER, M.; BRUN, R.; NAVARRETE, H.; MUNÕS, R.A.; BAUER, R.; SCHÜHLY, W. Assessment of anti-protozoal activity of plants traditionally used in Ecuador in the treatment of leishmaniasis. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 128, p. 184–197, 2010.

GALANAKIS, C.M. Emerging technologies for the production of nutraceuticals from agricultural by-products: A viewpoint of opportunities and challenges. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 575–579, 2013.

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.

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, n. 9, p. 1107-1121, 2007.

GHOSH, S.K. **Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective**. 1º Edição, 2006.

GODOS, J.; SINATRA, D.; BLANCO, I.; MULE, S.; LA VERDE, M.; MARRANZANO, M. **Association between dietary phenolic acids and hypertension in a Mediterranean cohort**. **Nutrients**, v. 9, n. 10, p. 1069, 2017.

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

GUSTAVSSON, J.; CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; VAN OTTERDIJK, R.; MEYBECK, A. Perdas Globais dos Alimentos e Resíduos dos Alimentos. Roma, Itália: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2011.

GREEN, B. K. **Manifold record material**, 1956.

GREGORIS, E.; LIMA, G.P.P.; FABRIS, S.; BERTELLE, M.; SICARI, M.; STEVANATO, R. Antioxidant properties of Brazilian tropical fruits by correlation between different assays. **BioMed research international**, v. 2013, p. 132759, 2013.

HARRIS, R.S. Effects of agricultural practices on foods of plant origin. In: Harris R.S. & Karmas E (Eds.) Nutritional evaluation of food processing. **Connecticut, The Avi Publishing company**, p. 33-57, 1997.

HENRIQUE, M.A.; SILVÉRIO, H.A.; NETO, W.P.F.; PASQUINI, D. Valorization of an agroindustrial waste, mango seed, by the extraction and characterization of its cellulose nanocrystals. **Journal of Environmental Management**, London, v. 121, p. 202–209, 2013.

HENRIQUE, M.A.; SILVÉRIO, H.A.; NETO, W.P.F.; PASQUINI, D. Valorization of an agroindustrial waste, mango seed, by the extraction and characterization of its cellulose nanocrystals. **Journal of Environmental Management**, London, v. 121, p. 202–209, 2013.

HONG, J. H.; CHOI, Y.H. Physico-chemical properties of protein-bound polysaccharide from *Agaricus blazei* Murill prepared by Ultrafiltration and spray drying process. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 42, p. 1–8, 2007.

HSIEH, Y.S.; YANG, S.F.; SETHI, G.; HU, D.N. Natural bioactives in cancer treatment and prevention. **Biomed Research International**, v. 2015, p. 1, 2015.

IMM, B.Y.; KIM, C.H.; IMM, J.Y. Effects of partial substitution of lean meat with pork backfat or canola oil on sensory properties of Korean traditional meat patties (Tteokgalbi). **Korean Journal of Food Science for Animal Resources**, v. 34, n. 4, p. 496–499, 2014.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE RUTAS - IBRAF. **Anuário Brasileiro da Fruticultura**. Editora Gazeta. 2015.

INSTITUTO BASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF. **CNA discute incentivo ao consumo de frutas**. 2010.

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

JUMAH, R.Y.; TASHTOUSH, B.; SHAKER, R.R.; ZRAIY, A.F. Manufacturing parameters and quality characteristics of spray-dried jameed. **Drying Technology**, v. 18, p. 967-984, 2000.

JYOTHI, S.; SEETHADEVI, D. Microencapsulation: A review. **International Journal of Pharma and Bio Sciences**, v. 3, n. 1, p. 509-531, 2012.

KAUR, I.P.; KAKKAR, S. Nanotherapy for posterior eye diseases, **Journal of Controlled Release**, v. 193, p. 100-112, 2014.

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.

KRIS-ETHERTON, P.M.; HECKER, K.D.; BONANOME, A.; COVAL, S.M.; BINKOSKI, A.E.; HILPERT, K.F.; GRIEL, A.E.; ETHERTON, T.D. Bioactive compounds in foods: Their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **The American Journal of Medicine**, v. 113, p. 71–88, 2002.

KRISHNA, S.A.; JYOTHIKA, M. A Review on Microcapsules. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 4, n. 2, 2015.

LAOKULDILOK, T.; KANHA, N. Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 405–411, 2015.

LIMA H.; CORRÊA, N.C.F.; SANTOS, O.; LOURENÇO, L.F.H. Use of agroindustrial wastes (açai fiber and glycerol) in the preparation of cookies. **Journal of Food Science Technology**, v. 52, p. 4593-4599, 2014.

LIRA JUNIOR, J.S.; BEZERRA, J.E.F.; LEDERMAN, I.E.; MOURA, R.J.M. Produção e características físico-químicas de clones de ciriguela na Zona da Mata Norte de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 43-48, 2010.

LIU, K.; XU, Y.; WANG, X. Microencapsulation of sweet orange oil terpeneless using the orifice method. **Journal of food engineering**, v. 110, n. 3, p. 390-394, 2012.

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

LORENZI, H.; BACHER, L.; LACERDA, M.; SARTORI, S. Frutas brasileiras e exóticas cultivadas. **Novo Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da FloraLtda**, p. 640, 2006.

MADENE A.; JACQUOT, M.; SCHER, J.; DESOBRY, S.A. Flavour encapsulation and controlled release – A review. **International Journal of Food Science and Technology**, v.4, n. 1, p. 1-21, 2006.

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

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.

MALDONADO-ASTUDILLO, Y.I.; ALIA-TEJACAL, I.; NÚÑEZ-COLÍN, C.A.; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; VALLE-GUADARRAMA, S.; ANDRADE-RODRÍGUEZ, M.; BAUTISTA-BAÑOS, S.; PELAYO-ZALDÍVAR, C., Posthar vest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. Mombin* L. **Scientia Horticulturae**, v. 174, p. 193–206, 2014.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Culturas: Citrus from**. 2015.

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

MELO, P.S.; BERGAMASCHI, K.B.; TIVERON, A.P.; MASSORIOLI, A.D.; OLDONI, T.L.C.; ZANUS, M.C.; PEREIRA, G.E.; ALENCAR, S.M. Composição fenólica e atividade antioxidante de resíduos agroindustriais. **Ciência Rural**, v. 41, p. 1089, 2011.

MESTRY, A.; MUJUMDAR, A.; THORAT, B. Optimization of spray drying of an innovative functional food: Fermented mixed juice of carrot and watermelon. **Drying Technology**, v.29, p. 1121–1131, 2011.

MIGLIO, C.; CHIAVARO, E.; VISCONTI, A.; FOGLIANO, V.; PELLEGRINI, N. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 1, p. 139–147, 2008.

MILLER, A.; SCHAAL, B. **Domestication of Mesoamerican cultivated fruit tree, Spondias purpurea**. PNAS 102, p. 12801–12806, 2005.

MOLLER, P.; LOFT, S. Dietary antioxidants and beneficial effects on oxidatively damaged DNA. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 41, p. 388-415, 2006.

MONTEIRO, M.; FARAH, A.; PERRONE, D.; TRUGO, L. C.; DONANGELO, C. Chlorogenic acid compounds from coffee are differentially absorbed metabolized in humans. **Nutrition**, v. 37, p. 2196-2201, 2007.

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.

MURALI, S.; KAR, A.; MOHAPATRA, D.; KALIA, P. Encapsulation of black carrot juice using spray and freeze drying. **Food Science and Technology International**, v. 21, p. 604-612, 2015.

NADIA, T.L.; MACHADO, I.C.; LOPES, A.V. Polinização de *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) e análise da partilha de polinizadores com *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae), espécies frutíferas e endêmicas da caatinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, p. 89–100, 2007.

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* extract by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 151, p. 60-68, 2015.

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.

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 of ethanol extracts of peel, pulp and seeds of exotic Brazilian fruits. **Food Research International**, v. 49, p. 334–344, 2012.

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.

PARIKH, D.M. **Handbook of Pharmaceutical Granulation Technology**, third ed. CRC 1814 Press, New York, 2009.

PASRIJA, D.; EZHILARASI, P.N.; INDRANI, D.; ANANDHARAMAKRISHNAN, D. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 289–296, 2015.

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

PEANPARKDEE, M.; IWAMOTO, S.; YAMAUCHI, R. Microencapsulation: A review of applications in the food and pharmaceutical industries. **Reviews in Agricultural Science**, v. 4, p. 56–65, 2016.

PERCY, S.R. **Improvement in drying and concentrating liquid substances by atomizing**, US Patent US125406, 1872.

PERES, I. **Encapsulation of active Compounds: Particle characterization, loading efficiency and stability**, 2011.

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.

PIMENTA-BARRIOS, E.; RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, B.C. Phenology, growth, and response to light of ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L., Anacardiaceae). **Economic Botany**, v. 57, p. 481–490, 2003.

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.

POURASHOURI, P.; SHABANPOUR, B.; RAZAVI, S.H.; JAFARI, S.M.; SHABANI, A.; AUBOURG, S.P. Oxidative stability of spray-dried microencapsulated fish oils

with different wall materials. **Journal Aquatic Food Product Technology**, v. 23, n. 6, p. 567–578, 2014.

RECHARLA, N.; RIAZ, M.; KO, S.; PARK, S. Novel technologies to enhance solubility of food-derived bioactive compounds: A review. **Journal of Functional Foods**, v. 39, p. 63-73, 2017.

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

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

RODRÍGUEZ-HERNANDEZ, G.R.; GONZÁLEZ-GARCIA, R.; GRAJALES-LAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M.; ABUD-ARCHILA, M. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. **Drying Technology**, v. 23, n. 4, p. 955-973, 2005.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, C.; SEGURA-CARRETERO, A; DEL MAR CONTRERAS, M. Phenolic compounds as natural and multifunctional anti-obesity agents: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1-18, 2017.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; DE BRITO, E.S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINIFILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 nontraditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, p. 996 – 1002, 2010.

SAÉNZ, C.; TAPIA, S.; CHÁVEZ, J.; ROBER, P. Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 114, p. 616–622, 2009.

ŞAHIN-NADEEM, Hilal et al. 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**, v. 52, n. 1, p. 31-38, 2013.

