

Congresso
Internacional da
Agroindústria
25 a 27 de setembro



Ciência,
Tecnologia e
Inovação: do
campo à mesa

UMA PERSPECTIVA PARA OTIMIZAÇÃO DO ENCAPSULAMENTO DE AÇAÍ COM PROTEÍNAS DO SORO DE LEITE EM *SPRAY DRYER*

A PERSPECTIVE FOR OPTIMIZING AÇAÍ ENCAPSULATION WITH WHEY PROTEIN IN *SPRAY DRYER*

Tailane Vieira Costa¹; Jaqueline de Jesus Silva²; Mirela Luz Santos³; Laís Teles da Silva e Silva⁴;
Modesto Antônio Chaves⁵

Resumo

O microencapsulamento iniciou-se a partir da técnica de coacervação, usando o princípio de remoção da água presente no sistema. Atualmente outras técnicas vêm sendo exploradas para esse fim, principalmente a secagem por pulverização. A encapsulação consiste em aprisionar um composto de interesse tecnológico recobrando-o por um material encapsulante. No setor alimentício é comum que os compostos sejam de origem vegetal e no caso da polpa de açaí, os compostos de interesse são antocianinas e flavonóides. Ambos estão associados a benefícios a saúde e os materiais encapsulantes mais usuais são os carboidratos e as proteínas. Nesse sentido as proteínas do soro de leite têm se mostrado promissora por apresentar boa capacidade formadora de filme, baixa viscosidade e outras características. Porém demais variáveis também intervêm no processo e por isso é necessária uma otimização prévia. Por este motivo, o objetivo desse trabalho foi apresentar uma perspectiva para direcionar a otimização do encapsulamento da polpa de açaí, com proteínas do soro de leite em *spray dryer*. Tecnicamente, deve-se otimizar todas as variáveis do encapsulamento, porém 3 ou 4 já têm sido validadas na compreensão dos fenômenos e na obtenção de uma perspectiva do processo que viabilize a produção de pós com qualidade tecnológica.

Palavras-Chaves: delineamento, microencapsulação, polpa de açaí, proteína, pulverização.

Abstract

Microencapsulation started with the coacervation technique, using the principle of removing water present in the system. Currently, other techniques are being explored for this purpose, mainly spray drying. Encapsulation consists of imprisoning a compound of technological interest by covering it with an encapsulating material. In the food sector it is common for compounds to be of vegetable origin and in the case of açaí pulp, the compounds of interest are anthocyanins and flavonoids. Both are associated with health benefits and the most common encapsulating materials are carbohydrates and proteins. In this sense, whey proteins have shown promise because they have good film-forming capacity, low viscosity and other characteristics. However, other variables also intervene in the process and, therefore, prior optimization is necessary. For this reason, the objective of this work was to present a perspective to direct the optimization of the encapsulation of the açaí pulp, with whey proteins in spray dryer. Technically, one must optimize all the variables of the encapsulation, but 3 or 4 have already been validated in the understanding of the phenomena and in obtaining a perspective of the process that makes the production of powders with technological quality feasible.

Keywords: açaí pulp, design, microencapsulation, protein, spraying.

¹ Mestrado em engenharia e ciência de alimentos, UESB, jaqsali@live.com

² Engenharia de alimentos, UESB, tai_vieira2011@hotmail.com

³ Engenharia de alimentos, UESB, mirela_luz@hotmail.com

⁴ Mestrado em engenharia e ciência de alimentos, UESB, laiseteles.silva@gmail.com

⁵ Doutor, UESB, modestochaves@hotmail.com

1. Introdução

Os primeiros registros da microencapsulação se deu por volta de 1930 por técnicas de coacervação, cujo princípio incluía a vaporização da água presente no sistema (RÉ, 2000). Devido aos altos custos do processo, o setor alimentício levou cerca de 30 anos para dar os primeiros passos com trabalhos envolvendo encapsulação, cujos objetivos eram proteger aromas e permitir sua liberação controlada (FAVARO-TRINDADE e PINHO, 2008). Desde então, novas técnicas foram desenvolvidas a fim de reduzir os custos e maximizar os benefícios, o que possibilitou a aplicação da tecnologia para diversas áreas do setor como a produção de aditivos, ingredientes e produtos acabados (RÉ, 2000).

Atualmente vários produtos têm sido gerados com a encapsulação, usando principalmente vegetais, a fim de aprisionar seus componentes com alguma ação benéfica ao organismo humano. Dessa forma, a polpa de açaí já tem sido empregada com este fim por possuir uma gama de componentes polifenólicos nutracêuticos, ou seja, com ação sobre a defesa do organismo e prevenção de doenças. Seus principais componentes são antocianinas e flavonoides, mas estes podem ser degradados com o aquecimento e perder suas propriedades nutracêuticas, por isso é recomendado que o processamento em altas temperaturas, como a secagem por *spray drying*, seja rápido (TONON, BRABET e HUBINGER, 2009; PORTINHO; ZIMMERMANN; BRUCK, 2012; SHAMAEI, *et al.*, 2017).

A encapsulação de compostos nutracêuticos requer que haja eficiência do encapsulamento para verificar o teor desses compostos retidos no pó, e isso depende do tipo, combinação e concentração de materiais conhecidos como encapsulantes, dentre os mais comuns estão os carboidratos e as proteínas (SHAMAEI, *et al.*, 2017; LABUSCHAGNE, 2018). As proteínas apresentam alto valor nutritivo e excelentes propriedades funcionais, capazes de interagir com vários compostos ativos e oferecer ampla proteção ao composto de interesse, além disso, apresentam capacidade formadora de filme, baixa higroscopicidade, baixa viscosidade a altas concentrações de sólidos, sabor e odor suaves, fácil reconstituição e outras (KILARA e VAGHELA, 2018; CHUYEN *et al.*, 2019).

O processo em questão pode apresentar melhores resultados quando as variáveis independentes que aparecem antes e durante a secagem são cuidadosamente otimizadas. Por essa perspectiva, a otimização do encapsulamento da polpa de açaí é uma etapa necessário, pois define os limites das principais variáveis que atuam no processo e pode indicar os limites (MONTGOMERY, 2003) aplicáveis a outros vegetais com características semelhantes. Dessa forma, garante um produto final de qualidade tecnológica. Muitos estudos relacionam a qualidade com as características químicas do processo e devem ser avaliadas antes da secagem, como tipo e concentração de material encapsulante, teor de sólidos, viscosidade, formação de

partículas e outras propriedades das soluções (SANTANA *et al.*, 2016; SHAMAEI *et al.*, 2017; LABUSCHAGNE, 2018; CUSTODIO *et al.*, 2020). Também há correlações com as condições físicas do processo que são avaliadas durante a secagem, como a temperatura de entrada do sistema e as vazões do ar de secagem e do ar comprimido que circulam no interior do equipamento, entre outras (BOTREL *et al.*, 2012; KO *et al.*, 2015; GETACHEW e CHUN 2016; YANG *et al.*, 2020). Já as variáveis que são estudadas após o processo, são as respostas e indicam o quanto a técnica foi bem-sucedida (ROCHA *et al.*, 2019). Dessa maneira, o objetivo desse trabalho foi apresentar uma perspectiva que direcione a otimização do encapsulamento da polpa de açaí com proteínas do soro de leite em *spray dryer*.

