



ELOÁ LOURENÇO DO CARMO

**SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE
SUCO DE BETERRABA (*Beta vulgaris* L.)
UTILIZANDO DIFERENTES CONDIÇÕES
OPERACIONAIS**

LAVRAS – MG

2017

ELOÁ LOURENÇO DO CARMO

**SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE
SUCO DE BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) UTILIZANDO DIFERENTES
CONDIÇÕES OPERACIONAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do Título de Mestre.

Profa. Dra. Soraia Vilela Borges
Orientadora

Prof. Dr. Diego Alvarenga Botrel
Coorientador

**LAVRAS – MG
2017**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Carmo, Eloá Lourenço do.

Secagem por atomização de suco de beterraba (*Beta vulgaris* L.)
utilizando diferentes condições operacionais / Eloá Lourenço do
Carmo. - 2017.

130 p. : il.

Orientadora: Soraia Vilela Borges.

Coorientador: Diego Alvarenga Botrel.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Betalaínas. 2. Maltodextrina. 3. Inulina. 4. Isolado proteico de
soro. I. Borges, Soraia Vilela. II. Botrel, Diego Alvarenga. III. Título.

ELOÁ LOURENÇO DO CARMO

SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE SUCO DE BETERRABA (*Beta vulgaris* L.) UTILIZANDO DIFERENTES CONDIÇÕES OPERACIONAIS

SPRAY-DRYING PROCESS OF BEET (*Beta vulgaris* L.) JUICE UNDER DIFFERENT OPERATIONAL CONDITIONS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do Título de Mestre.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Diego Alvarenga Botrel UFLA

Profa. Dra. Patrícia Aparecida Pimenta Pereira UFOP

Profa. Dra. Soraia Vilela Borges
Orientadora

LAVRAS – MG

2017

AGRADECIMENTOS

Meu sincero e profundo agradecimento a Deus Pai, minha força, meu refúgio, minha alegria e por incontáveis vezes pude sentir Sua presença, ao longo desta etapa, a cada dia, a cada minuto, de diferentes formas. Sem Ti, nada eu teria feito!

À minha preciosa família: pai (Totonho), mãe (Ângela) e irmão (Mateus), meus exemplos e inspiração, os quais sem medir esforços, ajudaram-me, apoiaram, incentivaram-me para sempre ser forte e seguir em frente.

À minha cunhada Andreza, pela amizade e carinho. Meu bem-amado, Diego Menez, pela compreensão, paciência, cumplicidade, amizade, auxílio, alegria e amor, e a sua família, que me acolhe com tanto carinho e amor.

À minha Vó Geralda, pelas incansáveis orações de minha entrega à Nossa Senhora e desejos de felicidades.

Aos meus avós, que já estão junto de Deus e sei que torcem e rezam por mim, lá do céu.

Aos meus tios e tias, primos e primas, pela união, amizade, carinho e apoio.

Aos meus amigos: Amanda, Renata, Lenizy, Michele, Aninha, Pedro, Hugo, Gabriel, Mariana, “Yasmins”, “Éricas”, pelo apoio, pelas conversas, pelo carinho imenso, pelas orações, agradeço-lhes do fundo do meu coração.

Gostaria de agradecer, em especial, a duas pessoas: Regiane, que nunca se cansa de ajudar e comigo não foi diferente, reservou um espacinho para mim. Sem ela, acredito que nem a metade de meu trabalho seria feito e nem teria alcançado o doutorado. Rê, conte comigo para o que precisar!

Rhana esteve ao meu lado, em todos os momentos de desânimo e quando eu pensava que não conseguiria alcançar meu objetivo. Ela me disse:

vamos, dá certo sim, vou te ajudar, você consegue (sic). Rhana e Regiane, contem comigo assim como pude contar com vocês.

A todos os meus amigos, que direta ou indiretamente, apoiaram-me, auxiliaram e torceram por mim.

Agradeço à Banca examinadora: Profa. Patrícia, que se colocou à disposição para estar presente; aos meus orientadores, Prof. Diego, pelo apoio, ensinamento e paciência, em momentos com tantos compromissos e ainda assim, estava ali para ajudar, e Profa. Soraia, além de orientadora, é como uma mãe, sempre com um abraço carinhoso e um sorriso no rosto pra nos receber e auxiliar no que for preciso.

Aos alunos de Iniciação Científica, ao Departamento de Ciência dos Alimentos, Departamento de Química, ao Prof. Cassiano (UFV), ao Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFLA, pelo apoio nas análises realizadas neste trabalho.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro, para realização e execução deste trabalho, e à Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade que me foi dada para crescimento pessoal e profissional. Muito obrigada!!!

RESUMO GERAL

As betalaínas são utilizadas pelas indústrias de alimentos como corante natural, sendo a beterraba a fonte mais popular desses compostos, além de apresentar atividade antioxidante. Sua estabilidade pode ser aumentada por intermédio da secagem por atomização, e a qualidade do produto em pó obtido ao final do processo depende de parâmetros de operação. Extrato de beterraba em pó obtido pela secagem por atomização, utilizando maltodextrina (MD), inulina (IN) e isolado proteico de soro (IPS) como agentes carreadores, isolados ou em combinação (MD:IN, MD:IPS e IN:IPS), foi avaliado quanto a suas propriedades físico-químicas e morfológicas, bem como sua estabilidade. De modo geral, o tratamento IN:IPS, obteve resultados satisfatórios, representando oportunidade de inovação no setor alimentício. Neste trabalho, foram também avaliadas características de partículas obtidas por meio da secagem por atomização de suco de beterraba em diferentes temperaturas (130, 150 e 170 °C) e proporções de inulina:isolado proteico de soro (IN:IPS) de 1:2, 1:1 e 2:1. Os resultados globais indicaram que temperatura de 170° C e proporção IN:IPS de 1:2 foram condições ideais, para obtenção de boas propriedades físico-químicas do extrato de beterraba em pó, adequadas para aplicação em produtos alimentícios. Além disso, o uso de inulina e IPS como agentes carreadores desperta grande interesse por apresentar potencial de agregação de propriedades funcionais, uma vez que a inulina é classificada como prebiótico e o isolado proteico de soro, rico em proteínas, auxilia na redução de gorduras e manutenção da massa muscular no organismo humano.

Palavras-chave: Betalaínas. Maltodextrina. Inulina. Isolado proteico de soro.

GENERAL ABSTRACT

Betalains are compounds, most commonly extracted from beets, that are used in the food industry as natural colorants, in addition to having antioxidant properties. Spray-drying may enhance their stability and the quality of the final powder product, obtained at the end of the process, depends on the operational parameters. Beet powder extract, obtained by spray-drying with maltodextrin (MD), inulin (IN) and whey protein isolate (IPS) as carrying agents, either isolated or combined (MD:IN, MD:IPS, and IN:IPS), was assessed as to its physicochemical and morphologic properties, as well as stability. In general, the treatment with IN:IPS had satisfactory results, which represents innovation opportunities for the food industry. In this study, we also analyzed the characteristics of particles obtained by spray-drying beet juice at different temperatures (130, 150 and 170°C) and inulin:whey protein isolate (IN:IPS) ratios at 1:2, 1:1 and 2:1. The overall results showed that the temperature at 170°C and the ratio at 1:2 were ideal to obtain beet juice powder extract with good physicochemical properties, fit for application onto dietary products. Furthermore, using inulin and IPS as carrying agents draws great attention, due to their potential to aggregate functional properties, since inulin is regarded as prebiotic and whey protein isolate is considered rich in proteins, helping reduce fat contents and maintaining muscle mass in the human body.