SANTIAGO-ADAME, R.; MEDINA-TORRES, L.; GALLEGOS-INFANTE, J.A.; CALDERAS, F.; GONZÁLEZ-LAREDO, R.F.; ROCHA-GUZMÁN, N.E.; OCHOA-MARTÍNEZ, L.A.; BERNAD-BERNAD, M.J. Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, p.571-577, 2015.

SANTOS, S.S.; RODRIGUES, L.M.; COSTA, S.C.; MADRONA, G.S. Antioxidant compounds from blackberry (*Rubus fruticosus*) pomace: Microencapsulation by spray-dryer and pH stability evaluation. **Food Packaging and Shelf Life**, 2017.

SANTOS, S.S.; RODRIGUES, L.M.; COSTA, S.C.; MADRONA, G.S. Antioxidant compounds from blackberry (*Rubus fruticosus*) pomace: Microencapsulation by spray-dryer and pH stability evaluation. **Food Packaging and Shelf Life**, 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.

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

SHINWARI, K.J.; RAO, P.S. Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 75, p. 181-193, 2018.

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, 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.

SILVA, Q.J.; MOREIRA, A.C.C.G.; MELO, E.A.; LIMA, V.L.A.G. Compostos fenólicos e atividade antioxidante de genótipos de seriguelas (*Spondia purpúrea* L.). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 23, n. 1, p. 73-80, 2012.

SILVA, R.C.O. **Resíduo agroindustrial de ciriguela: fitoquímicos bioativos e potencial antioxidante**. 2014, 97f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Ciências Domésticas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 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.

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.

SINGH, A.; VAN DEN MOOTER, G. Spray drying formulation of amorphous solid dispersions. **Advanced drug delivery reviews**, v. 100, p. 27-50, 2016.

SINIJA, VR; MISHRA, HN Isotermas de sorção de umidade e calor de sorção de pó de chá verde (solúvel) instantâneo e grânulos de chá verde. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 494-500, 2008.

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

SOONG, Y.Y.; BARLOW, P.J. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds. **Food Chemistry**, London, v.88, p. 411- 417, 2004.

SOSNIK, A.; SEREMETA, K. P. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 223, p. 40–54, 2015.

SOUSA, B.A.A.; CORREIA, R.T.P. Biotechnological Reuse of Fruit Residues as a Rational Strategy for AgroIndustrial Resources. **Journal of Technology**, v. 5, n. 2, 554-559, 2010.

SOUSA, M.S.B.; VIEIRA, L.M.; DA SILVA, M.J.M.; LIMA, A. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais **Ciência Agrotécnica**, v. 35, p. 554, 2011.

SOUZA, A.L.R.; HIDALGO-CHÁVEZ, D.W.; PONTES, S.M; GOMES, F.S; CABRAL, L.M.C.; TONON, R.V. Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. **LWT - Food Science and Technology**, v. 91, p. 286-292, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4ª Edição. Porto Alegre: Artmed, p. 820, 2009.

TARAZONA-DÍAZ, M.P.; AGUAYO, E. Assessment of by-products from fresh-cut products for reuse as bioactive compounds. **Food Science and Technology International**, v. 19, p. 439-446, 2013.

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.; GODOY, R.L.O.; PACHECO, S. Nutritional properties of yellow mombin (*Spondias mombin* L.) pulp. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2326-2331, 2011.

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.; BARONI, A.F.; BRABET, C.; GIBERT, O.; PALLET, D.; HUBINGER, M.D. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart) juice. **Journal Food Engineering**, v. 94, p. 215–221, 2009.

TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, 88, 411-418, 2008.

TONON, R.V.; BRABET, C.; HUBINGER, M.D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 3, p. 411-418, 2008.

UMER, H.; NIGAM, H.; TAMBOLI, A.M.; NAINAR, M.S.M. Microencapsulation: Process, techniques and applications. **International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences**, v. 2, n. 2, p. 474-481, 2011.

VEHRING, R. Pharmaceutical particle engineering via spray drying. **Pharmaceutical Research**, v. 25, p. 999–1022, 2008.

VIDIGAL, M.C.T.R.; MINIM, V.P.R.; CARVALHO, N.B.; MILAGRES, M.P.; GONÇALVES, A.C.A. Effect a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: acai (*Euterpe oleracea*), camu-camu (*Myrciaria dúbia*), cajá (*Spondia lutea* L.) and umbu (*Spondia tuberosa* A.). **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1988-1996, 2011.

VIEIRA, P.A.F; QUEIROZ, J.H.; VIEIRA, B.C.; MENDES, F.Q.; BARBOSA, A.A.; MULLER, E.S.; SANT'ANA, R.C.O.; MORAES, G.H.K. Caracterização Química Do Resíduo Do Processamento Agroindustrial da Manga (*Mangifera Indica* L.) Var. Ubá. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara-SP, v.20, n.4, p.617-623, 2009.

VILA, M.M.; CHAUD, M.V.; BALCAO, V.M. Microencapsulation of natural anti-oxidant pigments. In L. M. C. Sagis (Ed.), **Microencapsulation and microspheres for food applications**, p. 369–389, 2015.

WANG, J.; LI, H.; CHEN, Z.; LIU, W.; CHEN, H. Characterization and storage properties of a new microencapsulation of tea polyphenols. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 152-156, 2016.

WANG, Y.; LIU, B.; WEN, X.; LI, M.; WANG, K.; NI, Y. Quality analysis and microencapsulation of chili seed oil by spray drying with starch sodium octenylsuccinate and maltodextrin. **Powder Technology**, v. 312, p. 294-298, 2017.

WANNAN, B.S. **Analysis of generic relationships in Anacardiaceae**. *Blumea*, v. 51, p. 165–195, 2006.

5. RESULTADOS

**ARTIGO: MICROENCAPSULAMENTO POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DO
RESÍDUO DE SERIGUELA E SUA CARACTERIZAÇÃO**

RESUMO

Com o objetivo de averiguar a viabilidade da microencapsulação por atomização do extrato do resíduo agroindustrial de seriguela, as condições de processo referentes à temperatura de secagem e concentração de maltodextrina (10 DE) foram investigadas. O resíduo agroindustrial de seriguela foi submetido à secagem e, em seguida, ao processo de extração para a obtenção do extrato hidroetanólico. Um planejamento fatorial 2^2 , com três pontos centrais, foi aplicado para definir as melhores condições de processo, tendo como variáveis independentes a concentração de maltodextrina (10%; 15%; 20%) e a temperatura de secagem (100°C; 120°C; 140°C), mantendo-se constante a vazão do ar de secagem de 28m³/h e a taxa de alimentação de 0,60mL/min. O teor de umidade, atividade de água, higroscopicidade, densidade aparente, solubilidade, teor de fenólicos totais, atividade antioxidante e eficiência da encapsulação foram as variáveis dependentes. O perfil fenólico do extrato, antes e após a microencapsulação foi definido por Cromatografia de Alta Performance. A temperatura e a concentração de maltodextrina exerceram influência significativa ($p < 0,05$) sobre a umidade, densidade aparente e teor de fenólicos totais. Os valores de atividade de água e umidade foram inferiores a 0,21 e 7,27%, respectivamente. A solubilidade do extrato microencapsulado se mostrou superior a 80%, independente da concentração de maltodextrina e temperatura de entrada. O ácido gálico, *p*-cumárico e siríngico, foram os compostos majoritários presentes no extrato hidroetanólico antes e após o processo de microencapsulação. No entanto, a alteração no perfil qualitativo e quantitativo dos fenólicos do microencapsulado foi constatada, indicando que o processo de microencapsulação, empregando a maltodextrina 10 DE como agente encapsulante nas condições estudadas, não foi eficiente em promover a estabilidade dos compostos fenólicos. Desta forma, evidencia-se a necessidade de estudos que visem a otimização do processo.

Palavras-chave: Atomização; Micropartícula; Frutas Tropicais; Fenólicos; Atividade antioxidante.

ABSTRACT

In order to investigate the feasibility of microencapsulation by atomization of the seriguela agroindustrial residue extract, the process conditions related to drying temperature and maltodextrin concentration (10 DE) were investigated. The agroindustrial residue of seriguela was submitted to drying and then to the extraction process to obtain the hydroethanolic extract. A factorial design 2^2 , with three central points, was applied to define the best process conditions, having as independent variables the concentration of maltodextrin (10%, 15%, 20%) and the drying temperature (100°C, 120°C; 140°C), maintaining the flow rate of the drying air of 28m³/h and the feed rate of 0.60mL/min constant. Moisture content, water activity, hygroscopicity, apparent density, solubility, total phenolic content, antioxidant activity and encapsulation efficiency were the dependent variables. The phenolic profile of the extract, before and after the microencapsulation was defined by High Performance Chromatography. The temperature and the concentration of maltodextrin exerted significant influence ($p < 0.05$) on the humidity, apparent density and total phenol content. The water and moisture activity values were lower than 0.21 and 7.27%, respectively. The solubility of the microencapsulated extract was higher than 80%, independent of the maltodextrin concentration and the inlet temperature. Gallic, p-coumaric and syringogenic acid were the major compounds present in the hydroethanolic extract before and after the microencapsulation process. However, the change in the qualitative and quantitative profile of the microencapsulated phenolics was observed, indicating that the microencapsulation process, using maltodextrin 10 DE as an encapsulating agent under the applied conditions, was not efficient in promoting the stability of the phenolic compounds. In this way, it is evident the need of studies that aim at the optimization of the process.

Keywords: Atomization; Microparticle; Tropical Fruit; Phenolic; Antioxidant activity.

5.1. INTRODUÇÃO

A seriguela (*Spondia purpúrea* L.), fruta bastante consumida e com forte comercialização no Brasil (MALDONADO-ASTUDILLO et al., 2014), é rica em nutrientes, como vitaminas do complexo B e vitamina C, carotenoides e minerais, com destaque para cálcio, ferro, potássio e fósforo (VIDIGAL et al., 2011). Essa fruta de sabor agri-doce e aroma característico (CEVA-ANTUNES et al., 2006) é consumida *in natura* e processada, principalmente, para a fabricação de sorvetes, polpa congelada, doces, sucos, geleias e molhos (BAUTISTA-BAÑOS et al., 2000; INFANTE et al., 2013). O processamento da seriguela pela indústria alimentícia gera elevada quantidade de resíduo agroindustrial, constituído de restos de polpa, cascas e sementes (HENRIQUE et al., 2013). A maior parte deste resíduo é descartada de maneira inadequada, causando problema ambiental, e parte é utilizada para enriquecimento de ração animal (DOS SANTOS et al., 2015; MAPA, 2015).