2. Desenvolvimento

Dados históricos da encapsulação definem o processo desde os anos 70, como o empacotamento de compostos por uma fina camada polimérica, também chamada de material de parede, formando partículas. O intuito do processo é melhorar a performance do composto ou criar novas aplicações (FAVARO-TRINDADE e PINHO, 2008). O produto da encapsulação pode ser um material em pó, pastoso ou líquido, dependendo da técnica aplicada (SAIFULLAH *et al.*, 2019). No caso do *spray drying*, o sistema produzirá partículas em pó, pulverizando um líquido no interior de uma câmara, onde circula ar quente concorrente ou em contracorrente (ROCHA, 2015 e CUSTODIO *et al.*, 2020). O pó deve apresentar características coerentes ao fim que se destina, cuja qualidade é resultado de parâmetros que devem ser conhecidos e estudados caso a caso em cada processo (REZAUL *et al.*, 2017).

A técnica de *spray drying* tem sido aplicada para encapsular vários elementos de origem vegetal, dentre eles, estão os óleos (CHUYEN *et al.*, 2019), aromas (SAIFULLAH *et al.*, 2019), diversos nutracêuticos (ROCHA, 2015; KO *et al.*, 2015 e CUTRIM, ALVIM e CORTEZ, 2019) e até mesmo toda a polpa de um fruto (CHAUL *et al.*, 2017 e GUEDES-OLIVEIRA *et al.*, 2018) com a finalidade de preservar ao máximo sua composição. Como é o caso do encapsulamento da polpa de açaí que já vem sendo estudada e muito contribuiu para ampliar a compreensão dos fenômenos que envolvem a encapsulação (TONON *et al.*, 2009 e CUSTODIO *et al.*, 2020). Porém ainda há muito a ser revelado no que tange ao uso do açaí como produto a ser encapsulado, pois a aplicação de um material de parede não usual, ou combinações de dois ou três, com diferentes concentrações e até mudanças nos parâmetros do equipamento podem apontar importantes descobertas do processo.

Enfim, muitas são as possibilidades e precisam ser exploradas, estudadas e aprendidas.

2.1. Breve histórico

A microencapsulação teve seus primeiros registros na década de 30 pela empresa americana National Cash Register Co., de Dayton, em que Barret K. Green descobriu e

desenvolveu um sistema de microcápsulas por meio de coacervação que tem como princípio básico a vaporização de uma cobertura sobre partículas em suspensão (RÉ, 2000). Já na década seguinte várias patentes haviam sido desenvolvidas, as quais embasaram diversas pesquisas na área farmacêutica que se fortaleceram a partir de 1955 com a intenção de cobrir comprimidos e pílulas e permitir a liberação controlada em locais específicos no organismo humano (KURIOKASE; SATHIREDDY; PRIYA, 2015).

Nos anos 60, relata-se aplicações na área médica em que um material encapsulado também chamado de células artificiais foram utilizadas para exercer a função de rins em pacientes com falência renal (RÉ, 2000). Em 1970 a ideia de encapsulação foi aplicada para imobilização de bactérias.

O setor alimentício teve seu marco na área, com a microencapsulação de óleo essencial nos anos 60 com a intenção de prevenir a oxidação, perdas de substâncias voláteis e permitir a liberação controlada do aroma (BOTREL *et al.*, 2012). Porém o binômio custo/benefício limitou por muito tempo a produção de microcápsulas em alimentos, até se perceber que a técnica poderia reduzir a degradação de nutrientes sensíveis a oxidação e outras condições adversas (KURIOKASE; SATHIREDDY; PRIYA, 2015), ao passo que novas técnicas foram desenvolvidas a fim de reduzir os custos e maximizar os benefícios. Hoje em dia a tecnologia estende-se a produção de aditivos, ingredientes e produto alimentício final.

Os carboidratos são os materiais mais utilizados para encapsulação, por apresentar grande diversidade e baixo custo, além de serem capazes de se ligar a compostos responsáveis pelo sabor, por outro lado, eles aumentam o valor energético do produto (LABUSCHAGNE, 2018). Já as proteínas, que apresentam alto valor nutritivo e excelentes propriedades funcionais, interagem com vários compostos ativos e oferecem ampla proteção ao passo que aumentam o valor nutricional do produto (SANTANA *et al.*, 2016).

Vaniski, Corti e Drunkler (2017) relatam que a microencapsulação proteica envolvendo as proteínas do soro de leite, se iniciou com Barbut e Foegeding em 1993 por meio de geleificação induzida pelo frio. Picot e Lacroix, em 2004, utilizaram a secagem por pulverização, com a finalidade de fazer com que o produto encapsulado resistisse as condições ácidas do trato gastrointestinal e fosse liberado gradualmente no intestino grosso.

No Brasil, um dos primeiros trabalhos na área foi elaborado por Nori (1996) na Universidade de São Paulo (USP) que encapsulou o ácido cítrico por meio do *spray cooling*, utilizando gorduras de diferentes pontos de fusão e emulsificantes como agentes encapsulantes, com o intuito de substituir culturas iniciadoras em embutidos. Com essa prática obteve produtos cuja cor, textura e aparência não diferiram dos padrões estabelecidos. Trindade (1998) encapsulou ácido ascórbico por meio do *spray dryer* utilizando goma arábica e amido de arroz

como material encapsulante com aplicação em presunto e bolo de carne de peru e os produtos obtidos não apresentaram diferença significativa na estabilidade da cor curada.

No que tange a cultura do açaí, Tonon *et al.*, (2009) destaca-se por ter iniciado estudos da produção desse fruto em pó por atomização, usando diferentes concentrações de maltodextrina e diferentes temperaturas de entrada. Estes autores observaram degradação de antocianinas em temperaturas maiores que 170°C. Também observaram que a concentração do material encapsulante não alterou a composição das antocianinas. Na figura 1 abaixo é possível ter uma visão geral dos principais fatos ocorridos ao longo do tempo.

Figura 1 - Principais marcos históricos do encapsulamento.



2.2. Polpa de açaí

O açaizeiro (*Euterpe oleracea*) é uma palmeira da família Arecaceae amplamente difundida e cultivada na região amazônica, sendo bastante importante para o desenvolvimento agroindustrial da região. O fruto tem se destacado pela importância econômica para a fruticultura regional, principalmente no estado do Pará onde a produção e a comercialização da polpa movimentam grandes quantias no mercado financeiro (NEVES *et al.*, 2015). Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), em seu último senso agropecuário em 2016 a produção anual de açaí passou de 1,2 milhões de toneladas e a comercialização dos frutos injetou cerca de R\$ 3,9 bilhões na economia. No ano seguinte, o Pará produziu 88% na produção nacional e na Bahia o percentual foi de apenas 1,2%, representado por 103.934 toneladas do fruto ao ano, indicando ainda um restrito consumo, porém uma grande possibilidade de estimular novas alternativas para alavancar a produção do estado e das demais regiões no país.

O fruto do açaí contém em sua polpa grande quantidade de flavonoides com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, elevado valor energético e proteico e como consequência, tem sido considerado um alimento funcional por gerar inúmeros benefícios à saúde, além dos flavonoides, há também um elevado valor energético, por ser rico em carboidratos e lipídios diversos, como os ácidos graxos essenciais, Ômega 6 e 9, contém ainda, fibras, vitamina E e minerais como Mn, Fe, Zn Cu e Cr (KANG *et al.*, 2012; PORTINHO; ZIMMERMANN; BRUCK, 2012). Estudos feitos por Portinho, Zimmermann, Bruck, (2012) relatam que as atividades antioxidantes e anti-inflamatória estão associadas a presença de compostos fenólicos que fazem com que seu consumo esteja associado ao combate à anemia, diabetes, colesterol alto, pressão alta e no fortalecimento do sistema imunológico, nervoso,

muscular e cardiovascular. Isto demonstra que, as propriedades específicas do açaí é o resultado de uma complexa mistura de compostos bioativos. Isto confere ao açaí o renomado status de “superfruta” e contribuiu ainda mais para a popularização do fruto em todo o Brasil, aumentando consideravelmente a demanda por exportação, o que explica o extraordinário crescimento na sua produção (PORTINHO; ZIMMERMANN; BRUCK, 2012).