Keywords: Betalains. Maltodextrin. Inulin. Whey protein isolate.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 - Estrutura química: (a) betacianinas, (b) betaxantinas, (c) betanina, (d) vulgaxantina-I. 19
- Figura 2 - Esquema geral do processo de secagem por atomização. 22
- Figura 3 - Estrutura química da maltodextrina. 26
- Figura 4 - Estrutura molecular da inulina. 28

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1 - Micrografias de partículas dos extratos de beterraba em pó. (A) MD, (B) IN, (C) IPS, (D) MD:IN, (E) MD:IPS, (F) IN:IPS..... 57
- Figura 2 - Isotermas de adsorção de umidade ajustadas pelo modelo de GAB. Linhas representam os modelos de GAB ajustados, e os pontos, os dados experimentais, de cada tratamento. 63
- Figura 3 - Características dos extratos de beterraba em pó secos por atomização e liofilizado submetidos a diferentes umidades relativas a 25 °C 66
- Figura 4 - Curvas termogravimétricas: (A) e (C) TGA dos tratamentos; (E) TGA dos agentes carreadores; (B) e (D) DTG dos tratamentos; (F) DTG dos agentes carreadores. 69
- Figura 5 - Teores de betanina e vulgaxantina-I, tempo de meia vida ($t_{1/2}$) ao longo do armazenamento: (A) MD, (B) IN, (C) IPS, (D) MD:IN, (E) MD:IPS, (F) IN:IPS, (G) SBL. (~~XXXX~~) betanina, (~~XXXX~~) vulgaxantina-I..... 72
- Figura 6 - Valores de ΔE^* calculados para cada tratamento ao longo da estocagem dos pós à 60 °C. 74

ARTIGO 2

- Figura 1 - Difractogramas de raio X obtidos para os diferentes tratamentos de extrato de beterraba em pó (de 1 a 9) e dos agentes carreadores (AC) utilizados na secagem (IN-inulina; IPS-isolado proteico de soro). 109

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 2 - | Micrografias de partículas dos diferentes tratamentos de extrato de beterraba em pó | 111 |
| Figura 3 - | Isotermas de adsorção dos diferentes tratamentos de extrato de beterraba em pó. Linhas representam os modelos de GAB ajustados, e os pontos, os dados experimentais, de cada tratamento..... | 116 |
| Figura 4 - | Extratos de beterraba em pó secos por atomização submetidos a diferentes umidades relativas a 25 °C..... | 119 |

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 - Composição da beterraba (por 100 g de parte comestível)..... 16

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1 - Composição das soluções que foram submetidas ao processo de secagem por atomização.....45

Tabela 2 - Propriedades químicas dos extratos de beterraba em pó.....53

Tabela 3 - Valores estimados dos parâmetros e coeficientes estatísticos para os modelos matemáticos de GAB, Halsey, Smith e Oswin.61

ARTIGO 2

Tabela 1 - Condições de secagem utilizadas na obtenção dos extratos de beterraba em pó.....91

Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados no ajuste de dados experimentais das isotermas de adsorção dos extratos de beterraba em pó.....96

Tabela 3 - Propriedades físico-químicas dos extratos de beterraba em pó.....99

Tabela 4 - Parâmetros de cor dos extratos de beterraba em pó descritos por meio dos parâmetros L^* , C^* e h° 107

Tabela 5 - Valores estimados dos parâmetros e coeficientes estatísticos para os modelos matemáticos de GAB, Halsey, Smith e Oswin. 114

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| | PRIMEIRA PARTE | 13 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 | Beterraba..... | 15 |
| 2.2 | Betalainas..... | 18 |
| 2.3 | Secagem por atomização..... | 20 |
| 2.4 | Agentes carreadores..... | 24 |
| 2.5 | Extrato de beterraba em pó..... | 29 |
| 3 | CONSIDERAÇÕES GERAIS | 31 |
| | REFERÊNCIAS | 32 |
| | SEGUNDA PARTE – ARTIGOS | 39 |
| | ARTIGO 1 – USO DE DIFERENTES AGENTES CARREADORES NA SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE SUCO DE BETERRABA – CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE | 39 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 41 |
| 2 | MATERIAIS E MÉTODOS | 44 |
| 2.1 | Materiais..... | 44 |
| 2.2 | Preparo das soluções para secagem..... | 44 |
| 2.3 | Secagem por atomização..... | 44 |
| 2.4 | Planejamento experimental..... | 45 |
| 2.5 | Análises físico-químicas e morfológicas das partículas..... | 45 |
| 2.5.1 | Umidade..... | 45 |
| 2.5.2 | Teor de Betalainas e Retenção..... | 46 |
| 2.5.3 | Atividade Antioxidante..... | 47 |
| 2.5.4 | Morfologia das partículas..... | 48 |
| 2.6 | Estabilidade..... | 48 |
| 2.6.1 | Isotermas de adsorção..... | 49 |
| 2.6.2 | TGA/DTG..... | 49 |
| 2.6.3 | Estabilidade acelerada..... | 49 |
| 2.7 | Análises estatísticas..... | 50 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 52 |
| 3.1 | Caracterização físico-química e morfológica das partículas..... | 52 |
| 3.2 | Estabilidade..... | 57 |
| 3.2.1 | Isotermas de adsorção..... | 58 |
| 3.2.2 | TGA/DTG..... | 66 |
| 3.2.3 | Estabilidade acelerada..... | 70 |
| 4 | CONCLUSÃO | 75 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| | REFERÊNCIAS | 77 |
| | ARTIGO 2 – INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E TEOR DE INULINA NA SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE SUCO DE BETERRABA | 84 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 86 |
| 2 | MATERIAIS E MÉTODOS | 90 |
| 2.1 | Materiais | 90 |
| 2.2 | Preparo das soluções para secagem | 90 |
| 2.3 | Secagem por atomização | 90 |
| 2.4 | Planejamento experimental | 91 |
| 2.5 | Análises físico-químicas e morfológicas das partículas..... | 91 |
| 2.5.1 | Umidade | 91 |
| 2.5.2 | Solubilidade | 92 |
| 2.5.3 | Teor e retenção de betalaínas | 92 |
| 2.5.4 | Atividade Antioxidante | 94 |
| 2.5.5 | Coloração | 94 |
| 2.5.6 | Difração de Raio X | 95 |
| 2.5.7 | Morfologia..... | 95 |
| 2.5.8 | Isotermas de adsorção..... | 96 |
| 2.6 | Análises estatísticas | 97 |
| 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 98 |
| 4 | CONCLUSÃO..... | 120 |
| | REFERÊNCIAS | 122 |
| | CONCLUSÃO GERAL | 130 |

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma hortaliça pertencente à família Chenopodiaceae, tendo sua origem em regiões de clima temperado da Europa e Norte da África e, no Brasil, é cultivada, principalmente, nas regiões Sul e Sudeste (BIONDO et al., 2014). O vegetal é rico em substâncias antioxidantes denominadas betalaínas, responsáveis, também, pela sua coloração vermelho-arroxeadada. O grande interesse por alimentos desse tipo reside no fato de que essas substâncias impedem ou retardam processos de oxidação e apresentam efeitos benéficos à saúde humana, tais como propriedades antitumorais, antiaterosclerótica, anti-inflamatória, dentre outras. Além disso, a beterraba pode servir como fonte natural de betalaínas, utilizadas para pigmentação de diversos produtos alimentícios (MARTINEZ et al., 2015).

Um dos parâmetros de qualidade da beterraba está relacionado com os defeitos físicos e o grau desses defeitos que a hortaliça possa apresentar. Com isso, em casos de defeitos físicos ou visuais mais graves e que limitem a comercialização do vegetal in natura, as beterrabas são descartadas, independente de sua qualidade nutricional e sanitária, caracterizando um tipo de perda pós-colheita. Como forma de aproveitamento deste resíduo, a secagem por atomização, ou *spray drying*, pode ser considerada uma técnica bastante viável para essa finalidade. O processo consiste na obtenção de produtos secos em pó pelo contato entre líquido aspergido e ar aquecido dentro de uma câmara, promovendo rápida evaporação da água das gotículas (ISHWARYA; ANANDHARAMAKRISHNAN; STAPLEY, 2015).