Os resíduos agroindustriais, também, apresentam quantidades consideráveis de compostos bioativos. Estudos demonstram que no resíduo de seriguela há uma elevada concentração de compostos fenólicos com expressiva ação antioxidante (SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2016). Em virtude desta propriedade antioxidante, os polifenóis estão associados à redução do estresse oxidativo uma vez que são capazes de retardar a velocidade das reações de oxidação, responsáveis pelas alterações indesejáveis nos alimentos, bem como em reduzir a incidência de doenças crônico-degenerativas, causadas pelos radicais livres (AGUIAR et al., 2016). Sendo assim, os resíduos agroindustriais constituem matéria prima importante para obtenção de antioxidantes naturais com perspectiva de aplicá-los em alimentos. Entretanto, esses compostos apresentam estrutura molecular que os tornam susceptíveis à ação da luz, umidade, calor e oxigênio (ARIYARATHNA; KARUNARATNE, 2015). Desta forma, a aplicação destes compostos em alimentos, sem, contudo, alterar de forma significativa sua propriedade antioxidante é um grande desafio para a indústria.

Neste contexto, a microencapsulação, definida como um processo de revestimento de partículas sólida, líquida ou gasosa com material denominado encapsulante ou de parede, é uma técnica que protege substâncias sensíveis

mantendo, assim, a sua estabilidade (PAULO; SANTOS, 2017). A microencapsulação por atomização é bastante utilizada por ser simples, econômica e eficaz na proteção de compostos sensíveis, como os compostos fenólicos, bem como nos atributos relacionados à cor e ao sabor dos alimentos (SHISHIR; CHEN, 2017; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ et al., 2005; SOSNIK; SEREMETA, 2015; PEANPARKDEE; IWAMOTO; YAMAUCHI, 2016). Desta forma, o material de parede deve ter estabilidade térmica e mecânica de modo a propiciar proteção ao material encapsulado.

Os carboidratos em decorrência de sua diversidade e propriedade de formação de filmes são bastante utilizados como material de parede. A maltodextrina, obtida a partir da hidrólise do amido, é amplamente empregada como agente encapsulante, pois também apresenta, dentre outras características, alta solubilidade em água e baixa viscosidade, mesmo em altas concentrações (BORA et al., 2018; AKDENIZ, et al, 2018, GHARSALLAOUI et al., 2007). Sendo assim, este trabalho teve por objetivo estudar a viabilidade da microencapsulação por atomização do extrato hidroetanólico do resíduo de seriguela, utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

Preparo das Amostras

O resíduo de seriguela (casca, engaço e partes da semente) foi cedido por uma indústria produtora de polpa congelada de fruta, localizada na cidade de Recife/PE. 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 Domésticas da Universidade Federal Rural de Pernambuco. No laboratório, o resíduo foi submetido à secagem a 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 (500 Mesh), foi acondicionada em sacos de polietileno de alta densidade, envolvidos em papel alumínio, e armazenada sob congelamento (-18°C) até o desenvolvimento dos experimentos.

Obtenção do Extrato Hidroetanólico

Para a obtenção do extrato hidroetanólico, 20g da farinha de seriguela foram misturadas a 100 mL à solução de etanol: água (60: 40 v/v) e submetidas à agitação de 400rpm, em agitador mecânico digital (TE 039/1 – Tecnal), à temperatura ambiente (25°C), por 30min. Em seguida, a mistura foi centrifugada a 4000rpm, por 15 minutos em centrífuga a 15°C (CT-6000 R-CIENTEC). O resíduo de centrifugação foi ressuspendido em 100 mL da solução de etanol: água (60: 40 v/v) e submetido à nova etapa de extração e à centrifugação, nas condições acima descritas. Os sobrenadantes coletados foram reunidos, e o volume final aferido para 100 mL (com água destilada) e, em seguida, armazenado sob congelamento (-18°C) até o desenvolvimento dos experimentos.

Determinação de Fenólicos Totais do Extrato

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 725nm, utilizando o reagente Folin-Ciocalteau (Merk) e curva de padrão de ácido gálico (10 a 120 µg/mL, $R^2 = 0,9997$). (WETTASINGHE; SHAHIDI, 1999). Os resultados foram expressos em µg em equivalente de ácido gálico por mL do extrato (µg EAG.mL⁻¹).

Ensaio da Atividade Antioxidante do Extrato

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 *et al.*, (1995), modificado por Sánchez-Moreno, Larrauri e Sausa-Calixto (1998). Aliquotas do extrato (0,1mL) foram adicionados à solução de DPPH• em metanol (0,1M) e a absorbância registrada em espectrofotômetro (Shumadzu UV-1650PC) a 517nm 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:

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

Microencapsulação do extrato

Para melhor definir as condições experimentais da microencapsulação do extrato hidroetanólico do resíduo de seriguela foi aplicado um planejamento fatorial 2^2 com três pontos centrais, tendo como variáveis independentes a concentração de maltodextrina 10 DE (10; 15; 20%) e a temperatura de secagem (100; 120; 140°C), conforme a matriz de planejamento apresentada na Tabela 1. As variáveis dependentes foram teor de fenólicos totais, atividade antioxidante, eficiência de encapsulação, umidade, atividade de água, solubilidade, densidade aparente e higroscopicidade. A Equação de Ajuste utilizada no Planejamento Experimental encontra-se abaixo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

Tabela 1. Matriz do delineamento fatorial 2^2 - níveis codificados e decodificados das variáveis independentes, para a microencapsulação de extratos hidroetanólico do resíduo agroindustrial de seriguela.

Ensaio	Variáveis independentes	
	Temperatura (°C)	Concentração maltodextrina (%)
1	-1 (100)	-1 (10)
2	+1 (140)	-1 (10)
3	-1 (100)	+1 (20)
4	+1 (140)	+1 (20)
5	0 (120)	0 (15)
6	0 (120)	0 (15)
7	0 (120)	0 (15)

Obedecendo à matriz do delineamento fatorial, o agente encapsulante, maltodextrina 10 DE, foi adicionado ao extrato hidroetanólico do resíduo de seriguela, e a mistura submetida à agitação de 400rpm, em agitador mecânico digital (TE – 039/1 – Tecnal), por 10 min em temperatura ambiente (25°C). A dispersão foi submetida ao processo de microencapsulação utilizando mini *spray dryer*, modelo LM (MSD® 1.0), que operou em diferentes temperaturas (100°C a 140°C), mantendo-se constante a vazão do ar de secagem de 28m³/h, vazão de alimentação de 0,60mL/min e a pressão de 6,0 Bar. Após a microencapsulação, o

material foi acondicionado em vidros, envolvidos por papel de alumínio e armazenado sob congelamento (-18°C) até ser submetido às seguintes determinações analíticas:

1- Umidade

A determinação da umidade foi realizada utilizando balança de infravermelho MARTE®, modelo ID50, à temperatura de 105°C, por 30 minutos.

2- Atividade de Água

A atividade de água foi medida através do analisador de atividade de água AQUA LAB®, modelo 4TE (AOAC, 1980).

3- Higroscopicidade

O microencapsulado (1,5g) foi colocado a 25°C em um dessecador hermético contendo uma solução saturada de NaCl (UR 75,3%). Após 1 semana, a mostra foi pesada e a higroscopicidade expressa como grama de umidade adsorvida por 100g de pó (CAI; CORKE, 2000).

4- Solubilidade

A solubilidade foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Cano-Chauca et al. (2005), onde 1g da amostra foi diluído em 100 mL de água destilada. Em seguida, a mistura foi agitada em agitador magnético (FISATOM, modelo 752) por 5 minutos, e a solução aquosa centrifugada a 3000 rpm por 5 minutos em centrífuga (Cientec, modelo CT-6000R). Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi colocada em placa de Petri, esterilizada e previamente pesada, que foi levada à estufa com circulação de ar (Marconi, modelo MA-035) a 105°C, por 5 horas, até peso constante. Considerando o peso das amostras, a solubilidade foi calculada empregando a seguinte expressão matemática:

$$\% \text{ de solubilidade} = \frac{\text{Peso final da placa com a amostra} \times 100}{\text{Peso inicial da placa com a amostra}}$$

5- Densidade aparente

A densidade aparente (g/cm^3) dos microencapsulados foi determinada segundo o método descrito por Kim e Morr (1996). Para a determinação desta medida foi considerado o volume ocupado por 2g de microencapsulado em uma proveta graduada de 10 mL, que foi batida sobre a bancada durante 3 minutos, em uma taxa de 60 batidas por minuto.

6- Teor Total de Fenólicos (TTF)

Para determinação do teor total de fenólicos do microencapsulado, 100 mg do microencapsulado foram solubilizadas em 1 mL da solução etanol: ácido acético: água destilada (50:8:42 v/v). A mistura foi agitada em vórtex por 1 min, e filtrada em microfiltro de 0,45 μm . O teor de fenólicos foi determinado por método espectrométrico, com espectro de absorção registrado no comprimento de onda de 725nm, utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu (Merk) e curva padrão de ácido gálico (WETTASINGHE; SHAHIDI, 1999). Os resultados foram expressos em μg em equivalente de ácido gálico por g microcápsulas ($\mu\text{g EAG.g}^{-1}$).

7- Teor de fenólicos totais na superfície da microcapsula (TFS)

Determinado segundo procedimento descrito por Saénz et al (2009). 100 mg do microencapsulado foram solubilizados 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-Ciocalteu (Merk) e curva padrão de ácido gálico (WETTASINGHE; SHAHIDI, 1999).