A vida de prateleira do açaí é curta, mesmo sob refrigeração com tempo máximo de conservação de 12 horas (NOGUEIRA *et al.*, 2013). Como consequência, cerca de 30 a 40% dos frutos colhidos durante as safras se deterioram antes de chegar aos consumidores (OLIVEIRA *et al.*, 2014), por isso na região Norte do país, a polpa é produzida para consumo imediato e mantida por curto período em temperatura ambiente ou refrigerada (OLIVEIRA *et al.*, 2014). Porém o congelamento permite maior durabilidade do produto e comercialização nas demais regiões (NOGUEIRA *et al.*, 2013).

Na maioria dos estados brasileiros o açaí é consumido após um pré-processamento dos frutos com adição de água para seu despulpamento e posterior filtração, resultando em uma bebida espessa, roxa, com textura pastosa, aparência oleosa e sabor característico, chamada popularmente de “açaí na tigela” que também origina outros produtos como suco de açaí ou vinho de açaí (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

2.2.1. Caracterização da polpa de açaí

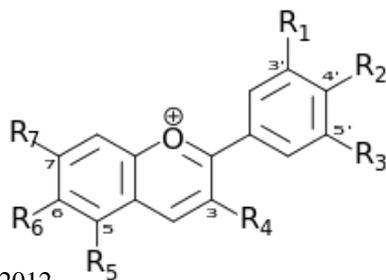
De acordo com regulamento técnico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA IN 37/2018) a polpa de açaí deve apresentar valor de pH entre 4,00 e 6,20; sólidos totais variando de 8 a 14%, com base no teor de matéria seca, deve conter mínimo de 7 g.100g⁻¹ de proteínas, 20 a 60 g.100 g⁻¹ de lipídeos, acidez total expressa em ácido cítrico máximo de 3,2 g.100 g⁻¹, mínimo de polifenóis de 1,80 g.100g⁻¹, mínimo de antocianinas de 0,44 g.100⁻¹, cor deve ser roxa violácea própria do açaí roxo, sabor não adocicado e não azedo e aroma característico (BRASIL, 2018). Essa regulamentação não traz referência quanto ao resíduo mineral fixo, atividade de água (aa), flavonoides e suas capacidades antioxidantes. Contudo, diversos trabalhos têm identificado esses índices, por exemplo, teores de cinzas variando entre de 0,19 a 0,26 g.100 g⁻¹ de matéria seca, 50 mg. 100 g⁻¹ de antocianinas divididos em agliconas e cianidinas (COHEN *et al.*, 2009) e capacidade antioxidante pela captura de radicais livres, em torno de 7698,6 μmol TE.g⁻¹ de matéria seca (KANG *et al.*, 2012).

Segundo Araújo (2006), entre todos os compostos responsáveis por funções específicas como antioxidantes e anti-inflamatórias da polpa de açaí, estão os flavonoides, que são formados por um grupo hidroxil ligado diretamente a um grupo hidrocarboneto aromático, como é o caso, mais simples dos fenóis ou polifenóis, sendo necessário que o processo

tecnológico ao qual a polpa de açaí venha ser submetida, não traga prejuízos na manutenção desses compostos.

Entre os flavonóides existentes na polpa de açaí, destacam-se as antocianinas, cujo termo é de origem grega e refere-se a flores de cor azul, sendo considerada como o segundo corante de maior importância do reino vegetal e é o maior grupo de corantes orgânicos naturais solúveis em água, de baixa toxicidade, que pode apresentar-se tanto na cor azul, como na cor roxa e tonalidades de vermelho, colorindo uma grande variedade de vegetais (MACIEL, 2012). Quimicamente, está inserida no grupo dos flavonoides, sua molécula é constituída por duas ou três partes, uma aglicona (antocianidina), um grupo de açúcares e, frequentemente, um grupo de ácidos orgânicos. Diferencia-se pelo número de hidroxilas, de açúcares e de ácidos ligados a eles e pelo grau de metoxilação da molécula mostrado na Figura 2 (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017).

Figura 2 - Estrutura química fundamental das antocianinas.



Fonte: MACIEL, 2012.

A representação da estrutura fundamental na qual se forma uma espécie de esqueleto em que se derivam seis das agliconas mais comuns na natureza que é a pelargonidina, cianidina, delphinidina, malvidina, peonidina e petunidina, como pode ser visto na Tabela 1. Apresentam-se em cores distintas influenciadas diretamente pelas condições do meio em que se encontram como as faixas de pH, a formação de quelatos com cátions metálicos e a presença de outros pigmentos (MOLINA *et al.*, 2010).

Tabela 1 – Caracterização das diferentes formas químicas da aglicona de antocianina

Aglicona	Substituintes	
	R1	R2
Pelargonidina	H	H
Cianidina	OH	H
Delfinidina	OH	OH
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃
Peonidina	OCH ₃	H
Petunidina	OCH ₃	OH

Fonte: MOLINA *et al.*, (2010).

A estrutura responsável pela formação do pigmento é gerada com o flavilium pela perda da hidroxila e a cor da antocianina é afetada por sua estrutura, e se apresentam como umas das principais classes de flavonoides encontradas nos vegetais e principalmente no açaí, as quais

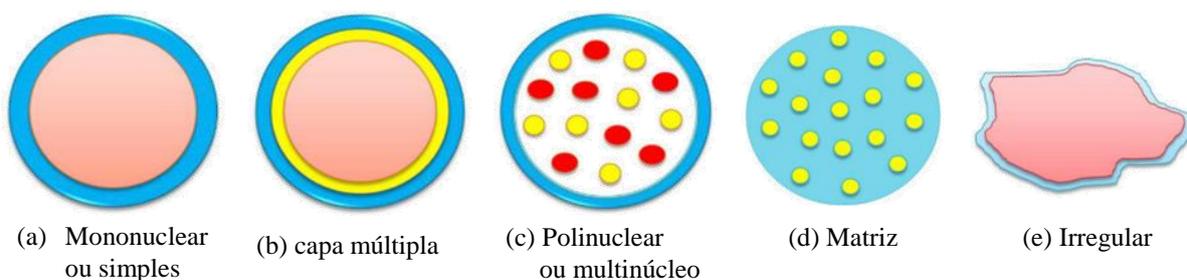
também tem grande participação no efeito antioxidante no fruto (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017).

2.3. Encapsulamento

Em alimentos a água está presente dissolvendo solutos ou sendo a fase líquida de um sistema alimentício em dispersão (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010). Os solutos ou as partículas dispersas podem ser açúcares, sais, lipídeos, proteínas ou outras partículas sólidas que ficam dispersas ou interagem entre si, física ou quimicamente (ARAÚJO, 2006). Quando estão em interações, essas partículas podem interferir nas propriedades do produto encapsulado que se deseja obter por meio da secagem em *spray dryer* (CUTRIM, ALVIM e CORTEZ, 2019).