O suco de beterraba desidratado por meio da secagem por atomização pode ser considerado como uma alternativa interessante em virtude do elevado teor de betalaínas que essa hortaliça apresenta em sua constituição. O produto

em pó, contendo estas substâncias imobilizadas na matriz polimérica, representa uma possibilidade de sua adição em formulações alimentícias, atendendo à crescente tendência por parte dos consumidores em buscar alimentos contendo ingredientes de fontes naturais, que conferem boas características sensoriais e funcionais ao produto (JANISZEWSKA, 2014).

Como forma de garantir a qualidade e estabilidade do produto em pó, obtido por meio da secagem por atomização, faz-se necessário determinar as condições ótimas operacionais, bem como a escolha adequada do agente carreador a ser utilizado no processo. Como exemplo, tem-se a maltodextrina, muito utilizada em processos desse tipo (SINGH; DIXIT, 2014), a inulina e o isolado proteico de soro, alternativas que têm despertado interesse por apresentarem boas características tecnológicas e nutricionais (EZHILARASI et al., 2013; FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014).

Diversas alterações podem ocorrer durante a estocagem de alimentos em pó, que resultam na modificação de suas propriedades físicas e químicas. Com isso, nota-se a importância da otimização do processo de secagem por atomização, para que se obtenham produtos em pó de qualidade e, a partir disso, avaliar as alterações do produto ao longo do tempo, e determinar as condições ideais de estocagem, que contribuam para a sua estabilidade, prolongando sua vida útil (GUADARRAMA-LEZANA et al., 2014).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do uso de diferentes agentes carreadores e temperaturas de entrada do secador nas propriedades físico-químicas, térmicas e morfológicas de extrato de beterraba em pó obtido por meio da secagem por atomização, bem como sua estabilidade ao longo do armazenamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Beterraba

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) teve sua origem na região do Mar Mediterrâneo e no Norte da África, embora seja distribuída geograficamente desde a Índia oriental a ocidental, em direção ao oeste das Ilhas Canárias e Costa ocidental da Europa (PUIATTI; FINGER, 2005). É uma hortaliça de raiz tuberosa, pertencente à família das Quenopodiáceas (Chenopodiaceae) (ALVES et al., 2008), rica em carboidratos, minerais e vitaminas (THAKUR; GUPTA, 2006). O vegetal tem despertado grande interesse devido aos seus efeitos benéficos para a saúde humana, incluindo: estimulação dos sistemas imune e hematopoiético, anti-inflamatório, propriedades antitumorais e hepatoprotetora (ESCRIBANO et al., 1998; KRAJKA-KUŹNIAK et al., 2012; MARTINEZ et al., 2015). Isso se deve à presença de uma elevada concentração de substâncias antioxidantes denominadas betalaínas, responsáveis também pela coloração vermelho-arroxeadada desse vegetal (KANNER; HAREL; GRANIT, 2001).

O gênero *Beta* inclui diferentes tipos de beterraba (hortícula, forrageira e açucareira), todas derivadas da mesma espécie *vulgaris*. A beterraba hortícula (ou beterraba de mesa) é consumida, principalmente, na alimentação humana. A beterraba forrageira é utilizada na alimentação animal, e a beterraba açucareira como fonte de sacarose (GOLDMAN; NAVAZIO, 2008). O consumo da raiz da beterraba de mesa é mais explorado em comparação às folhas do vegetal. No Brasil, normalmente, é consumida na forma crua (ralada) ou cozida em saladas, e em razão do elevado teor de açúcares em sua composição, apresenta sabor adocicado e agradável. Além disso, o pigmento vermelho pode ser extraído e utilizado como corante natural (PUIATTI; FINGER, 2005). A composição da beterraba de mesa crua e cozida está representada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição da beterraba (por 100 g de parte comestível).

| | Beterraba crua | Beterraba cozida |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Umidade (%) | 86 | 90,6 |
| Energia | 49 kcal = 204 kJ | 32 kcal = 135 kJ |
| Proteína (g) | 1,9 | 1,3 |
| Colesterol (mg) | NA | NA |
| Lipídeos (g) | 0,1 | 0,1 |
| Carboidrato (g) | 11,1 | 7,2 |
| Fibra alimentar (g) | 3,4 | 1,9 |
| Cinzas (g) | 0,9 | 0,8 |
| Cálcio (mg) | 18 | 15 |
| Magnésio (mg) | 24 | 17 |

Fonte: Tabela... (2011). NA = não aplicável.

De acordo com a Associação Brasileira do Comércio de Semente e Mudas (ABCSEM, 2014), a beterraba está entre os 18 principais segmentos de hortaliças propagadas por sementes no Brasil. No ano de 2012, apresentou movimentação de 192 milhões de reais a partir dos agricultores, e o valor da cadeia produtiva desta hortaliça chegou a 618,8 milhões de reais no varejo. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), realizou, em 2006, o Censo Agropecuário, retratando a realidade do Brasil Agrário e mostrou que de um total de 5.175.489 estabelecimentos agropecuários, 194.204 estabelecimentos são produtores de hortaliças, e 11 % deles produzem beterraba, localizados em sua maioria nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. A escala comercial de hortaliças como batata, tomate, cebola, pimentão, repolho e cenouras é maior quando comparada à escala comercial da beterraba. Contudo pode ser observado um crescente aumento na sua demanda tanto para consumo

in natura, quanto para beneficiamento em indústrias de conservas, alimentos infantis, corantes em sopas desidratadas, iogurtes e catchups (SOUZA et al., 2003; TIVELLI et al., 2011).

Atualmente, no Ministério da Agricultura, não existem normas que envolvam a classificação da beterraba de mesa. Sendo assim, em casos nos quais ela não se encontra dentro dos padrões de qualidade aceitos pelo consumidor relacionados à aparência, ainda que esteja apta para consumo nos quesitos nutricionais e segurança alimentar, as beterrabas são descartadas, caracterizando um tipo de perda pós-colheita. Em países desenvolvidos, estima-se que o índice de perda pós-colheita de hortaliças esteja entre 5 e 25 % e, em países em desenvolvimento, entre 20 e 50 %. Além disso, em torno de 30 % do que é produzido no Brasil não é aproveitado devido aos danos sofridos pelos vegetais ao longo da cadeia produtiva, como, por exemplo: rachaduras de impacto ou de crescimento; compressões que deformam o tecido vegetal de forma irreversível; ferimentos por insetos ou capinas com enxada; desordens fisiológicas que resultam em defeitos tais como pequenas depressões, maturação anormal e brotações, decorrentes de deficiências nutricionais e fatores climáticos (LUENGO; CALBO, 2011).

Algumas características ideais para comercialização das beterrabas envolvem sua coloração, que deve ser púrpura intenso e o mais uniforme possível (PUIATTI; FINGER, 2005), formato globular ou globular achatado, normalmente com peso de 200 a 300 gramas por unidade do vegetal (SOUZA et al., 2003) e, após cocção, apresenta-se tenra, de gosto levemente doce. Murchamento e rebrota são defeitos que estão entre as principais causas perda pós-colheita desse vegetal (TIVELLI et al., 2011).

Como forma de se aproveitar a beterraba descartada em razão de defeitos em sua aparência, rejeitados pelo consumidor, e que apresente qualidade nutricional e sanitária, a secagem por atomização pode ser considerada uma

alternativa viável, a qual torna possível a obtenção de um extrato de beterraba em pó com considerável teor de betalaínas (JANISZEWSKA; WLODARCZYK, 2013), possibilitando o uso como aditivo alimentar, seja para conferir coloração desejável ou enriquecer um produto com propriedades funcionais (RAVICHANDRAN et al., 2013).