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

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

9- Ensaio da Atividade Antioxidante

Para avaliar a capacidade antioxidante (sequestro do radical DPPH), 30mg do microencapsulado foram solubilizadas em 3mL da solução etanol: ácido acético: água destilada (50:8:42 v/v), e a mistura agitada em vórtex por 1 min. A amostra (0,1mL) foi adicionada à solução de DPPH• em metanol (0,1M) e a absorbância registrada em espectrofotômetro (Shimadzu UV – 1650PC) a 517nm segundo o método descrito por Brand-Williams *et al.*, (1995), modificado por Sánchez-Moreno, Larrauri e Sausa-Calixto (1998).

10- Delineamento do Perfil Fenólico do extrato e do microencapsulado

O extrato hidroetanólico foi submetido ao delineamento do perfil fenólico por cromatografia líquida de alta eficiência. Uma alíquota do extrato (20µL) foi injetada no HPLC *Ultimate 3000 Dionex®*, equipado com degaseficador, bomba quaternária (Waters 600E), amostrador automático, forno, detector de absorção molecular UV/Vis e *software Chromeleon*. A análise cromatográfica foi realizada utilizando coluna *Acclaim® 120 Dionex C-18*, 250mm x 4,6mm x 5µm (SHIMPACK CLC-ODS), com temperatura de 35°C; como fase móvel a mistura ácido fórmico: acetonitrila: água ultra pura (0,5:12,5:87 – solvente A) e a mistura ácido fórmico: acetonitrila: água ultra pura (10:50:40 – solvente B), em gradiente de concentração obtido variando a proporção do solvente B no solvente A, como segue: 0-10 min, 100 a 90% A; 10-30 min, 90 a 60% A; 30-40 min, 60 a 40% A; 55min, 40% A, com taxa de fluxo de 0,6mL. min⁻¹ a 220nm, 280nm, 306nm e 368nm. Os compostos fenólicos foram identificados com base no seu tempo de retenção e propriedade espectral, e quantificados por curva padrão de cada composto (TOLUN; ALTINTAS; ARTIK, 2016).

O microencapsulado obtido segundo as melhores condições de processo apontadas no planejamento fatorial foi submetido à análise cromatográfica, que seguiu o mesmo procedimento acima descrito para o extrato hidroetanólico, com o acréscimo de uma etapa prévia, onde 1g do encapsulado em pó foi dissolvido em 10mL do solvente (ácido acético: etanol: água – 50:8:42 v/v), e filtrado em microfiltro de 0,45µm anteriormente à injeção na amostra no HPLC.

Análise estatística

Todas as determinações foram efetuadas em triplicata e os dados submetidos a análise de regressão, ANOVA, ao nível de 5% de probabilidade, e os gráficos de pareto e de contorno foram gerados utilizando o programa estatístico “Statistic - for Windows” (versão 7, StatSoft, Inc., Tulsa, USA).

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O extrato hidroetanólico do resíduo agroindustrial de seriguela apresentou teor de fenólicos totais de $1.250,58 \pm 21,61 \mu\text{g EAG/mL}$ e capacidade de sequestro do radical DPPH de $81,82 \pm 1,36\%$. A ação antioxidante foi superior a relatada por Silva et al. (2012) para o extrato do resíduo de seriguela (70%). Portanto, o extrato hidroetanólico apresenta teor de fenólicos e ação antioxidante frente ao radical DPPH bastante expressiva, tornando-o interessante para ser submetido à microencapsulação.

Os dados relativos à atividade de água e umidade do microencapsulado do extrato de seriguela obtido empregando diferentes concentrações de maltodextrina 10 DE (10 a 20%) e temperatura de secagem (100 a 140°C) encontram-se na Tabela 2. O gráfico de contorno demonstra que há uma tendência de obter microencapsulados com menor atividade de água empregando no processo temperatura em torno de 140°C e concentração de maltodextrina de 20% (Figura 2a).

Tabela 2: Atividade de água (aw) e umidade do microenpacsulado do extrato de seriguela.

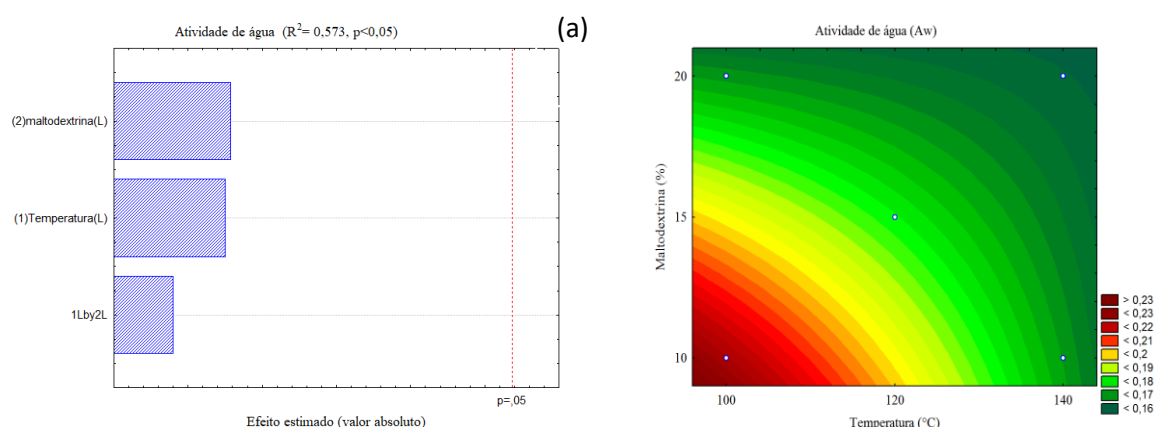
Ensaio	Variáveis independentes		Aw	Umidade (%)
	Temperatura (°C)	Concentração maltodextrina (%)		
1	-1 (100)	-1 (10)	0,21	7,27
2	+1 (140)	-1 (10)	0,16	6,66
3	-1 (100)	+1 (20)	0,16	5,43
4	+1 (140)	+1 (20)	0,15	6,56
5	0 (120)	0 (15)	0,20	6,56
6	0 (120)	0 (15)	0,16	6,25
7	0 (120)	0 (15)	0,21	6,86

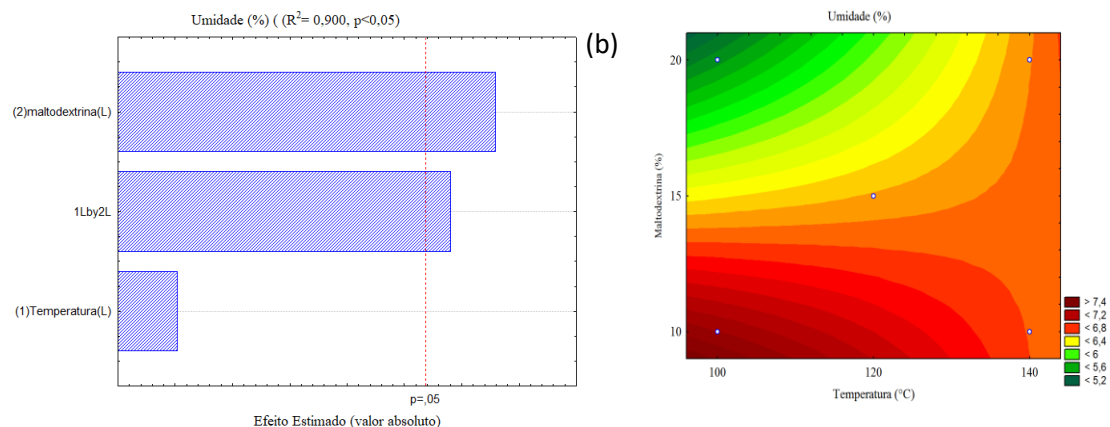
Analizando a Figura 2b verifica-se que o percentual de maltodextrina pura teve maior influência sobre a umidade, onde a maior concentração de maltodextrina gerou menor umidade, como pode ser verificado no Ensaio 3 (Tabela 2). O Ensaio 6 veio logo em seguida, com o menor valor de umidade, apresentando 15% de maltodextrina a 120°C, o que refitica a Figura 2b pelo efeito significativo da interação entre a temperatura e a concentração de maltodextrina.

Não obstante a variação dos teores de umidade (5,43 a 7,27%) e de atividade de água (0,15 a 0,21), os valores de todos os ensaios encontram-se dentro dos citados por outros autores para produtos atomizados (ŞAHIN-NADEEM et al., 2013; SINIJA; MISHRA, 2008; NEGRÃO-MURAKAMI et al., 2016).

Tolun, Altinkas e Artik (2016) empregando temperatura de 120 a 180°C no processo de atomização de polifenóis extraídos do bagaço da uva, utilizando maltodextrina (17-20 DE e 4-7 DE), obtiveram microencapsulado com umidade superior a 5,1%. Medina-Torres et al. (2016) relatam que a umidade da infusão da folha de louro atomizada variou de 1,85 a 4,24%, no processo foi utilizado 10% de maltodextrina e a temperatura de secagem variou de 140 a 180°C.

Figura 2. Influência da temperatura e concentração de maltodetrina 10 DE sobre a Atividade de água e Umidade do Extrato de Resíduo de Seriguela Microencapsulado - Diagrama de Pareto e Gráfico de Contorno.





Em relação à atividade de água, nota-se que em todos os ensaios os valores foram menores que 0,30 (Tabela 2), o que confere menor risco de proliferação de microrganismos no extrato microencapsulado (ETHUR; ZANATTA; SCHLABITZ, 2010). A umidade e atividade de água são parâmetros bastantes importantes, uma vez que influenciam a estabilidade do produto durante seu acondicionamento e armazenamento (ŞAHIN-NADEEM et al., 2013; SINIJA; MISHRA, 2008; NEGRÃO-MURAKAMI et al., 2016).

A baixa atividade de água e umidade do extrato de seriguela microencapsulado, possivelmente, foi favorecida pelo uso da maltodextrina como material de parede (Tabela 2). Movahhed e Mohebbi (2016) e Boonchu et al. (2015) ao microencapsular, respectivamente, extrato de cenoura e aipo, e compostos bioativos de uva tinta, ressaltam que a maltodextrina, usada como agente encapsulante, tem a capacidade de propiciar a obtenção de microencapsulados com baixa atividade de água e umidade. Kha et al. (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, como foi visto no presente estudo.