O encapsulamento é um processo de empacotamento, em que certas substâncias de interesse tecnológico, são introduzidas em um sistema de cápsula, a fim de proteger, manter a estabilidade, evitar perdas, oxidação, controlar a liberação do material de interesse e obter produtos com maior solubilidade e melhores características sensoriais e nutricionais, podendo assim ser disponibilizados como ingredientes em outras preparações alimentícias, formando uma barreira física entre o composto encapsulado e o material de parede, que também é alimentício (FAVARO-TRINDADE e PINHO, 2008). Diversos métodos podem ser aplicados para este fim, como *spray drier*, *spray chilling*, *freeze drier*, coacervação, gelificação iônica e outras (CUTRIM, ALVIM e CORTEZ, 2019). O composto que fica preso no interior da microcápsula é chamado núcleo ou fase interna, enquanto que o contorno é chamado cobertura, material de parede, membrana ou encapsulante podendo apresentar diversas variações como mostra a figura 3. A formação de microcápsulas depende da solubilidade, polaridade e volatilidade do núcleo e do material de parede. (LABUSCHAGNE, 2018). Portanto, o processo de encapsulamento requer atenção quanto às características do material líquido na forma de dispersão a ser encapsulado e do equipamento de secagem (TONON, BRABET e HUBINGER, 2009).

Figura 3 – Variações apresentadas pelas cápsulas: (a) Mononuclear ou simples, (b) Capa múltipla, (c) Polinuclear ou multinúcleo, (d) Matriz, (e) Irregular.



Fonte: SAIFULLAH, *et al.*, (2019)

O estado físico das partículas dispersas em meio líquido define os sistemas de dispersões que entram no equipamento de secagem, em que as espumas são formadas por partículas de ar; as emulsões de líquidos imiscíveis; e suspensões quando as partículas são sólidas (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010), logo é possível que ocorra a pulverização de uma dispersão de natureza desconhecida, se não houver um estudo prévio de suas propriedades.

Independente do estado físico, o tamanho que as partículas apresentam classificam o encapsulamento em macro ($>500\ \mu\text{m}$), micro ($1,0\text{--}500\ \mu\text{m}$) e nano ($<1,0\ \mu\text{m}$), sejam elas de quaisquer formatos (JAFARI, 2008; SAIFULLAH, *et al.*, 2019). O tamanho das cápsulas merece ser estudado cuidadosamente pois, influencia diretamente na liberação controlada do material do núcleo, dessa forma, quando as partículas são menores a liberação se dá em velocidade constante e quando as partículas são maiores a liberação ocorre muito rapidamente (YANG *et al.*, 2020). Outras características que o tamanho das cápsulas afetam é a viscosidade da emulsão e o próprio tamanho das partículas secas, ou seja, quanto maiores são as partículas mais viscosa é a emulsão, fazendo com que as gotas formadas durante a atomização sejam também mais volumosas, gerando conseqüentemente grandes partículas de pó (TONON, GROSSO e HUBINGER, 2011). Porém o principal causador dessa reação em cadeia é o tipo de material encapsulante, pois além de interferir na viscosidade, no tamanho e distribuição das partículas, ele reflete em propriedades importantes do produto final como o teor de água, solubilidade, higroscopicidade, entre outras (TONON, GROSSO e HUBINGER, 2011; CHUYEN *et al.*, 2019).

2.3.1. Material encapsulante

No encapsulamento de compostos, a seleção do material de parede é crítica, pois ela tem influência nas propriedades da emulsão antes da secagem, na retenção dos voláteis durante o processo e na vida de prateleira do pó encapsulado depois da secagem e depende da natureza do material do núcleo, do processo de encapsulamento e do uso final do produto (JAFARI *et al.*, 2008; SAIFULLAH, *et al.*, 2019). Os critérios para a seleção do material de parede estão principalmente baseados em suas propriedades físico-químicas tais como solubilidade, massa molecular, temperatura de transição vítrea, cristalinidade, propriedades de formação de filme, capacidade emulsificante, custos e comportamento na secagem, sendo que este deve ser insolúvel, não reativo com o núcleo, mostrar propriedades constantes durante o armazenamento (LABUSCHAGNE, 2018) Os materiais mais utilizados incluem gomas (alginatos de sódio, carragena, goma arábica), carboidratos (açúcares, amido, dextrinas, xarope de milho, carragena), celuloses (acetilcelulose, carboximetilcelulose, etilcelulose, metilcelulose, nitrocelulose), lipídeos (ácido esteárico, ceras, diglicerídeos, gorduras hidrogenadas, monoglicerídeos, óleos, parafina e triestearina) e proteínas (albumina, caseína, gelatina, glúten

e isolado proteico de soro de leite e de soja) (LABUSCHAGNE, 2018). Devido à dificuldade em encontrar-se um polímero ideal, a utilização de combinações de diferentes tipos de agentes formadores de cobertura deve ser estudada (FAVARO-TRINDADE; PINHO, 2008).

Trabalhos realizados por Böger, Georgetti, e Kurozawa (2018) combinaram dois materiais de parede e detectaram que a adição de maltodextrina à goma arábica não influenciou o diâmetro médio de partículas, densidade a granel em pó, eficiência do encapsulamento de óleo de semente de uva. De acordo com Saifullah, *et al.*, (2019) a combinação de polissacarídeos com proteína pode melhorar a eficiência de encapsulamento e a funcionalidade da cápsula. Como foi mostrado por Araújo *et al.*, (2020) que utilizaram maltodextrina e gelatina para encapsular óleo essencial de laranja, resultando pós de altos rendimentos e alta eficiência e a preservação das funcionalidades destas capsulas que foram as propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Também Custódio *et al.*, (2020) encapsulou polpa de açaí com uma mistura proteica vegetal, isolada da ervilha e concentrada do arroz, e obteve um pó de alto rendimento, teor de água aceitável de 10% e com partículas grandes, mas com alta solubilidade, sendo caracterizado como um pó instantâneo benéfico a saúde podendo ser aplicado em produtos funcionais.

2.3.2. Proteína isolada do soro de leite

O soro é o subproduto líquido resultante da precipitação de proteínas no leite. Sua composição é de aproximadamente 94% de água e 6% de sólidos totais, formado por 4,5% de lactose, 0,8% de proteína e 0,7% de minerais que pode ser seco para obter subprodutos. Dessa forma, o teor de lactose pode ser reduzido, o resíduo mineral desmineralizado e o teor proteico pode ser concentrado ou isolado (SCHRODER *et al.*, 2017). A proteína concentrada é obtida pela remoção da lactose e dos minerais, obtendo-se em torno de 25% a 80% de proteínas. O isolamento proteico se dá por meio da purificação do concentrado com teor maior que 90% em base seca. A proteína hidrolisada é outro produto que pode ser obtido do soro, sendo formulada para atender funcionalidades tecnológicas, com aplicações em diversas áreas (KILARA e VAGHELA, 2018). Logo, esse isolado proteico é o que apresenta maior grau de pureza e pode apresentar maior ação da proteína no encapsulamento proteico da polpa de açaí.

As proteínas do soro do leite são solúveis em ampla faixa de pH, apresentam um perfil de aminoácidos essenciais favoráveis a absorção intestinal (KILARA e VAGHELA, 2018). E sua estrutura globular favorece uma série de propriedades importantes ao organismo humano, a qual é mantida por pontes de dissulfeto. Os peptídeos mais abundantes em ordem decrescente de quantidade no soro é a beta-lactoglobulina (BLG) apresentado de 47 a 57%, alfa-lactoalbumina (ALA) que está contida entre 14 a 25%, albumina do soro bovino (BSA) representando cerca de 10%, e em menor quantidade as imunoglobulinas (Ig's) e

glicomacropéptídeos (GMP) (HARAGUCHI; ABREU e PAULA, 2006; AUGUSTO; REZENDE, 2010).