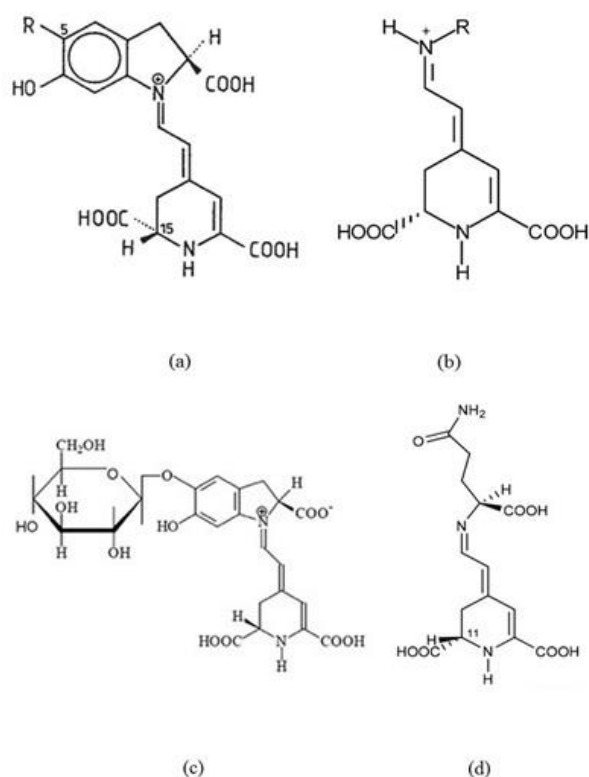
2.2 Betalaínas

Durante as últimas décadas, tem sido crescente o número de consumidores em busca de produtos alimentícios sem aditivos artificiais (ESATBEYOGLU et al., 2015; JANISZEWSKA; WLODARCZYK, 2013; NEMZER et al., 2011). As betalaínas são utilizadas pelas indústrias de alimentos como corante natural, tendo seu uso permitido na alimentação humana desde 1960 (SOUZA et al., 2003). Têm-se destacado, cada vez mais, em decorrência das propriedades benéficas que apresentam à saúde humana (WRUSS et al., 2015) tais como propriedade antioxidante, anti-inflamatória, antiaterosclerótica e antitumoral (ESCRIBANO et al., 1998; GEORGIEV et al., 2010; JANISZEWSKA, 2014). São fontes naturais de betalaínas: beterraba, amaranto, pitaia roxa e pera espinhosa, sendo beterraba a mais popular dentre as demais (NEMZER et al., 2011). Os extratos betalaínicos são bastante utilizados na pigmentação de cosméticos, geleias, produtos lácteos, suplementos esportivos, confeitos e bebidas (GOLDMAN; NAVAZIO, 2008; JANISZEWSKA, 2014).

As betalaínas são compostos nitrogenados, hidrossolúveis, classificados em betacianinas, que conferem coloração vermelho-violeta, e betaxantinas, corante amarelo-alaranjado presente em menor proporção na beterraba (JANISZEWSKA, 2014; PITALUA et al., 2010). A principal betalaína presente neste vegetal é uma betacianina denominada betanina (betanidina 5-O- α -glucosídeo contendo um grupo fenólico e uma amina cíclica) (KANNER;

HAREL; GRANIT, 2001; MARTINEZ et al., 2015) e vulgaxantina-I a principal betaxantina. Betanina e vulgaxantina-I compreendem a maior parte da concentração dos pigmentos da beterraba, uma vez que, além dessas, estão presentes no vegetal outros pigmentos betalínicos, tais como isobetanina, prebetanina e vulgaxantina-II (ELBE, 2001). A Figura 1 demonstra a estrutura química geral das betacianinas e betaxantinas, bem como betanina e vulgaxantina-I.

Figura 1 - Estrutura química: (a) betacianinas, (b) betaxantinas, (c) betanina, (d) vulgaxantina-I.



Fontes: Chandrasekhar et al. (2015), Esatbeyoglu et al. (2015), Martinez et al. (2015) e Strack, Vogt e Schliemann (2003).

Em geral, pigmentos naturais são sensíveis às condições do ambiente ou processos tecnológicos (JANISZEWSKA; WLODARCZYK, 2013), como temperatura, pH, presença de oxigênio, atividade de água, luz, radiação ultravioleta e gama (JANISZEWSKA, 2014). A estabilidade é um importante aspecto a se considerar para o uso de antioxidantes e corantes em alimentos. As betalaínas apresentam tendência a se degradar facilmente em solução, e a secagem por atomização pode ser utilizada como forma de prevenir sua degradação (PITALUA et al., 2010). Os produtos em pó são mais estáveis por sua taxa menor de degradação de pigmentos (NEMZER et al., 2011) em função da mobilidade reduzida dos componentes na matriz das micropartículas (PITALUA et al., 2010).

2.3 Secagem por atomização

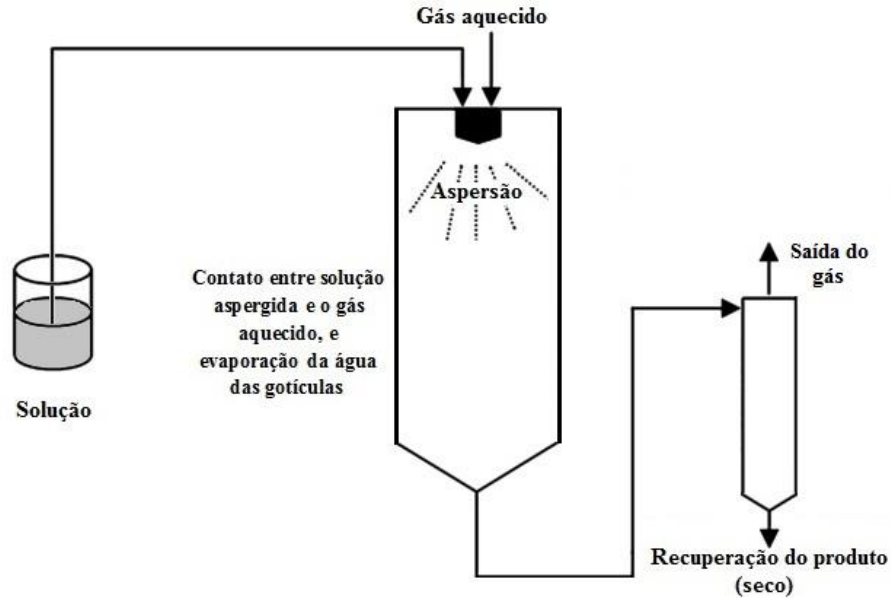
A secagem por atomização é bastante empregada em processos industriais, como forma de se obter partículas sólidas por meio da geração e secagem de gotículas líquidas. A técnica permite a transformação de uma solução, emulsão ou suspensão do estado fluido para o estado sólido (em pó), dentro de uma câmara, na qual um gás aquecido (em geral, o ar) entra em contato com gotículas aspergidas do material a ser desidratado, promovendo rápida secagem (GHARSALLAOUI et al., 2007; ISHWARYA; ANANDHARAMAKRISHNAN; STAPLEY, 2015; MASTERS, 1979).

Esse processo tem sido muito utilizado para carreamento e microencapsulação de ingredientes alimentícios, que consiste em aprisionar um composto ativo (partículas sólidas, gotículas líquidas ou componentes gasosos) em uma matriz polimérica, como forma de proteção do mesmo em condições adversas, tornando-o mais estável. Essa matriz polimérica é formada em virtude da rápida secagem a que o produto é submetido, formando uma rede tridimensional contendo o material encapsulado (JANISZEWSKA, 2014;

TONON; BRABET; HUBINGER, 2010). A microcápsula evita o efeito da exposição inadequada da substância ativa, uma vez que ela é isolada em razão da presença de uma camada do agente carreador (em geral, um material polimérico), atuando como um filme de proteção do núcleo. Essa camada se desfaz sob estímulo específico, o que resulta na liberação da substância no local ou momento ideal (RÉ, 2000).