Na Tabela 3 observa-se os valores da ANOVA para as análises de atividade de água e teor de umidade dos microencapsulados, onde nota-se que a atividade de água não foi significativa e preditiva, diferente do teor de umidade que apresentou valores preditivos e significativos.

Tabela 3: Valores da análise ANOVA da Atividade de Água e da Umidade do Extrato do Resíduo de Seriguela Microencapsulado.

	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F-valor	R ²	p-valor
Atividade de água						
Regressão	0,002	3	0,0007	1,00	0,5732	<0,05
Resíduo	0,002	3	0,0007			
Total	0,004	6				
Umidade						
Regressão	1,766	3	0,589	9,062	0,9001	<0,05
Resíduo	0,196	3	0,065			
Total	1,962	6				
F _{3;3;0,05} = 9,28						

A solubilidade do extrato microencapsulado, independente da concentração de maltodextrina e da temperatura de secagem, se mostrou superior a 80% (Tabela 4) e, nenhuma dessas variáveis estudadas mostrou influência sobre a solubilidade (Figura 3a). O extrato de seriguela microencapsulado apresentou solubilidade próxima a relatada por Paini et al. (2015) para compostos fenólicos do bagaço de azeitona microencapsulados, utilizando maltodextrina como agente encapsulante (79 a 87%). A maltodextrina por ser um agente encapsulante bastante solúvel em água (SILVA et al., 2018), possivelmente favoreceu a solubilidade do extrato microencapsulado. Entretanto, valores de solubilidade inferiores foram relatados por Kha et al. (2010) para o extrato de fruta Gac (*Momordica cochinchinensis*) microencapsulado com maltodextrina (37 e 38%). Por outro lado, Silva et al. (2018) utilizando goma de caju e maltodextrina como agentes carreadores na microencapsulação do extrato do chá verde obtiveram solubilidade que variou entre 63,0% e 72,66%. Esses autores relatam que o maior percentual de solubilidade ocorreu no microencapsulado em que a maltodextrina encontrava-se em maior proporção quando relacionada à goma de caju (20:10). Dentre os fatores que podem estar relacionados com essas diferenças de solubilidade entre os produtos, a quantidade de substâncias lipossolúveis presentes na matéria-prima poderia ser apontada, uma vez que o aumento de compostos lipossolúveis no extrato reduz a solubilidade do pó em água (KHA et al., 2010).

Tabela 4: Solubilidade, higroscopicidade e densidade aparente do extrato de seriguela microencapsulado.

Ensaio	Variáveis independentes		Solubilidade (%)	Higroscopicidade (g/100g)	Densidade aparente (g/mL)
	Temperatura (°C)	Concentração maltodextrina (%)			
1	-1 (100)	-1 (10)	87,34	12,27	0,46
2	+1 (140)	-1 (10)	86,91	17,04	0,17
3	-1 (100)	+1 (20)	87,59	13,07	0,46
4	+1 (140)	+1 (20)	84,43	11,38	0,09
5	0 (120)	0 (15)	86,04	14,53	0,42
6	0 (120)	0 (15)	86,36	12,98	0,44
7	0 (120)	0 (15)	87,84	11,88	0,41

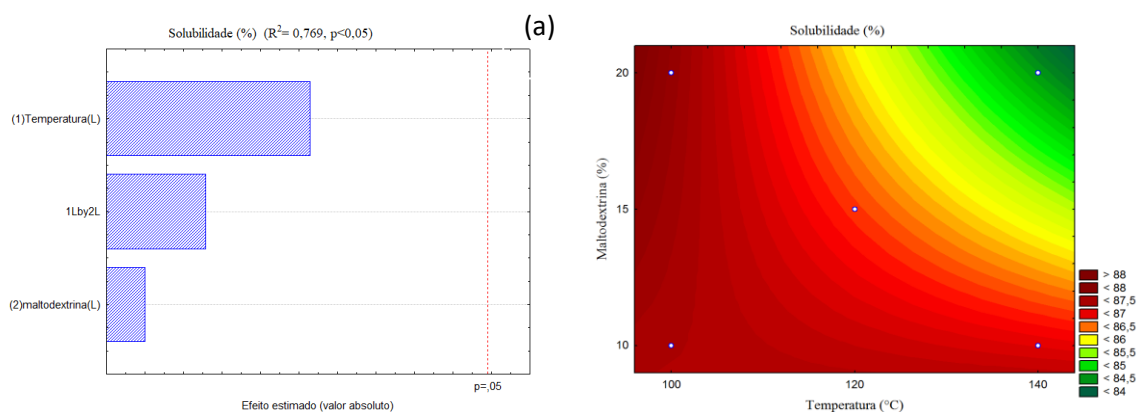
A higroscopicidade do extrato de seriguela microencapsulado (Tabela 4) ficou próximo ao valor encontrado por Negrão-Murakami et al. (2016) ao microencapsular extrato de erva mate com maltodextrina 10 DE (17,05%). Segundo estes autores, a higroscopicidade é influenciada pelo tipo de maltodextrina, uma vez que utilizando maltodextrina com 10,2; 15,2 e 18,6 DE obtiveram produtos com 17,05%; 18,69% e 19,10% de higroscopicidade, respectivamente. Carvalho et al. (2016), também, observaram que a higroscopicidade é influenciada pelo tipo de maltodextrina. A microencapsulação de extrato da polpa de juçara (*Euterpe edulis* Martius) usando maltodextrina 30 DE gerou produto com maiores valores de higroscopicidade ($15,40 \pm 0,10$ %) quando comparado com microencapsulado que empregou maltodextrina 10 DE e 20 DE ($12,12 \pm 0,15$ % e $13,65 \pm 0,05$ %, respectivamente).

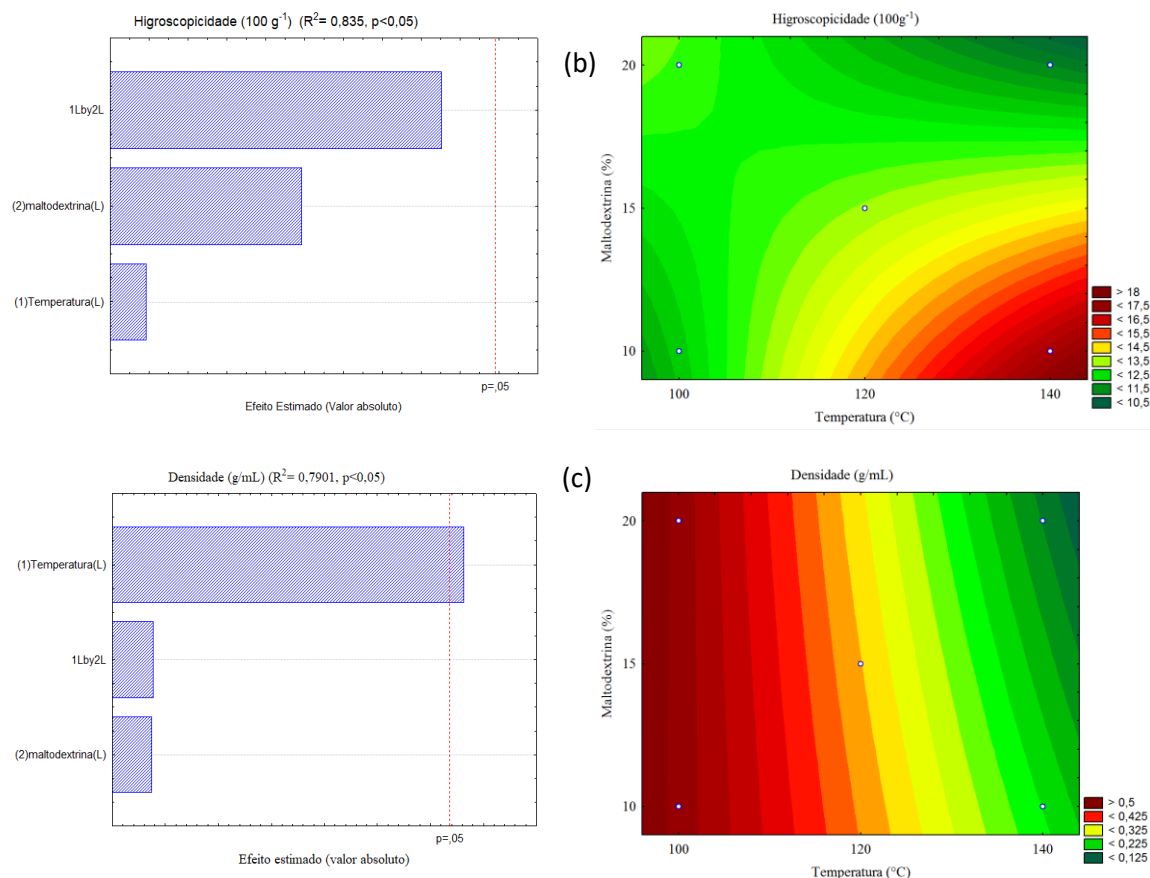
De acordo com Cai e Corke (2000), a maltodextrina com menor peso molecular contém cadeias mais curtas e maior quantidade de grupos hidrofílicos, permitindo a formação de microencapsulados mais higroscópicos. Logo, a adsorção de água pelas micropartículas pode ser associada com o número de grupos hidrofílicos na estrutura de cada agente carreador. O número maior de grupos hidrofílicos presentes na maltodextrina 20 e 30 DE propicia maior capacidade de adsorção de umidade no ambiente, enquanto a maltodextrina 10 DE, com menor grau de hidrólise, possui menor número de grupos hidrofílicos. Desta forma, a higroscopicidade do extrato microencapsulado de seriguela encontra-se dentro da faixa de valores relatados por outros autores (NEGRÃO-MURAKAMI et al., 2016; CARVALHO et al., 2016), confirmando a eficácia de seu uso no processo de microencapsulação.

Assim como ocorreu com a solubilidade, a higroscopicidade do extrato de seriguela microencapsulado não sofreu influência significativa da temperatura de secagem nem da concentração de maltodextrina (Figura 3b). Analisando o Gráfico de Contorno evidencia-se que o emprego de temperaturas entre 120 e 140°C, e concentração de maltodextrina de 15 e 20% tende a gerar microencapsulados com menor higroscopicidade.