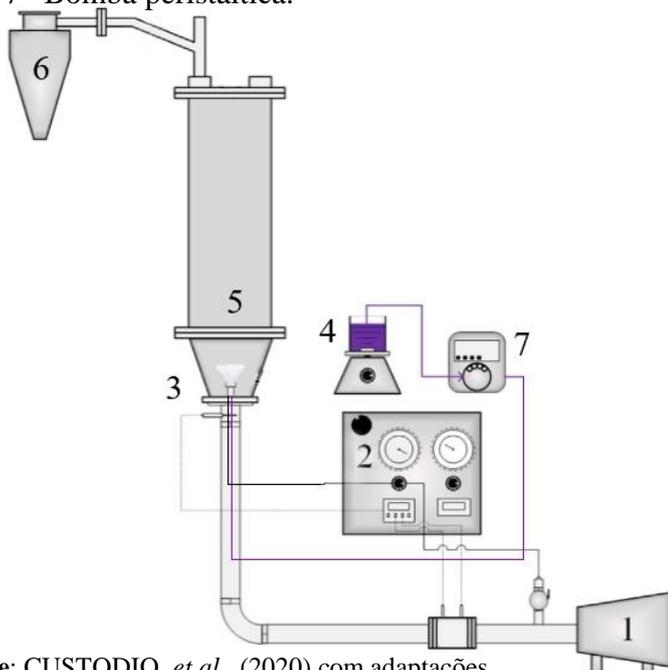
Em conjunto, essas proteínas usadas como agente encapsulante são eficientes por terem a capacidade de interação molecular na interface óleo/água, estabilizando as gotas formadas na homogeneização e reduzindo as taxas de coalescência e garantindo a manutenção da estrutura durante a secagem (SCHRODER *et al.*, 2017; YANG, *et al.*, 2020).

Alguns trabalhos usando proteínas do soro de leite apresentaram bons resultados de encapsulação como feito por González *et al.*, (2012) que encapsularam óleo de chia com proteínas do soro de leite concentrado e verificaram microcápsulas morfologicamente sólidas e com boa eficiência de encapsulação, Matta (2013) observou uma maior eficiência do encapsulamento de óleo de pequi com proteínas do soro de leite combinado a maltodextrina e microcápsulas de formato esférico e superfície livre de poros, Santana *et al.*, (2016) encapsularam polpa de Jussara com diferentes misturas encapsulantes e perceberam que a presença do isolado proteico de soro de leite melhorou a eficiência da encapsulação e recentemente Braber *et al.*, (2020) combinaram proteínas do soro de leite com derivado quitossano na encapsulação de probióticos e obteve uma eficiência de 91% e viabilidade do uso sob condições gastrointestinais de 90%. Muitos outros tem sido apresentado mostrando o quão promissor é o uso de proteínas do soro de leite na microencapsulação de compostos.

2.4. Secagem por atomização

A secagem por atomização ou em *spray dryer* é a técnica mais usual na microencapsulação de alimentos por ser de fácil manipulação e baixo custo em relação a outros processos e por conferir boa qualidade ao produto final (TONON, BRABET e HUBINGER, 2009). O *spray dryer* é constituído de uma câmara, na qual um fluido é aspergido por um bico atomizador, enquanto uma corrente de ar quente passa pelas gotas atomizadas, evaporando a água e gerando as pequenas partículas sólidas encapsuladas (ROCHA *et al.*, 2019). O equipamento possui dispositivos que permitem a excussão do processo, onde o compressor tem a função de enviar o ar comprimido para a câmara em diferentes velocidades; o painel de controle possibilita controlar as temperaturas de entrada e saída do ar de secagem e seu fluxo, o fluxo de alimentação, fluxo do ar comprimido e pressão do ar; o bico atomizador permite a aspersão do fluido de alimentação e pode variar de diâmetro; o fluido de alimentação contém a solução que será aspergida na câmara; a câmara de secagem permite a circulação de ar e das gotas atomizadas, o ciclone resfria levemente as partículas secas, as expelam para fora e elas são recolhidas em um recipiente adequado; e a bomba peristáltica conduz o fluido de maneira controlada até o bico atomizador (LABUSCHAGNE, 2018; ROCHA *et al.*, 2019; SAIFULLAH, *et al.*, 2019).

Figura 4 - Esquema do *spray dryer*. 1-Compressor; 2-Painel de controle; 3 –Bico atomizador; 4 –Fluido de alimentação (solução de secagem); 5- Câmara de secagem; 6 –Ciclone (saída de pó); 7 –Bomba peristáltica.



Fonte: CUSTODIO, *et al.*, (2020) com adaptações.

De acordo com Botrel *et al.*, (2012) é a remoção de água que garante a formação das microcápsulas. Portanto, deve haver um controle da taxa de remoção, pois ela interfere nas propriedades tecnológicas do pó, que são umidade, aa, higroscopicidade, densidade, morfologia e cor, entre outras (RAJABI *et al.*, 2015). A aplicação de secagem por *spray* na microencapsulação envolve três etapas básicas: a preparação, a homogeneização e a atomização do fluido dentro da câmara de secagem (CUSTODIO *et al.*, 2020).

No momento da secagem ocorre o contato das gotas com o ar quente, e trocas de energia e massa são estabelecidos entre a fase líquida e gasosa, fazendo com que a transferência de calor seja realizada na direção ar-produto como resultado da diferença entre temperaturas (ROCHA *et al.*, 2019). A transferência de água é realizada em direção oposta, devido à diferença entre pressões de vapor. A taxa de secagem diminui, de modo rápido, tornando-se dependente da taxa de difusão de água através da parede e termina, na prática, quando a temperatura da partícula atinge o valor da temperatura do ar e conseqüentemente quando a umidade de equilíbrio da partícula é igual a umidade de equilíbrio do ar. (LABUSCHAGNE, 2018).

A temperatura de entrada é uma variável relevante durante a secagem por atomização, pois ela é capaz de determinar a qualidade final das microcápsulas conforme relatado por Tonon, Grosso e Hubinger, (2011) e por Tonon, Brabet e Hubinger (2009), em experimentos nos quais dispersões com diferentes concentrações foram submetidas à secagem por atomização e se constatou que o aumento da temperatura é um parâmetro fundamental no encapsulamento

de açaí, pois este aumento está intimamente ligado ao escurecimento do pó e aumento do diâmetro médio das partículas ao passo que reduz o teor da água, a higroscopicidade e o teor de pigmentos sensíveis ao calor, como as antocianinas, além de melhorar a aparência do pó.

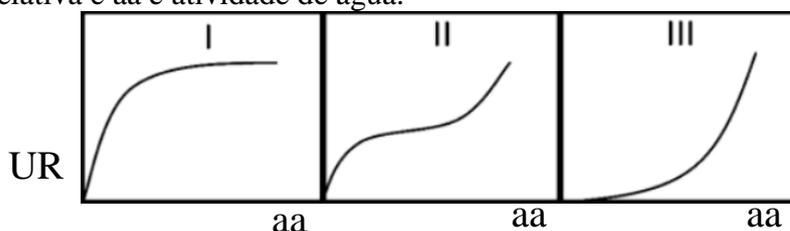
Botrel *et al.*, (2012) observaram que o fluxo de alimentação também influencia nas propriedades do pó, uma vez que, taxas em torno de 0,5 e 0,6 L.h⁻¹ produziram pó com menor teor de umidade e aa. Além da temperatura de entrada e fluxo de alimentação, outras variáveis como o fluxo do ar comprimido e do ar de secagem podem também afetar o teor de água, aa e demais características do pó atomizado.