O processo da secagem por atomização está representado na Figura 2 e pode ser dividido em quatro etapas: preparo, homogeneização, aspersão e secagem de um material fluido (DESAI; PARK, 2005). Inicialmente, é feito o preparo da solução a ser desidratada, homogeneizando o material líquido com o agente carreador, e a solução resultante é aspergida no interior da câmara de secagem (JANISZEWSKA, 2014). A primeira importante transformação do produto a ser desidratado, utilizando essa técnica, é a formação de gotículas por meio de um atomizador, o qual realiza a sua aspersão dentro da câmara de secagem, as quais são movidas dentro dessa sob a influência de um fluxo turbulento de gás aquecido (OAKLEY, 2004). A formação das gotículas faz com que a superfície de contato entre o material fluido e o gás aquecido seja maior, otimizando a transferência de calor e massa entre eles. Após a secagem, é feita a separação do produto seco e do ar por um ciclone localizado na parte inferior do secador, o que reduz as perdas do produto para a atmosfera (GHARSALLAOUI et al., 2007).

Figura 2 - Esquema geral do processo de secagem por atomização.



Fonte: adaptado de Silva et al. (2011).

A secagem por atomização é considerada como uma tecnologia de grande interesse por parte das indústrias alimentícias fato que se deve, dentre outros fatores, à obtenção de um produto de qualidade relacionado ao conteúdo de umidade, densidade aparente e distribuição do tamanho de partículas (SINGH; DIXIT, 2014). É considerada como uma técnica econômica e eficiente (SEMYONOV et al., 2010), e diversos tipos de produtos podem ser desidratados por meio dela, inclusive, produtos termosensíveis, uma vez que o tempo de contato entre a fonte de calor e o material aspergido é bastante curto, não resultando em danos consideráveis aos compostos durante o processo (OLIVEIRA; PETROVICK, 2010). O produto final, por se apresentar em pó, confere a vantagem de redução do volume, o que facilita operações de embalagem, armazenamento, transporte e medição de ingredientes em formulações alimentícias (CALISKAN; DIRIM, 2013). Além disso, permite o desenvolvimento de produtos inovadores, por meio da incorporação de

componentes funcionais ao produto, em uma forma mais estável (MURUGESAN; ORSAT, 2012).

Um aspecto importante a se considerar são as mudanças que ocorrem no material a ser desidratado. A qualidade das partículas obtidas, por meio da secagem por atomização, depende dos parâmetros de operação e da composição do fluido que irá passar pelo processo (AGHBASHLO et al., 2013). De acordo com Estevinho et al. (2013), o fluxo de gás e líquido, temperatura de entrada e saída do ar e conteúdo de sólidos são os principais parâmetros a serem otimizados da secagem por atomização.

Jafari et al. (2008) afirmam que a transferência de calor e massa, durante a secagem por atomização, é otimizada (ou seja, mais rápido é o processo), quando existe uma mistura adequada do ar aquecido e fluido atomizado. Uma forma de garantir que cada gotícula aspergida atinja o nível ideal de secagem é ajustando a taxa de alimentação do fluido a ser atomizado.

Algumas propriedades do produto em pó, como umidade, densidade, tamanho e morfologia das partículas e higroscopicidade são afetadas pela temperatura de entrada do ar (SINGH; DIXIT, 2014). Quanto maior o seu valor, menor umidade se observa no produto obtido ao final do processo, uma vez que a remoção de água das gotículas acontece de forma mais rápida, resultando em maior perda de água do material ao longo da secagem (KRISHNAIAH; NITHYANANDAM; SARBATLY, 2014). No entanto, temperaturas muito elevadas podem levar à formação de partículas com imperfeições na superfície (rachaduras, por exemplo) e, conseqüentemente, perda de compostos ativos (JAFARI et al., 2008). Outro fator que a temperatura de entrada do ar pode influenciar é na higroscopicidade do material, uma vez que maiores temperaturas favorecem obtenção de pós com menor umidade e, com isso, o gradiente de umidade é maior entre a partícula e o ambiente ao redor (SINGH; DIXIT, 2014). Em geral, a temperatura de saída do ar varia de acordo com a

temperatura de entrada do ar, visto que quanto maior a primeira, maior a segunda e maior, também, a temperatura do produto ao final do processo, mantendo constante o fluxo de alimentação do fluido (SILVA et al., 2013).

A concentração de agentes carreadores no fluido de alimentação do processo influencia as propriedades físico-químicas das partículas finais. Concentrações mais altas favorecem obtenção de partículas com menor umidade, uma vez que o teor de água a ser evaporado, ao longo da secagem, é menor nesse caso (KRISHNAIAH; NITHYANANDAM; SARBATLY, 2014). Por outro lado, menores concentrações de agentes carreadores podem resultar em um produto com maior característica de pegajosidade (SINGH; DIXIT, 2014).

Em particular, deve ser realizada uma análise criteriosa do agente carreador ou de uma combinação de agentes carreadores, em diferentes proporções, a serem utilizados na secagem por atomização, uma vez que influencia na eficiência do processo e estabilidade do produto final. A escolha desse material é baseada em suas propriedades físico-químicas, tais como: solubilidade, peso molecular, temperatura de transição vítrea, cristalinidade, difusibilidade, além do custo, que também deve ser considerado (GHARSALLAOUI et al., 2007).

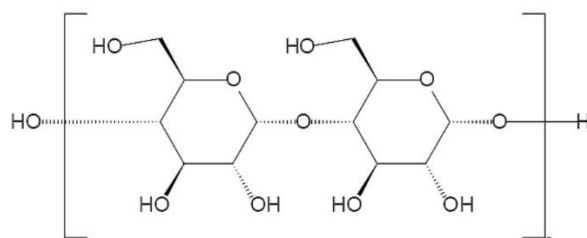
2.4 Agentes carreadores

A secagem por atomização de suco de beterraba sem adição de carreadores se torna difícil devido à presença de componentes de baixo peso molecular e baixa temperatura de transição vítrea, como sacarose, frutose, glicose e ácidos (BHANDARI et al., 1993; JANISZEWSKA, 2014). Esses compostos podem se aderir nas paredes da câmara de secagem durante o processo, em consequência do efeito de plasticização, resultando em problemas operacionais e baixo rendimento do produto final (JANISZEWSKA, 2014).

Os agentes carreadores possuem alto peso molecular e são úteis para aumentar a temperatura de transição vítrea do material a passar pela secagem, evitando esses e outros problemas, tais como formação de aglomerados e cristalização, durante o processamento e estocagem do produto, o que é importante, especialmente, no caso de produtos ricos em açúcares. Agentes carreadores com alta solubilidade e baixa viscosidade são importantes condições para o processo de secagem por atomização (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010), embora cada um deles apresente vantagens e desvantagens em termos de propriedades, custo e eficiência de encapsulação (SANSONE et al., 2011).

Amidos parcialmente hidrolisados são muito utilizados como aditivos pelas indústrias na obtenção de sucos em pó (OTÁLORA et al., 2015). Os amidos são fontes baratas e disponíveis para a produção de maltodextrinas, as quais podem ser obtidas pela hidrólise controlada do amido por meio de processos físico-químicos (calor, pressão ou ácidos), enzimáticos (com amilases) ou ambos. O grau de hidrólise da molécula de amido é representado pelo valor de sua dextrose equivalente (DE), definida pela quantidade de açúcares redutores expressos em percentual de glicose, em base seca (SILVA; DEMCZUK JUNIOR; VISENTAINER, 2014). A maltodextrina é um agente carreador muito utilizado em processos de secagem por atomização, de baixo custo (SINGH; DIXIT, 2014), sabor neutro e baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos em solução (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014). Utilizada em conjunto ou não com outros materiais no processamento de alimentos e fármacos (SANSONE et al., 2011), é um composto de baixa higroscopicidade, confirmando sua eficiência como agente carreador (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). A Figura 3 representa a estrutura química da maltodextrina.