A densidade aparente do extrato de resíduo de seriguela microencapsulado atingiu os menores valores ao empregar temperatura mais elevada (140°C), visto nos Ensaios 2 e 4 (Tabela 4). Nas temperaturas de 100 e 120°C o microencapsulado atingiu valores de densidade aparente próximos dos valores relatados por Gagneten et al. (2019) para extratos de framboesa, groselha e sabugueiro microencapsulados, utilizando maltodextrina 12 DE a 20% ($0,42 \pm 0,02$; $0,38 \pm 0,04$ e $0,38 \pm 0,02$, respectivamente). Segundo Caliskan e Dirin (2013), alta temperatura de secagem promove taxa de evaporação mais rápida, gerando produtos mais porosos e fragmentados, com menor densidade. Produtos com menor densidade significa maior volume ocupado e maior tamanho de partícula de amostras de pó, o que conseqüentemente diminui a coesão e aumenta a fluidez, característica considerada desejável (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014).

Figura 3. Influência da temperatura e concentração de maltodextrina 10 DE sobre a Solubilidade, Higroscopicidade e Densidade Aparente do Extrato de Resíduo de Seriguela Microencapsulado – Diagrama de Pareto e Gráfico de Contorno.





De acordo com Shrestha et al. (2007) e Adamopoulos (2008) a densidade também sofre influência da concentração de maltodextrina, pois, segundo esses autores, utilizar a maltodextrina como agente encapsulante na secagem por atomização pode induzir acumulação e aprisionamento de ar dentro da partícula, tornando-os menos densos e porosos. Todavia, no presente estudo, a temperatura foi a única variável que mostrou influenciar de forma significativa ($p < 0,05$) a densidade aparente do microencapsulado de seriguela (Figura 3). O Gráfico de Contorno demonstra que menores valores de densidade aparente tendem a ser obtidos com o emprego de temperaturas entre 120 e 140 $^{\circ}\text{C}$.

A Tabela 5 mostra os valores da ANOVA das análises de solubilidade, higroscopicidade e densidade aparente dos microencapsulados. Os valores mostrados nesta Tabela indicam que essas análises não se mostraram preditivas nem significativas.

Tabela 5: Valores da análise ANOVA da Solubilidade, Higroscopicidade e Densidade Aparente do Extrato do Resíduo de Seriguela Microencapsulado.

	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F-valor	R ²	p-valor
Solubilidade						
Regressão	6,328	3	2,109	3,332	0,7692	<0,05
Resíduo	1,899	3	0,633			
Total	8,227	6				
Higroscopicidade						
Regressão	18,710	3	6,237	5,046	0,8345	<0,05
Resíduo	3,709	3	1,236			
Total	22,419	6				
Densidade Aparente						
Regressão	0,113	3	0,038	4,333	0,7901	
Resíduo	0,029	3	0,009			
Total	0,142	6				
F _{3;3;0,05} = 9,28						

Os compostos fenólicos presentes no extrato hidroetanólico de seriguela são substâncias propensas à oxidação quando submetidos a temperaturas elevadas, todavia, no processo de atomização, essas moléculas são expostas a temperaturas elevadas por poucos segundos, o que minimiza a sua degradação (ÇAM; IÇER; ERDOGAN, 2014). Na Tabela 6 evidencia-se que, independente das condições de processo, o extrato de seriguela microencapsulado ainda detém quantidades bastante expressivas destes fitoquímicos. O maior teor de fenólicos totais foi obtido com o emprego de temperatura de 100°C e 10% de maltodextrina (Ensaio 1), e a análise dos dados demonstra que houve uma maior influência da concentração de maltodextrina e pouca influência da temperatura de secagem sobre o teor de compostos fenólicos no microencapsulado de seriguela (Figura 4a).

Medina-Torres (2016) obtiveram extrato aquoso de louro microencapsulado com teor de fenólicos totais mais elevados (10.240 a 20.220 µg GAE/g), tendo a maltodextrina a 10% como agente encapsulante e empregando temperatura de 140 a 180°C. Krishnainah, Sarbatly e Nithyanandam (2012), em microencapsulado de noni (*Morinda citrifolia*) utilizando maltodextrina em diferentes proporções (1:1; 1:2; 1:3; 1:4, proporção mL do extrato e peso em gramas da maltodextrina) e temperaturas de secagem de 90, 100, 120 e 140°C

também obtiveram microencapsulados com teor de fenólicos totais superiores ao do presente estudo (21.000 µg GAE/g a 54.000 µg GAE/g).

Na Figura 4a, observa-se no Gráfico de Contorno que todas as temperaturas utilizadas, quando associadas à concentração de maltoextrina de 10 a 15% mostraram maior tendência de obter maiores teores de fenólicos totais. Este dado corrobora com os dados de Paini et al. (2015) que obtiveram melhor resultado de teor de fenólicos totais (39.500µg CAE/g) na microencapsulação do extrato hidroetanólico de bagaço de azeitona com maltodextrina na concentração de 10%.

A proteção dos compostos fenólicos também ocorre em função do tipo de material encapsulante usado no processo. A maltodextrina se mostra bastante eficaz no processo de microencapsulação. Robert et al. (2010) comparou a maltodextrina com proteína de soja isolada no encapsulamento de fenólicos e antocianinas de suco de romã e observaram que a maltodextrina proporcionou maiores efeitos protetores dessas substâncias. Santos et al. (2017) também relataram a eficiência da maltodextrina como agente encapsulante no microencapsulamento de antocianinas do extrato do resíduo de amora preta. Aliakbarian et al. (2018) ao microencapsular o extrato do bagaço de azeitona, constataram que a maltodextrina usada como agente encapsulante também promoveu proteção dos compostos fenólicos nas microcápsulas, mantendo atividade antioxidante e a estabilidade desses compostos.

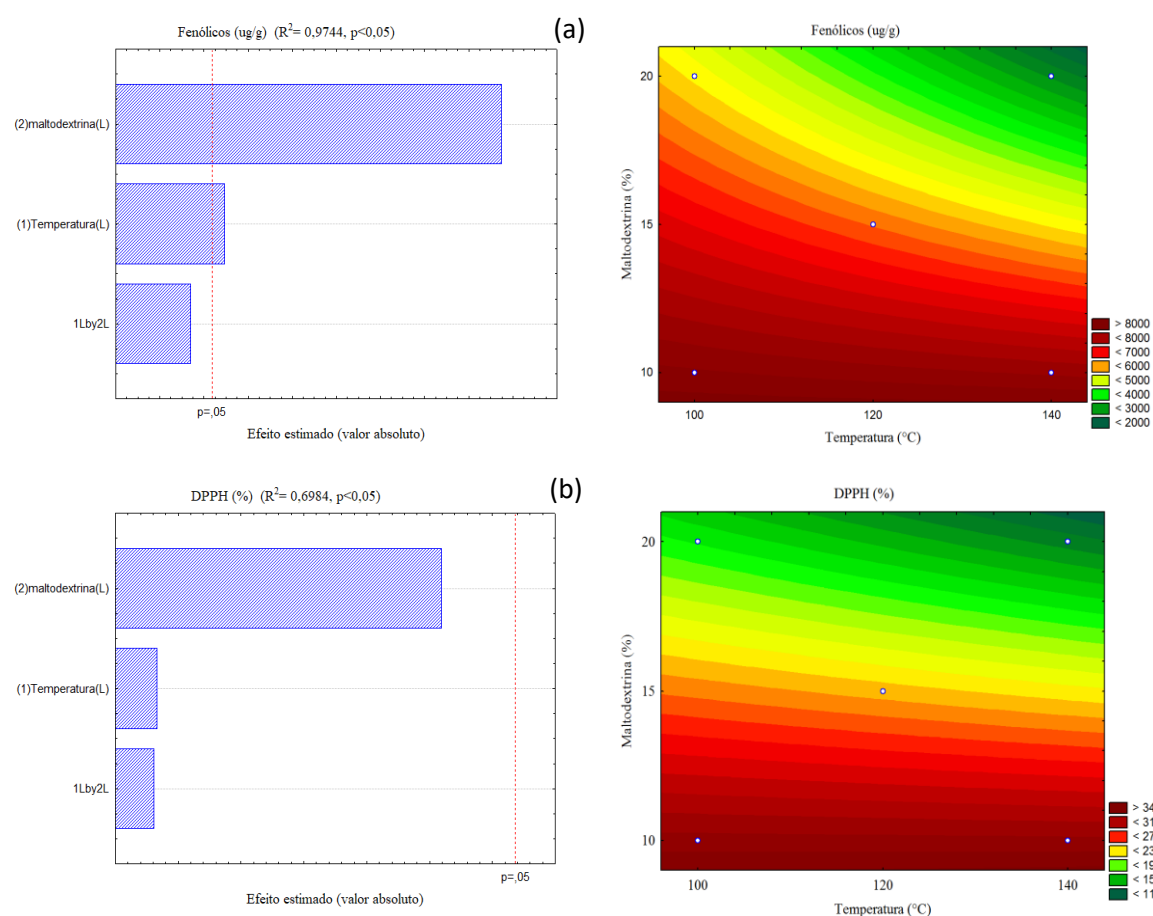
Tabela 6: Teor de fenólicos totais, capacidade de sequestro do radical DPPH e Eficiência de Encapsulação (EE) do extrato de seriguela microencapsulado.