2.5. Caracterização de alimentos em pó

Os alimentos em pó podem ser classificados quanto as suas propriedades físicas e químicas que dizem respeito a sua qualidade tecnológica (BARBOSA *et al.*, 2005). Estes alimentos devem ser avaliados quanto ao teor de água, aa, higroscopicidade, solubilidade, densidade, cor e outras propriedades relacionadas com a composição como substâncias bioativas, proteínas, resíduo mineral fixo, etc. (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017).

Pretende-se com a microencapsulação obter pós com baixo teor de água e aa, pois são importantes indicadores de eficiência do processo e da estabilidade ao armazenamento. Os alimentos apresentam três tipos de isotermas, a primeira (I) apresenta aa abaixo de 0,25 e a água comporta-se como um sólido por estar fortemente envolvida em interações íons e dipolos. O tipo II aa está entre 0,25 e 0,85 e ocorre intercâmbio entre moléculas vizinhas, onde a água exerce um efeito plastificante sobre os solutos e o tipo III a aa está acima de 0,85 e ocorre à manifestação de uma monocamada verdadeira de hidratação bem como maiores taxas de reações e maior mobilidade molecular (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010).

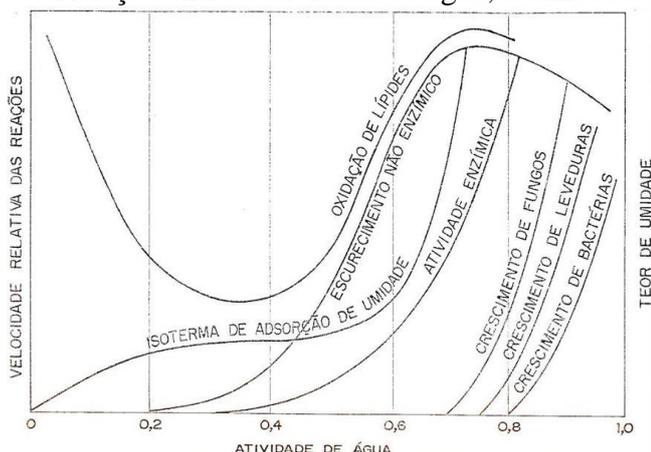
Figura 5 - Três tipos de isotermas tipicamente encontrada nos alimentos. Onde UR é a umidade relativa e aa é atividade de água.



Fonte: CÁNOVAS *et al.*, (2007)

Existe uma ligeira relação da atividade de água com a umidade, por isso o recomendado é que o teor de água, das microcápsulas, esteja entre 3 a 10% (BRABER *et al.*, 2020) e aa entre 0.13 a 0.50 (REZAUL, SHISHIR e CHEN, 2017). Nessas faixas a água está fortemente ligada à matriz do alimento, e não oferece condições para o crescimento de microrganismos e para a oxidação lipídica (FENNEMA, DAMODARAN e PARK, 2010), como pode ser melhor observado na tabela 2.

Figura 6 - Relação entre a atividade de água, a umidade e a velocidade de reação do alimento.



Fonte: LABUZA, (1968).

A densidade do material em pó pode ser medida na forma de densidade aparente que é referente aos espaços entre as partículas (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017). Quanto mais denso o material, mais empacotado ele torna-se ocupando menor volume e apresentando menor porosidade entre as partículas (CARNEIRO *et al.*, 2013). A densidade aparente é uma propriedade importante para a conservação por que proporciona menor penetração de luz e ar atmosférico otimizando o armazenamento e transporte devido a menor demanda de espaço para acomodação (LABUSCHAGNE, 2018).

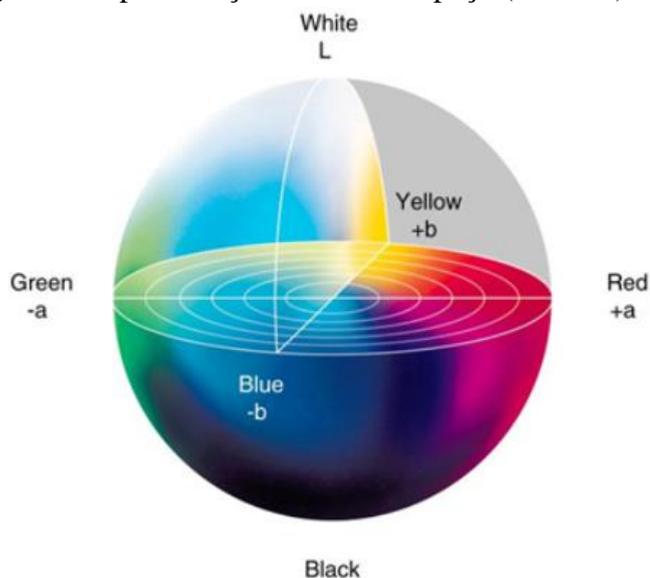
A análise de solubilidade em água fornece dados importantes de um composto, uma vez que quando solúvel dissolve-se livremente e permanece em solução, quando insolúvel ou pouco solúvel dissolve-se lentamente e em solução, tem uma forte tendência de separar as fases. Do ponto de vista termodinâmico, a solubilidade é a concentração de um soluto em um estado de agregação (sólido, líquido ou gasoso) que se converta ao mesmo estado de agregação do solvente (ARAÚJO, 2006). A alta solubilidade do encapsulante é fundamental para prever o uso do pó como ingrediente ou como produtos alimentícios acabados (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017).

Higroscopicidade é a capacidade que o material tem de absorver umidade do ambiente e estabelecer um equilíbrio com ele (CAI e CORKE, 2000). A taxa de absorção de água é um importante atributo do pó e diz respeito a reconstituição, susceptibilidade a aderência e ao endurecimento desse pó, quando o armazenamento e distribuição ocorrem em ambientes de maior umidade (YAMASHITA *et al.*, 2017). Estudos indicam que a higroscopicidade do material de parede afeta a higroscopicidade dos pós e por consequência altera o tempo de armazenamento de materiais micro encapsulados (YAMASHITA *et al.*, 2017).

A avaliação instrumental da cor deve estar relacionada à percepção visual humana do produto para que a medida faça sentido. sistema CIE reparte a cor em três coordenadas coordenadas L, a e b do (DAWSON e ACTON, 2018). Sendo L uma coordenada vertical

equivalente a luminosidade e varia de 100, muito claro, a 0 muito escuro, a e b equivalem a variações de cor do +a vermelho ao +b amarelo, -a verde e -b azul como mostra a figura 2 (DAWSON e ACTON, 2018). Essas coordenadas dão origem ao vetor Cromo C e ao ângulo H que representa a saturação ou intensidade da cor que aumenta a partir do 0 no centro e a tonalidade da cor respectivamente (DAWSON e ACTON, 2018; BERTALMÍO, 2020).

Figura 7 Representação da cor no espaço (CIELab).



Fonte: (Bertalmío, 2020).