Figura 3 - Estrutura química da maltodextrina.

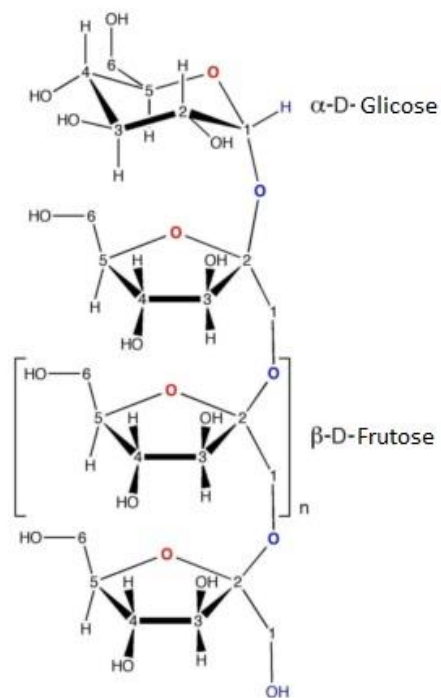


Fonte: Carareto et al. (2010)

As proteínas formadoras de filme proporcionam estabilidade mecânica e boas propriedades de barreira, podendo ser derivadas de fontes animais (proteínas do soro, gelatina e albumina do ovo) e vegetais (milho, soja, trigo, semente de algodão, amendoim e arroz) (MELLINAS et al., 2016). No processo de recuperação de proteínas solúveis do soro, dois produtos podem ser obtidos: concentrado proteico de soro (CPS) e isolado proteico de soro (IPS). O CPS apresenta uma porcentagem de proteínas que pode variar de 35 a 80 %, enquanto o IPS apresenta essa mesma porcentagem superior a 90 % (PAGNO et al., 2009), sendo constituídos, principalmente, por β -lactoglobulina e α -lactoalbumina (KHEM; SMALL; MAY, 2016). Em sua forma nativa, as proteínas do soro apresentam uma compacta e rígida estrutura estabilizada por ligações hidrofóbicas, de hidrogênio, eletrostática e dissulfeto (BERNARD et al., 2011) e possuem qualidade nutricional e propriedades funcionais inerentes que vão de encontro às demandas da encapsulação (EZHILARASI et al., 2013). Ao entrar em contato com o ar aquecido, ao longo da secagem por atomização, o IPS forma imediatamente uma película ao redor da partícula (ADHIKARI et al., 2009), sendo de grande interesse sua aplicação na secagem de suco de beterraba, uma vez que possibilita aumentar o rendimento do processo por evitar a adesão dos compostos de baixa peso molecular nas paredes da câmara do secador.

Estudos envolvendo o uso da inulina como agente carreador têm crescido, nos últimos anos, a qual apresenta boas propriedades tecnológicas para uso em processos como a secagem por atomização (STEVENS; MERIGGI; BOOTEN, 2001). Além disso, é classificada como prebiótico, característica de interesse, contribuindo para idealização e desenvolvimento de alimentos com alegações funcionais (NAZZARO et al., 2012). A inulina pertence ao grupo de frutanos que ocorrem, naturalmente, como carboidrato de reserva de vegetais em muitos membros da família Asteraceae, como a chicória industrial (*Chicorium intybus* L., var. *sativum*), fonte mais popular de inulina. É um polímero composto por unidades de frutose unidas por meio de ligações $\beta(2-1)$, constituindo cadeias de diferentes tamanhos, cada uma delas com uma unidade terminal de glicose. Relacionada à sua ação prebiótica, nota-se o interesse na aplicação de inulina como agente carreador na encapsulação de compostos bioativos susceptíveis a alterações e/ou degradação, ao longo do trato digestivo, uma vez que a liberação desses aconteceria apenas no intestino, no qual seriam, então, absorvidos (BEIRÃO-DA-COSTA et al., 2013). Sendo assim, a inulina é um agente carreador de interesse (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014) pelas suas propriedades benéficas à saúde humana (VOS et al., 2010). A Figura 4 ilustra a estrutura molecular da inulina.

Figura 4 - Estrutura molecular da inulina.



Fonte: Barclay et al. (2010).

A escolha do agente carreador se faz importante, uma vez que influencia as propriedades da solução antes da secagem, a retenção de compostos durante o processo e a vida útil do pó obtido após a secagem (JAFARI et al., 2008). Ao selecionar o agente carreador a ser utilizado na secagem por atomização, as micropartículas obtidas são avaliadas, baseando-se na retenção de compostos ativos, estabilidade sob diferentes condições de armazenamento, grau de proteção fornecida ao componente de interesse, observação da morfologia por meio de microscopia de varredura, dentre outros (PÉREZ-ALONSO et al., 2003).

2.5 Extrato de beterraba em pó

Estudos envolvendo obtenção de extratos de beterraba em pó, por meio da secagem por atomização, têm crescido nos últimos anos. Características de suco de beterraba seco por atomização utilizando goma arábica como agente carreador, e estabilidade em diferentes atividades de água, foram avaliadas por Pitalua et al. (2010). Os autores observaram boa estabilidade dos pós em atividades de até 0,521 e características adequadas das partículas, viabilizando seu uso em alimentos para coloração ou atuar como antioxidante.

Em um trabalho realizado por Janiszewska e Wlodarczyk (2013), foi avaliado suco de beterraba seco por atomização utilizando maltodextrina como agente carreador e diferentes temperaturas de entrada do ar (120, 140 e 160 °C). Assim, foi recomendado o uso de 140 °C, para obtenção de partículas com características físicas adequadas, bem como maior teor de pigmentos betalínicos.

Em outro trabalho realizado por Janiszewska (2014), a autora avaliou a influência do tipo de agente carreador (maltodextrina, goma arábica e a mistura de ambos) e taxa de alimentação de $0,3$ e $0,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na secagem por atomização de suco de beterraba utilizando temperatura de 160 °C. Embora os tratamentos em que se utilizou goma arábica tenham apresentado bons resultados, o autor recomenda o uso de maltodextrina na obtenção de extrato de beterraba em pó como fonte de betalaínas, uma vez que esse material proporcionou maior teor de pigmentos após a secagem do suco de beterraba.

O uso de diferentes teores de concentrado proteico de soro (5, 10 e 15 %), temperaturas de entrada do ar de secagem (160, 170 e 180 °C) e taxas de alimentação (400 , 500 e $600 \text{ mL} \cdot \text{h}^{-1}$) foi avaliado por Bazaria e Kumar (2016) na secagem por atomização de suco de beterraba concentrado. Os autores obtiveram um modelo matemático que pode ser utilizado para otimização do processo, resultando em um produto com características de interesse para sua aplicação em alimentos.