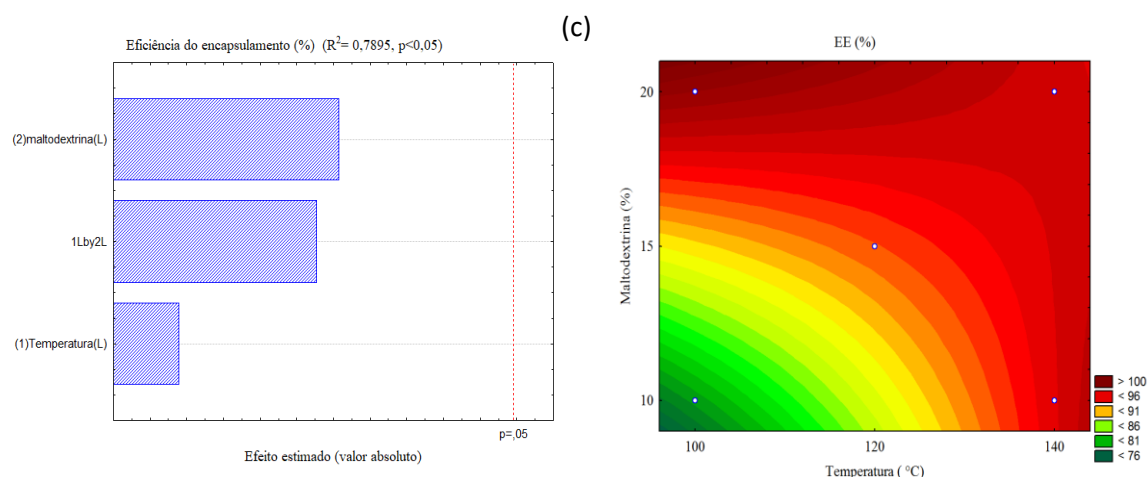
Ensaio	Variáveis independentes		Fenólicos totais (µg/g)	DPPH (%)	EE (%)
	Temperatura (°C)	Concentração maltodextrina (%)			
1	-1 (100)	-1 (10)	8.301,32	28,56	76,75
2	+1 (140)	-1 (10)	7.957,83	28,42	93,20
3	-1 (100)	+1 (20)	5.188,40	13,05	97,35
4	+1 (140)	+1 (20)	2.467,53	8,72	93,77
5	0 (120)	0 (15)	6.668,78	27,96	94,95
6	0 (120)	0 (15)	6.395,54	28,59	96,80
7	0 (120)	0 (15)	6.565,86	29,33	97,43

A ação antioxidante do extrato de seriguela microencapsulado, independente da condição de processo, foi inferior à exibida pelo extrato

hidroetanólico de seriguela (81,82%) e, de acordo com o Gáfico de Contorno, nota-se que nenhuma das variáveis estudadas influenciou de forma significativa a ação antioxidante do extrato microencapsulado. Segundo Medina-Torres (2016), é comum o impacto de temperaturas do processo de atomização, superiores a 65°C, sobre a ação antioxidante. Em seu estudo, a infusão de folha de louro apresentava EC50 de 0,45mg/mL, e após a atomização, utilizando maltodextrina e temperaturas de 140°C e 180°C, o microencapsulado atingiu EC50 de 1,3 a 3,1 mg/mL. Considerando que o menor valor de EC50 corresponde a maior ação antioxidante, evidencia-se, redução da ação antioxidante em decorrência da temperatura do processo.

Figura 4. Influência da temperatura e concentração de maltodextrina 10 DE sobre o Teor Total de Fenólicos, DPPH e Eficiência do Encapsulamento do Extrato de Resíduo de Seriguela Microencapsulado – Diagrama de Pareto e Gráfico de Contorno.





O microencapsulado com concentração de maltodextrina de 20% apresentou a menor ação antioxidante, porém ao utilizar 10 e 15% de maltodextrina, independente da temperatura de entrada, a ação antioxidante ficou em torno de 28% (Tabela 6). A análise dos dados demonstra que a temperatura e a concentração de maltodextrina não influenciam de forma significativa a ação antioxidante. No entanto, é possível observar que na faixa de temperatura de 100 a 140°C a ação antioxidante tende a melhorar ao empregar no processo concentração de maltodextrina de até 15% (Figura 4b).

Tolun et al. (2016) relatam ação antioxidante entre 17,2 a 23,2% para microencapsulados de polifenóis do bagaço da uva, obtidos com 10% de maltodextrina 4-7 DE e temperatura entre 120 a 180°C. Segundo estes autores, maltodextrina com maior valor de DE é mais sensível à elevada temperatura, em decorrência do menor tamanho da cadeia e menor peso molecular. A ação antioxidante do extrato de noni microencapsulado ficou entre 5,44% e 28,36%, cujo menor valor foi conseguido empregando a temperatura de 140°C (KRISHNAINAH; SARBATLY, NITHYANANDAM, 2012), semelhante ao encontrado neste estudo.

Em relação à eficiência de encapsulamento, nota-se que todos os ensaios, com exceção do ensaio 1, que utilizou 10% de concentração de maltodextrina e temperatura de 100°C, apresentaram eficiência de encapsulamento superior a 90%. Saénz et al. (2009) encontraram uma eficiência de encapsulamento entre 39 e 75% no microencapsulamento de palma utilizando maltodextrina, valores inferiores aos obtidos na microencapsulação do extrato de seriguela.

Robert et al. (2010) relatam que a proteína isolada de soja como agente encapsulante exibe maior eficiência de encapsulamento de compostos fenólicos do extrato de romã (82,9%) do que a maltodextrina (71%). Saikia; Mahnot e Maahanta (2015) evidenciaram que a eficiência de encapsulamento é diretamente proporcional à concentração de maltodextrina usada como agente encapsulante, uma vez que ao microencapsular o extrato de carambola, empregando maltodextrina nas concentrações de 10%; 15% e 20% obtiveram valores de eficiência de encapsulamento igual a 62,99%, 74,10% e 79,07%, respectivamente.

Na Figura 4c constata-se que a concentração de maltodextrina e a temperatura de secagem não influenciaram de forma significativa a eficiência de encapsulamento. Entretanto, observa-se maior eficiência de encapsulamento tende a ser atingida na microencapsulação quando a concentração de maltodextrina é superior a 15% (Figura 4c).

Os dados obtidos permitem constatar que as variáveis estudadas (temperatura e concentração de maltodextrina) exercem influência significativa ($p < 0,05$) sobre a umidade, densidade aparente e teor de fenólicos totais. Sendo assim, os microencapsulados obtidos aplicando no processo temperaturas de 100°C a 120°C com 10% a 15% de maltodextrina apresentam menor umidade, menor densidade aparente e maior teor de fenólicos totais. Nestas condições de processo, a ação antioxidante, embora não tenha sofrido influência significativa das variáveis estudadas, também foi favorecida.

Em relação ao teste da ANOVA para as análises de teor de fenólicos totais, atividade antioxidante e eficiência do encapsulamento, nota-se que apenas o teor de fenólicos se mostrou preditivo e significativo, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Valores da análise ANOVA do Teor de Fenólicos totais, Atividade Antioxidante e Eficiência do Encapsulamento do Extrato do Resíduo de Seriguela Microencapsulado.

	Soma Quadrática	Grau de Liberdade	Média Quadrática	F-valor	R ²	p-valor
Teor de Fenólicos						
Regressão	22264408	3	7421469,33	38,08	0,9744	<0,05
Resíduo	584601	3	194867			
Total	22.849.009	6				
DPPH						
Regressão	319,321	3	106,440	2,315	0,6984	<0,05
Resíduo	137,926	3	45,975			
Total	457,247	6				
EE						
Regressão	253,756	3	84,585	3,751	0,7895	
Resíduo	67,653	3	22,551			
Total	321,409	6				
F _{3;3;0,05} = 9,28						

Perfil fenólico do extrato hidroetanólico e do microencapsulado

No extrato hidroetanólico do resíduo de seriguela encontra-se o ácido gálico, seguido pelo p-cumárico e siríngico, como compostos majoritários. A quercetina e o resveratrol também estão presentes, porém em menor concentração (Tabela 8). Considerando o teor de fenólicos totais do extrato hidroetanólico do resíduo de seriguela, possivelmente outros compostos fenólicos devem fazer parte deste perfil, os quais não foram identificados e quantificados neste estudo em decorrência da não disponibilidade de padrões.

Os mesmos compostos fenólicos identificados no extrato hidroetanólico do resíduo, com exceção do resveratrol, porém em concentrações diferentes foram encontrados na seriguela *in natura* por Dutra et al. (2017). Estes autores relatam que além do ácido gálico (13,32 mg.100g⁻¹), ácido siríngico (17,37 mg.100g⁻¹), ácido p-cumárico (217,8 mg.100g⁻¹) e quercetina (59,92 mg.100g⁻¹), também encontram-se presente nesta fruta o ácido p-hidroxibenzóico (391,25 mg.100g⁻¹), ácido gentísico (762,73 mg.100g⁻¹) e ácido protocatecúico (147,77 mg.100g⁻¹), entre outros. Na polpa congelada da fruta, Dutra et al. (2017) constataram o mesmo perfil qualitativo dos fenólicos da fruta fresca, entretanto observaram alteração na concentração de alguns compostos. Segundo os

autores, o processamento para obtenção da polpa congelada pode ter favorecido a extração de compostos que se encontravam ligados à parede celular bem como ter propiciado a sua degradação, resultando, respectivamente, no aumento e na redução de alguns compostos fenólicos.

De acordo com Saikia; Mahnot; Mahanata (2016) é comum essa variação de compostos fenólicos entre as frutas e entre as partes de uma fruta. O ácido gálico é um dos compostos fenólicos usualmente presente, o qual é responsável por grande parte da ação antioxidante das frutas. Além disso, fatores como o estágio da maturação do fruto, solo, tempo de colheita e outros parâmetros ambientais tendem a influenciar o perfil fenólico (GARCIA-HERRERA et al., 2016).

Tabela 8: Perfil fenólico do extrato hidroetanólico e do microencapsulado do resíduo de seriguela.

Composto fenólico	Extrato hidroetanólico (mg.100g⁻¹)	Microencapsulado (mg.100g⁻¹)
Ácido gálico	100,12	5,14
Ácido <i>p</i> -cumárico	30,24	0,44
Ácido siríngico	13,93	5,63
Quercetina	11,59	0,08
Resveratrol (<i>trans</i> -)	3,38	-
Ácido caféico	-	0,08
Ácido ferúlico	-	0,08
Miricetina	-	0,02

Na Tabela 8, evidencia-se que houve uma alteração do perfil qualitativo e quantitativo de fenólicos do microencapsulado quando comparado com o perfil do extrato hidroetanólico. Observa-se que no microencapsulado houve redução na concentração dos compostos bem como a presença do ácido caféico, ácido ferúlico e da miricetina. Portanto, é possível inferir que o processo de microencapsulação, empregando a maltodextrina como agente encapsulante, não foi eficiente em promover estabilidade dos compostos fenólicos. Este dado vai de encontro ao relatado por García-Ruiz et al. (2017) que ao microencapsular

maracujá por atomização, utilizando maltodextrina como agente encapsulante, costataram que o processo propiciou a estabilidade dos compostos bioativos.