A luminosidade (L) é um parâmetro relevante no processamento por *spray dryer*, pois indica a ação de agentes importantes do processo no escurecimento do pó ou do material de parede, (TONON, BRABET e HUBINGER 2009). A mudança na cromaticidade da amostra, após a secagem, pode indicar degradação de pigmentos. Ainda que os alimentos em pó sejam comprovadamente saudáveis, se o aspecto visual não for atraente, pode perder a aceitação dos consumidores (JAFARI, GHALENOEI e DEHNAD, 2017).

2.6. Otimização Estatística

A otimização estatística advém de uma necessidade de minimizar custos e tempo de implementação dos experimentos ao passo que maximiza rendimentos, produtividade e qualidade (MONTGOMERY, 2003). Consiste, inicialmente, de um planejamento experimental, de modo que, todo o espaço amostral seja explorado com um menor número possível de ensaios e, a partir de então, ajustar um modelo de regressão o qual pode ser ajustado por meio da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), sendo esta, uma ferramenta matemática e estatística, em que os resultados experimentais, são frutos da variação simultânea de combinações entre os níveis dos fatores que influenciam nas propriedades do processo e indicam uma região ótima (RODRIGUES e IEMMA, 2005).

Na área de encapsulamento de alimentos, a MSR tem sido amplamente aplicada, como exemplo, Botrel *et al.*, (2012), encontraram combinações entre temperatura e vazão de alimentação do ar de secagem para o encapsulamento de óleo de orégano, Ko *et al.*, (2015) identificaram a formulação otimizada para melhorar a eficiência no encapsulamento de cúrcuma, Getachew e Chun (2016) determinaram os parâmetros mais importantes que afetam a eficiência de encapsulamento do sabor de óleo de café.

A metodologia de superfície de resposta gera o maior conhecimento sobre a natureza do fenômeno a partir de dados estatísticos otimizados gerando modelos com menor resíduo como consequência de um número reduzido de ensaios (RODRIGUES e IEMMA, 2005).

As equações pretendidas com o encapsulamento da polpa de açaí devem seguir modelos de até segunda ordem ajustadas segundo a metodologia de superfície de resposta para tratamentos com três variáveis independentes utilizando um DCCR. Segundo Silveira, Lopes e Rosa, (2017), um determinado ponto da superfície de resposta pode se apresentar longe do ponto ótimo, assim, a superfície apresentará uma curva tênue, porém há relatos de que o polinômio de segunda ordem possa representar significativamente os fenômenos observados.

3. Considerações finais

Ao considerar todas as variáveis que interferem diretamente na encapsulação do açaí, concluiu-se que a otimização do processo é um trabalho árduo e que requer muita cautela, pois pode ser muito grande o número de variáveis independentes, por isso, se propõe que a otimização seja dividida em duas partes, a primeira como a otimização da solução antes da secagem onde as variáveis independentes podem ser o tipo, a concentração e a combinação de materiais de parede, teor de sólidos e outras e a segunda com a otimização da secagem cujas variáveis independentes podem ser fluxo de alimentação, fluxo do ar de secagem, fluxo do ar comprimido, pressão do ar, temperatura de entrada e saída e outras. As variáveis respostas da primeira otimização podem ser a viscosidade, teor de sólidos, tamanho de distribuição de partículas, cor, teor dos compostos fenólicos, antocianinas e flavonóides e outras e da segunda podem ser teor e atividade de água, higroscopicidade, solubilidade, densidade, cor, eficiência do encapsulamento, rendimento, teor dos compostos fenólicos, antocianinas e flavonóides e outras. Dessa forma se obtém respostas bem refinadas e abrangentes dos processos numa condição que beira a perfeição, porém o que se vê na prática é apenas a otimização durante a secagem variando de 3 a 4 variáveis e fixando todas as demais, o que tem sido válido para ter uma compreensão dos fenômenos que envolvem a encapsulação e que são capazes de propor uma perspectiva do processo para elaborar pós com qualidade tecnológica dentro dos limites aceitáveis das variáveis repostas supracitadas.

4. Referências

ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos: Teoria e prática**. 3ª ed. Organizado por UFV. Viçosa-MG. 2006.

ARAÚJO, J. S. F., DE SOUZA, E. L., OLIVEIRA, J. R., GOMES, A. C. A., KOTZEBUE, L. R. V., DA SILVA AGOSTINI, D. L., CAVALCANTI, M. T. Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophilization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. **International Journal of Biological Macromolecules**, 143, 991–999, 2020.

AUGUSTO, F. E REZENDE, M. **Soro de leite e suas proteínas: composição e atividade Funcional**, Ciências Biológicas e Saúde, v. 12, n. 2, p. 31–38. 2010.

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

BOTREL, D. A., BORGES, S. V. E., FERNANDES., R. V. B., VIANA, A. D. Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil, **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, p. 2289–2296. 2012.

BRABER, V, N. L; DÍAZ VERGARA, L. I; ROSSI, Y. E; AMINAHUEL, C. A., MAURI, A. N., CAVAGLIERI, L. R., e MONTENEGRO, M. A. Effect of microencapsulation in whey protein and water-soluble chitosan derivative on the viability of the probiotic *Kluyveromyces marxianus* VM004 during storage and in simulated gastrointestinal conditions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 118, p. 108-844, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução nº 37 de 08 de outubro de 2018. Regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpas de frutas. Diário Oficial da União, Brasília, v. 194, seção 1, p. 28-48, 2018.

CAI, Y., e CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, 1248 e 1252. 2000.

CÁNOVAS G. V; FONTANA, A.J. JR; SCHMIDT, S. J; LABUZA, T.P. **Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications**. 1ª ed. Iowa, USA: IFT Press. Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists. 2007.

CARNEIRO, H. C. F; TONON, R. V; GROSSO, C. R. F; HUBINGER, M. D. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 4, p. 443–451. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033>

CHAUL, L. T.; CONCEIC, E. C.; BARA, M. T. F.; PAULA, J. R.; COUTO, R. O. Engineering spray-dried rosemary extracts with improved physicochemical properties: a design of experiments issue. **Revista Brasileira de farmacognosia**, v. 27, p. 236–244, 2017.

CHUYEN, H. V., ROACH, P. D., GOLDING, J. B., PARKS, S. E., e NGUYEN, M. H. Encapsulation of carotenoid-rich oil from Gac peel: Optimisation of the encapsulating process using a spray drier and the storage stability of encapsulated powder. **Powder Technology**, v. 344, 373–379, 2019.

COHEN, K. DE O.; OLIVEIRA, R. DE A. M.; CHISTÉ, R. C.; OLIVEIRA, M. DO S. P. DE. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2009.

CUSTODIO, G. R.; FRANQUELIN, L.; SOUZA, G. DE; NITZ, M.; ANDREOLA, K. A protein powder agglomeration process using açai pulp as the binder: An analysis of the process parameters. **Advanced Powder Technology**. p. 1–11, 2020.

CUTRIM, C.S., ALVIM, I.D. e CORTEZ, M.A.S. Microencapsulação de polifenóis de chá verde por métodos de gelação iônica e resfriamento de spray. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 3561-3570, 2019.

DAWSON, P. L. E ACTON, J. C. Impact of proteins on food color. Second Edi, Proteins. **Food Processing**. Ed. 2ª. 2018.

FAVARO-TRINDADE, C.S.; PINHO, S.C.; ROCHA, G.A. Microencapsulação de ingredientes alimentícios. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.11, p.103-112, 2008.

FENNEMA, O. R., DAMODARAN, S. E PARK, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4ª ed. Organizado por artmed. Porto Alegre - RS. 2010.

GETACHEW, A.T., CHUN, B. S. Optimization of coffee oil flavor encapsulation using response surface methodology. **LWT - Food Science and Technology**. 2016.