Percebe-se que existe grande interesse no estudo da aplicação de materiais biopoliméricos para obtenção de um extrato em pó rico em betalaínas. No entanto, é importante elucidar novas aplicações, ou seja, novos materiais que ainda não foram avaliados, como forma de inovação no setor alimentício. Como exemplo, o isolado proteico de soro e inulina, que apresentam propriedades funcionais e, aplicados em alimentos, podem resultar na melhoria nutricional desses produtos, o que tem despertado cada vez mais o interesse por parte do consumidor.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A secagem por atomização de suco de beterraba representa uma técnica bastante viável para produção de um extrato em pó com elevado teor de betalaínas. No entanto, é necessária a adição de agentes carreadores ao suco, antes do processo, bem como a determinação dos parâmetros adequados de secagem, como forma de garantir maior rendimento e boas características ao produto final. Com isso, torna-se interessante avaliar qual melhor agente carreador, a ser aplicado no processo, bem como determinar as condições ótimas de operação, obtendo, assim, produtos em pó com características adequadas para aplicação em alimentos. Além disso, a busca e avaliação de biopolímeros não convencionais a serem utilizados como agentes carreadores é de grande interesse no ramo alimentício.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, B. et al. Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 94, n. 2, p. 144-153, Sept. 2009.
- AGHBASHLO, M. et al. Influence of wall material and inlet drying air temperature on the microencapsulation of fish oil by spray drying. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 6, n. 6, p. 1561-1569, Feb. 2013.
- ALVES, A. U. et al. Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 2, p. 292-295, Apr./June 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTE E MUDAS. **2º levantamento de dados socioeconômicos da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil**. Holambra, 2014. Disponível em:
<http://www.abcsem.com.br/imagens_noticias/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20completa%22dos%20dados%20da%20cadeia%20produtiva%20de%20hortali%C3%A7as%20-%2029MAIO2014.pdf>. Acesso em: 27 out. 2015.
- BARCLAY, T. et al. Inulin: a versatile polysaccharide with multiple pharmaceutical and food chemical uses. **Journal of Excipients and Food Chemicals**, Arlington, v. 1, n. 3, p. 27-50, Oct. 2010.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 14, p. 21-27, June 2016.
- BEIRÃO-DA-COSTA, S. et al. Inulin potential for encapsulation and controlled delivery of *Oregano* essential oil. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 199-206, Dec. 2013.
- BERNARD, C. et al. Enhancement of emulsifying properties of whey proteins by controlling spray-drying parameters. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 758-763, June 2011.
- BHANDARI, B. R. et al. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, New York, v. 11, n. 5, p. 1081-1092, May 1993.

BIONDO, P. B. F. et al. Evaluation of beetroot (*Beta vulgaris* L.) leaves during its developmental stages: a chemical composition study. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, n. 1, p. 94-101, Jan./Mar. 2014.

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**, Rugby, v. 91, n. 4, p. 539-548, Oct. 2013.

CARARETO, N. D. D. et al. Water activity of aqueous solutions of ethylene oxide-propylene oxide block copolymers and maltodextrins. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 173-181, Jan./Mar. 2010.

CHANDRASEKHAR, J. et al. Differential partitioning of betacyanins and betaxanthins employing aqueous two phase extraction. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 144, p. 156-163, Jan. 2015.

DESAI, K. G. H.; PARK, H. J. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. **Drying Technology**, New York, v. 23, n. 7, p. 1361-1394, Feb. 2005.

ELBE, J. H. von. Betalains. In: _____. **Current protocols in food analytical chemistry**. Madison: University of Wisconsin, 2001. p. F3.1.1-F3.1.7.

ESATBEYOGLU, T. et al. Betanin: a food colorant with biological activity. **Molecular Nutrition and Food Research**, Weinheim, v. 59, n. 1, p. 36-47, Jan. 2015.

ESCRIBANO, J. et al. Characterization of the antiradical activity of betalains from *Beta vulgaris* L. roots. **Phytochemical Analysis**, Chichester, v. 9, n. 3, p. 124-127, May/June 1998.

ESTEVINHO, B. N. et al. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications: a review. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 31, n. 2, p. 138-155, June 2013.

EZHILARASI, P. N. et al. Freeze drying technique for microencapsulation of *Garcinia* fruit extract and its effect on bread quality. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 117, n. 4, p. 513-520, Aug. 2013.

FERNANDES, R. V. D. B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 101, p. 524-532, Jan. 2014.

GEORGIEV, V. G. et al. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the Red Beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 65, n. 2, p. 105-111, June 2010.

GHARSALLAOUI, A. et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. **Food Research International**, Ottawa, v. 40, n. 9, p. 1107-1121, Nov. 2007.

GOLDMAN, I. L.; NAVAZIO, J. P. Table beet. In: PROHENS, J.; NUEZ, F. (Ed.). **Vegetables 1: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and cucurbitaceae**. New York: Springer, 2008. v. 1, chap. 7, p. 219-238.

GUADARRAMA-LEZANA, A. Y. et al. Determination of the minimum integral entropy, water sorption and glass transition temperature to establishing critical storage conditions of beetroot juice microcapsules by spray drying. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, Iztapalapa, v. 13, n. 2, p. 405-416, Feb. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf>. Acesso em: 27 out. 2015.

ISHWARYA, S. P.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; STAPLEY, A. G. F. Spray-freeze-drying: a novel process for the drying of foods and bioproducts. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 41, n. 2, p. 161-181, Feb. 2015.

JAFARI, S. M. et al. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 7, p. 816-835, June 2008.

JANISZEWSKA, E. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**, Lausanne, v. 264, p. 190-196, Sept. 2014.

JANISZEWSKA, E.; WLODARCZYK, J. Influence of spray drying conditions on beetroot pigments retention after microencapsulation process. **Acta Agrophysica**, Lublin, v. 20, n. 2, p. 343-356, Jan. 2013.

KANNER, J.; HAREL, S.; GRANIT, R. Betalains: a new class of dietary cationized antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 49, n. 11, p. 5178-5185, Nov. 2001.

KHEM, S.; SMALL, D. M.; MAY, B. K. The behaviour of whey protein isolate in protecting *Lactobacillus plantarum*. **Food Chemistry**, Barking, v. 190, p. 717-723, Jan. 2016.

KRAJKA-KUŹNIAK, V. et al. Beetroot juice protects against N-nitrosodiethylamine-induced liver injury in rats. **Food and Chemical Toxicology**, Exeter, v. 50, n. 6, p. 2027-2033, June 2012.

KRISHNAIAH, D.; NITHYANANDAM, R.; SARBATLY, R. A Critical review on the spray drying of fruit extract: effect of additives on physicochemical properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 54, n. 4, p. 449-473, 2014.

LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. **Pós-colheita de hortaliças**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2011. 251 p.

MARTINEZ, R. M. et al. Anti-inflammatory activity of betalain-rich dye of *Beta vulgaris*: effect on edema, leukocyte recruitment, superoxide anion and cytokine production. **Archives of Pharmacal Research**, Seoul, v. 38, n. 4, p. 494-504, Apr. 2015.

MASTERS, K. **Spray drying handbook**. 3rd ed. New York: J. Wiley, 1979. 687 p.

MELLINAS, C. et al. Active edible films: current state and future trends. **Journal of Applied Polymer Science**, Hoboken, v. 133, n. 2, p. 1-15, Jan. 2016.

MURUGESAN, R.; ORSAT, V. Spray drying for the production of nutraceutical ingredients: a review. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 5, n. 1, p. 3-14, Jan. 2012.

NAZZARO, F. et al. Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 23, n. 2, p. 182-186, Apr. 2012.

NEMZER, B. et al. Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts. **Food Chemistry**, Barking, v. 127, n. 1, p. 42-53, July 2011.

OAKLEY, D. E. Spray dryer modeling in theory and practice. **Drying Technology**, New York, v. 22, n. 6, p. 1371-1402, 2004.

OLIVEIRA, O. W.; PETROVICK, P. R. Secagem por aspersão (*spray drying*) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, Curitiba, v. 20, n. 4, p. 641-650, Aug./Sept. 2010.

OTÁLORA, M. C. et al. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, Barking, v. 187, p. 174-181, Nov. 2015.

PAGNO, C. H. et al. Obtenção de concentrados protéicos de soro de leite e caracterização de suas propriedades funcionais tecnológicas. **Alimentação Nutricional**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 231-239, abr./jun. 2009.