Por outro lado, Tolun; Altinkas e Artik (2016) evidenciaram alteração no perfil fenólico do microencapsulado do resíduo de uva, em função do agente encapsulante e da temperatura de secagem. O uso da maltodextrina juntamente com a goma arábica (8:2), promoveu maior proteção aos compostos fenólicos frente à temperatura de processo, do que à maltodextrina isolada como agente encapsulante. Segundo os autores, isto se deve à propriedade da goma arábica em formar uma matriz com maltodextrina capaz de proteger os compostos fenólicos contra o calor. Tolun; Altinkas e Artik (2016) também mencionam que o tamanho e a estrutura molecular de cada composto proporcionam característica singular, causando influência em sua resistência às condições de processo.

5.4. CONCLUSÃO

A temperatura de entrada e a concentração de maltodextrina 10 DE tem influência significativa sobre a umidade, densidade e teor de fenólicos totais do microencapsulado do resíduo de seriguela, sem, contudo, exercer efeito sobre os demais parâmetros estudados (atividade de água, solubilidade, higroscopicidade, eficiência de encapsulamento e ação antioxidante).

A maltodextrina 10 DE, usada como agente encapsulante nas condições do estudo, não se mostrou eficaz na proteção dos compostos fenólicos, tendo em vista a redução no perfil qualitativo e quantitativo como também na ação antioxidante. Desta forma, evidencia-se a necessidade de efetuar estudos visando a otimização do processo.

5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIAKBARIAN, B.; SAMPAIO, F.C.; FARIA, J.T.; GRIJÓ, C. Optimization of spray drying microencapsulation of olive pomace polyphenols using Response Surface Methodology and Artificial Neural Network. **LWT - Food Science and Technology**, v. 93, p. 220-228, 2018.

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.

BAUTISTA-BAÑOS, S.; HERNÁNDEZ-LÓPEZ, M.; DÍAZ-PÉREZ, J.C.; CANO-OCHOA, C.F. Evaluation of the fungicidal properties of plant extracts to reduce *Rhizopus stolonifer* of 'ciruela' fruit (*Spondias purpurea* L.) during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 1, p. 99-106, 2000.

BHUSARI, S.N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, v. 266, p. 354-364, 2014.

BOONCHU, T.; UTAMA-ANG, N. Optimization of extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red grape (*Vitis vinifera* L.) pomace. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, p. 783–792, 2015.

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.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use os a Free Radical Method to Evaluate. **Lebensmittel Wissenschaft and Tchnologies**, v. 28, p. 25-30, 1995.

CABRAL, B.; SIQUEIRA, E.M.S.; BITENCOURT, M.A.O.; LIMA, M.C.J.S.; LIMA, A.K.; ORTMANN, C.F.; CHAVES, V.C.; FERNANDES-PEDROSA, M.F.; ROCHA, H.A.O.; SCORTECCI, K.C.; REGINATTO, F.H.; GIORDANI, R.B.; ZICOLOTTO, S.M. Phytochemical study and anti-inflammatory and antioxidant potential of *Spondias mombin* leaves. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 26, n. 3, p. 304-311, 2016.

CAI, Y.Z., CORKE, H. Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus Betacyanin* Pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 7, p. 1248-1252, 2000.

CALISKAN, G.; DIRIM, S.N. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 539-548, 2013.

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

CANO-CHAUCA, M., STRINGHETA, P. C., RAMOS, A. M., & CAL-VIDAL, J. Effect of the 351 carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its 352 functional characterization. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 6, n. 353 p. 420-428, 2005.

CARVALHO, A.G.S.; MACHADO, M.T.C.; SILVA, V.M.; SARTORATTO, A.; RODRIGUES, R.A.F.; HUBINGER, M.D. Physical properties and morphology of spray dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract. **Powder Technology**, v. 294, p. 421-428, 2016.

CEVA-ANTUNES, P.M.N.; BIZZO, R.; SILVA, A.S.; CARVALHO, C.P.S.; ANTUNES, O.A.C. Analysis of volatile composition of siriguela (*Spondias purpurea* L.) by solid phase microextraction (SPME). **LWT - Food Science and Technology**, v. 39, n. 4, p. 437-443, 2006.

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 purpurea* L.). **Journal of Health Sciences**, v. 13, n. 3, 2015.

DUTRA, R.L.T.; DANTAS, A.M.; MARQUES, D.A.; BATISTA, J.D.F.; MEIRELES, B.R.L.A.; CORDEIRO, A.M.T.M.; MAGNANI, M.; SILVA, G. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. **Food Research International**, v. 100, p. 650-657, 2017.

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.

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

GARCIA-HERRERA, P.; PEREZ-RODRIGUEZ, M.L.; AGUILERA-DELGADO, T.; LABARI-REYES, M.J.; OLMEDILLA-ALONSO, B.; CAMARA, M.; PASCUAL-TERESA, S. Anthocyanin profile of red fruits and black carrot juices, purees and concentrates by HPLC-DAD-ESI/MS-QTOF. **International journal of food science & technology**, v. 51, n. 10, p. 2290-2300, 2016.

GARCÍA-RUIZ, A. GIRONES-VILAPLANA, A.; LEÓN, P.; MORENO, D.A.; STINCO, C.M.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A.J.; RUALES, J. Banana passion fruit (*Passiflora mollissima* (Kunth) LH Bailey): microencapsulation, phytochemical composition and antioxidant capacity. **Molecules**, v. 22, n. 1, p. 85, 2017.

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, n. 9, p. 1107-1121, 2007.

HENRIQUE, M.A.; SILVÉRIO, H.A.; NETO, W.P.F.; PASQUINI, D. Valorization of an agroindustrial waste, mango seed, by the extraction and characterization of its cellulose nanocrystals. **Journal of Environmental Management**, London, v. 121, p. 202–209, 2013.

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

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

KIM, Y.D.; MORR, C.V. Microencapsulation properties of gum arabic and several food proteins: Spray-Dried orange oil emulsion particles. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.5, p.1314-1320, 1996.

KRISHNAIAH; SARBATLY; NITHYANANDAM. Microencapsulation of *Morinda citrifolia* L. extract by spray-drying. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, n. 5, p. 622-632, 2012.

MALDONADO-ASTUDILLO, Y.I.; ALIA-TEJACAL, I.; NÚÑEZ-COLÍN, C.A.; JIMÉNEZ-HERNÁNDEZ, J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, V.; VALLE-GUADARRAMA, S.; ANDRADE-RODRÍGUEZ, M.; BAUTISTA-BAÑOS, S.; PELAYO-ZALDÍVAR, C., Postharvest physiology and technology of *Spondias purpurea* L. and *S. Mombin* L. **Scientia Horticulturae**, v. 174, p. 193–206, 2014.

MAPA. **Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento**. Culturas: Citrus from. (2015).

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

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

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.

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

PEANPARKDEE, M.; IWAMOTO, S.; YAMAUCHI, R. Microencapsulation: A review of applications in the food and pharmaceutical industries. **Reviews in Agricultural Science**, v. 4, p. 56–65, 2016.

ROBERT, P.; GORENA, T.; ROMERO, N.; SEPULVEDA, E.; CHAVEZ, J.; SAENZ, C. Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 45, p. 1386 - 1394, 2010.

RODRÍGUEZ-HERNANDEZ, G.R.; GONZÁLEZ-GARCIA, R.; GRAJALES-LAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M.; ABUD-ARCHILA, M. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. **Drying Technology**, v. 23, n. 4, p. 955-973, 2005.

ŞAHIN-NADEEM, Hilal et al. 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**, v. 52, n. 1, p. 31-38, 2013.

SAIKIA, S.; MAHNOT, N.K.; MAHANTA, C.L. Optimisation of phenolic extraction from *Averrhoa carambola* pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. **Food chemistry**, v. 171, p. 144-152, 2015.

SAIKIA, S.; MAHNOT, N.K.; MAHANTA, C.L. Phytochemical content and antioxidant activities of thirteen fruits of Assam, India. **Food Bioscience**, v. 13, p. 15-20, 2016.

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.

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.

SANTOS, S.S.; RODRIGUES, L.M.; COSTA, S.C.; MADRONA, G.S. Antioxidant compounds from blackberry (*Rubus fruticosus*) pomace: Microencapsulation by spray-dryer and pH stability evaluation. **Food Packaging and Shelf Life**, 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, F.; TORRES, L. SILVA, L.; FIGUEIREDO, R.; GARRUTI, D.; ARAÚJO, T.; DUARTE, A.; BRITO, D.; RICARDO, N. Cashew gum and maltodextrin particles for green tea (*Camellia sinensis* var *Assamica*) extract encapsulation. **Food chemistry**, v. 261, p. 169-175, 2018.

SILVA, Q.J., MOREIRA, A.C.C.G., MELO, E.A., LIMA, V.L.A.G. Compostos fenólicos e atividade antioxidante de genótipos de ciriguela (*Spondias purpurea* L.). **Alimentos Nutrição**, Araraquara, v. 23, n. 1, p. 73-80, 2012.

SILVA, R.C.O. **Resíduo agroindustrial de ciriguela: fitoquímicos bioativos e potencial antioxidante**. 2014, 97f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Ciências Domésticas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 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.

SINIJA, VR; MISHRA, HN Isotermas de sorção de umidade e calor de sorção de pó de chá verde (solúvel) instantâneo e grânulos de chá verde. **Journal of Food Engineering**, v. 86, n. 4, p. 494-500, 2008.

SOSNIK, A.; SEREMETA, K. P. Advantages and challenges of the spray-drying technology for the production of pure drug particles and drug-loaded polymeric carriers. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 223, p. 40–54, 2015.

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.

VIDIGAL, M.C.T.R.; MINIM, V.P.R.; CARVALHO, N.B.; MILAGRES, M.P.; GONÇALVES, A.C.A. Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: acai (*Euterpe oleracea*), camu-camu (*Myrciaria dúbia*), cajá (*Spondia lutea* L.) and umbu (*Spondia tuberosa* A.). **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1988-1996, 2011.

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