GONZÁLEZ, R; OLIVARES, C. J; GUERRERO, R; A., HUEZO, R; ME, CARTER, V; ALONSO, E. E. P. C. Spray drier encapsulation of essential oil of chia (*Salvia hispânica L.*) in whey protein concentrate polysaccharide matrices. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n. 1, p. 102–109. 2012.

GUEDES-OLIVEIRA, J. M.; ALVES, V. H. M.; ANDRÉ, L. Effect of microencapsulated extract of pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel on color, texture and oxidative stability of refrigerated ground pork patties submitted to high pressure processing. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2018.

HARAGUCHI, F. K. ABREU, W. C. PAULA, H. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 19, n. 4, p. 479-488, 2006.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. SIDRA, Agencia de notícias IBGE, 2016.

JAFARI, S. M., GHALENOEI, M. G. DEHNAD, D. Influence of spray drying on the water solubility index, bulk density and anthocyanins content of powdered pomegranate juice. **Dryer Technology**, v. 311, p. 59–65. 2017.

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

KANG, J., THAKALI, K. M., XIE, C., KONDO, M., TONG, Y. OU, B., JENSEN, G., MEDINA, M. B., SCHAUSS, A.G. WU, X. Bioactivities of açai, superior antioxidant and anti-inflammatory properties to *Euterpe oleracea*. **Food Chemistry**, v. 133, n. 3, p. 671–677. 2012.

KILARA, A. E VAGHELA, MN. **Proteínas de soro**. Proteínas no Processamento de Alimentos, 93–126. 2018.

KO, W. C; CHANG, C. K; WANG, H. J; WANG, S. J; HSIEH, C. W. Process optimization of microencapsulation of curcumin in c-polyglutamic acid using response surface methodology. **Food Chemistry**. 2015.

KURIOKASE, A.B.; SATHIREDDY, P.; PRIYA, S.P. A Review on Microcapsules. **Global Journal of Pharmacology**, v. 9, p. 28-39, 2015.

LABUSCHAGNE, P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. **Food Research International**, v. 107, n. 2017. p. 227–247, 2018.

LABUZA, T.P. Sorption phenomena in foods. **Food Technology**. v. 22, n.3, p. 15-24, 1968.

MACIEL V. B. V.; FRANCO T. T. C. M. P. **Sistemas Inteligentes de Embalagens Utilizando Filmes de Quitosana como Indicador Colorimétrico de Temperatura**. Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP. Campinas – SP, 2012.

MATTA, L. M. **Retenção do óleo de pequi em micropartículas de concentrado proteico de soro de leite e maltodextrina**. Dissertação para a obtenção do título de mestre em ciência e tecnologia de Alimentos. Universidade federal de goiás. 2013.

MOLINA, B.; SIMÕES, F; LEAL, LEANDRO; VINICIUS, M. **Obtenção de indicadores de pH coloridos**. UNESP – Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente. 2010.

MONTGOMERY, D.C; RUNGER, G.C.; HUBELE, N. F. **Estatística aplicada à engenharia**. 2ª Ed. Rio de janeiro, 2003.

NEVES, L. T. B. C., CAMPOS, D. C. S., MENDES, J. K., **Qualidade de frutos processados artesanalmente de açaí (*euterpe oleracea mart.*) e bacaba (*oenocarpus bacaba mart.*)** Revista Brasileira de Fruticultura, v. 37, n. 3, p. 729–738. 2015.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C.; GARCIA, W. S. **A dinâmica do mercado de açaí fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009**. v. 60, n. 03, p. 324-331, 2013.

NORI, M. A. **Produção de microcápsulas de ácido cítrico para utilização em produtos cárneos**. Dissertação para a obtenção do título de mestre em ciências farmacêuticas, Universidade de São Paulo – USP. 79 p. São Paulo, 1996.

OLIVEIRA, M. S. P.; FARIAS NETO, J. T.; QUEIROZ, J. A. L. Cultivo e manejo do açaizeiro para produção de frutos. ENCONTRO AMAZÔNICO DE AGRÁRIAS, **Anais**. 20p. UFRA, 2014.

PICOT, A.; LACROIX, C. Encapsulation of Bifidobacteriain whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. **International Dairy Journal**, v. 14, n. 6, p. 505-515, 2004.

PORTINHO, J.A; ZIMMERMANN, L. M; BRUCK, M. R. Efeitos Benéficos do Açaí. **International Journal of Nutrology**, v.5, n.1, p. 15-20, 2012.

RAJABI, H; GHORBANI, M; JAFARI, S. M; MAHOONAK, A. S; RAJABZADEH, G. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. **Food Hydrocolloids**. Iran. 2015.

RÉ, M.I. Microencapsulação: em busca de produtos “inteligentes”. **Ciência Hoje**, v.27, n.162, p.24-29, 2000.

REZAUL, M., SHISHIR, I. E CHEN, W. Trends in Food Science e Technology Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices, **Trends in Food Science e Technology**. v.65, p. 49–67. 2017.

ROCHA, J. DE C. G.; BARROS, F. A. R. DE; C, Í. T. P.; et al. Microencapsulação por atomização da mistura de extratos fenólicos. **Powder Technology**, v. 343, p. 317–325, 2019.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. Campinas, SP: Casa do pão editora, 2005.

SAIFULLAH, M., SHISHIR, M. R. I., FERDOWSI, R., TANVER RAHMAN, M. R., e VAN VUONG, Q. Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: a critical review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 86, p. 230–251, 2019.

SANTANA, A. A; CANO-HIGUITA, D. M; OLIVEIRA, R. A; TELIS, V. R. N., Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying”, **Food Chemistry**, v.212, p. 1–9. 2016.

SCHRODER, A; BERTON-CARABIN, C; VENEMA; P. CORNACCHIA, L. Interfacial properties of whey protein and whey protein hydrolysates. **Food Hydrocolloids** v.73, p.129-140, 2017.

SHAMAEI, S., SEIIEDLOU, S. S., AGHBASHLO, M., TSOTSAS, E., e KHARAGHANI, A. Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 39, 2017.

TONON, R. V; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influência da temperatura do ar de secagem e da concentração de agente carreador sobre as propriedades físico-químicas do suco de açaí em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.29, n.2, p. 444-450, 2009.

TONON, R. V; GROSSO, C.R.F; HUBINGER, M. D. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. **Faculty of Food Engineering**, University of Campinas, P.O. Box 6121, 13083-862, Campinas, SP, Brazil. 2011.

TRINDADE, M. A. **Microencapsulação de ácido ascórbico e avaliação de sua funcionalidade na estabilidade da cor em produtos cárneos curados**. Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos, UNICAMP. 65 p. Campinas, 1998.

VANISKI, R. CORTI, D. DRUNKLER, D. A. Técnicas e materiais empregados na microencapsulação de probióticos. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 8, n. 1, p. 156-184, 2017.

YAMASHITA, C., MI, M., CHUNG, S., ROBERTA, C., MAYER, M. CRISTINA, I. MORAES, F. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus spp.*) by-product extract by freeze-drying, **LWT - Food Science and Technology**. v. 84, p. 256–262. 2017.

YANG, J., THIELEN, I., BERTON-CARABIN, C. C., VAN DER LINDEN, E., e SAGIS, L. M. C. Nonlinear interfacial rheology and atomic force microscopy of air-water interfaces stabilized by whey protein beads and their constituents. **Food Hydrocolloids**, v. 101, p. 105-466, 2020.