PÉREZ-ALONSO, C. et al. Estimation of the activation energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for their use as wall material for spray-dried microcapsules. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 53, n. 2, p. 197-203, Aug. 2003.

PITALUA, E. et al. Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 88, n. 2/3, p. 253-258, June/Sept. 2010.

PUIATTI, M.; FINGER, F. L. Cultura da beterraba. In: _____. **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa, MG: P. C. R. Fontes, 2005. p. 345-354.

RAVICHANDRAN, K. et al. Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. **Food Research International**, Ottawa, v. 50, n. 2, p. 670-675, Mar. 2013.

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

SANSONE, F. et al. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 105, n. 3, p. 468-476, Aug. 2011.

SEMYONOV, D. et al. Microencapsulation of *Lactobacillus paracasei* by spray freeze drying. **Food Research International**, Ottawa, v. 43, n. 1, p. 193-202, Jan. 2010.

SILVA, J. et al. Spray-drying for the production of dried cultures. **International Journal of Dairy Technology**, Huntingdon, v. 64, n. 3, p. 321-335, Aug. 2011.

SILVA, M. V.; DEMCZUK JUNIOR, B.; VISENTAINER, J. V. Produção e caracterização de maltodextrinas e sua aplicação na microencapsulação de compostos alimentícios por *Spray Drying*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 16, n. 1, p. 111-126, jan./jun. 2014.

SILVA, P. I. et al. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 117, n. 4, p. 538-544, Aug. 2013.

SINGH, S.; DIXIT, D. A review on spray drying: emerging technology in food industry. **International Journal of Applied Engineering and Technology**, Jaipur, v. 4, n. 1, p. 1-8, Jan./Mar. 2014.

SOUZA, R. J. et al. **Cultura da beterraba: cultivo convencional e orgânico**. Lavras: Ed. UFLA, 2003. 37 p.

STEVENS, C. V.; MERIGGI, A.; BOOTEN, K. Chemical modification of inulin, a valuable renewable resource, and its industrial applications. **Biomacromolecules**, Washington, v. 2, n. 1, p. 1-16, Feb. 2001.

STRACK, D.; VOGT, T.; SCHLIEMANN, W. Recent advances in betalain research. **Phytochemistry**, London, v. 62, n. 3, p. 247-269, Feb. 2003.

TABELA de composição de alimentos. 4. ed., rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011. 161 p.

THAKUR, V.; GUPTA, D. K. Studies on the clarification and concentration of beetroot juice. **Journal of Food Processing and Preservation**, Malden, v. 30, n. 2, p. 194-207, Apr. 2006.

TIVELLI, S. W. et al. **Beterraba: do plantio à comercialização**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2011. 45 p. (Boletim Técnico, 210).

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

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

VOS, P. de et al. Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components. **International Dairy Journal**, Barking, v. 20, p. 292-302, Apr. 2010.

WRUSS, J. et al. Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 42, p. 46-55, Sept. 2015.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 – USO DE DIFERENTES AGENTES CARREADORES NA
SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE SUCO DE BETERRABA –
CARACTERIZAÇÃO E ESTABILIDADE**

Eloá Lourenço do Carmo¹

Artigo formatado com base na NBR 6022 (ABNT, 2003), conforme é orientado
no Manual de Normalização da UFLA.

¹ eloa ldc@gmail.com. Mestre em Ciência dos Alimentos

Uso de diferentes agentes carreadores na secagem por atomização de suco de beterraba – caracterização e estabilidade

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar características físico-químicas, morfológicas e estabilidade de extrato de beterraba em pó obtido por meio da secagem por atomização utilizando maltodextrina (MD), inulina (IN) e isolado proteico de soro (IPS) como agentes carreadores, isolados ou em combinação (MD:IN, MD:IPS e IN:IPS). Os valores de umidade, teor e retenção de betalaínas estiveram entre 3,33% e 4,24%, 348,79 a 385,47 mg. (100 g b.s.)⁻¹ e 88,45% a 95,69%, respectivamente. Dentre os pigmentos quantificados, houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) apenas quanto ao teor de vulgaxantina-I, apresentando maior valor o tratamento MD:IPS. A atividade antioxidante variou de 60,57% a 85,01%, e os tratamentos em que se utilizou IPS (isolado ou junto com outro agente carreador), apresentaram maiores valores. Na avaliação da morfologia das partículas, verificou-se que todos os tratamentos produziram partículas esféricas de superfície rugosa em sua maioria. Nas isotermas de adsorção a 25 °C, o tratamento com inulina foi o que apresentou maior higroscopicidade. Avaliando as curvas de TGA/DTG, o tratamento em que se utilizou inulina apresentou menor estabilidade térmica. Por outro lado, no armazenamento a 60 °C, o tratamento adicionado de somente IPS foi o menos estável. De modo geral, no tratamento em que se utilizou combinação de IN e IPS, obtiveram-se resultados satisfatórios, representando oportunidade de inovação no setor alimentício, uma vez que a inulina é classificada como prebiótico e o isolado proteico de soro, rico em proteínas, auxilia na redução de gorduras e manutenção da massa muscular no organismo humano.

Palavras-chave: Desidratação. Betalaínas. Inulina. Proteínas lácteas.

1 INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma hortaliça pertencente à família Chenopodiaceae, tendo sua origem em regiões de clima temperado da Europa e Norte da África (BIONDO et al., 2014). O vegetal desperta grande interesse devido aos seus efeitos benéficos para a saúde humana, incluindo: estimulação dos sistemas imune e hematopoiético, anti-inflamatório, propriedades antitumorais e hepatoprotetora (ESCRIBANO et al., 1998; KRAJKA-KUŹNIAK et al., 2012; MARTINEZ et al., 2015). Isso se deve à presença de uma elevada concentração de substâncias antioxidantes denominadas betalaínas, responsáveis, também, pela coloração vermelho-arroxeadada desse vegetal (KANNER; HAREL; GRANIT, 2001).

Um dos parâmetros de qualidade da beterraba está relacionado com os defeitos físicos e o grau desses defeitos que a hortaliça possa apresentar. Com isso, em casos de defeitos mais graves, as beterrabas são descartadas, independentemente de sua qualidade nutricional e sanitária, caracterizando um tipo de perda pós-colheita. Como forma de aproveitamento desse resíduo, a secagem por atomização, ou *spray drying*, pode ser considerada uma alternativa viável. Assim, pode ser obtido um extrato de beterraba em pó com considerável teor de betalaínas (JANISZEWSKA; WLODARCZYK, 2013), possibilitando o uso como aditivo alimentar, seja para conferir coloração desejável ou enriquecer um produto com propriedades funcionais (RAVICHANDRAN et al., 2013), atendendo, ainda, à crescente tendência por parte dos consumidores em buscar alimentos contendo ingredientes de fontes naturais (JANISZEWSKA, 2014).

A secagem por atomização de suco de beterraba sem adição de carreadores se torna difícil devido à presença de componentes de baixo peso molecular e baixa temperatura de transição vítrea, como sacarose, frutose, glicose e ácidos (BHANDARI et al., 1993; JANISZEWSKA, 2014). Esses compostos podem se aderir nas paredes da câmara de secagem, durante o

processo, resultando em problemas operacionais e baixo rendimento do produto final (JANISZEWSKA, 2014). Os agentes carreadores possuem elevado peso molecular e são úteis para aumentar a temperatura de transição vítrea do material a passar pela secagem, evitando esses e outros problemas, tais como formação de aglomerados e cristalização, durante o processamento e estocagem do produto, o que é importante, especialmente, no caso de produtos ricos em açúcares (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

A maltodextrina é um agente carreador muito utilizado em processos de secagem por atomização, de baixo custo (SINGH; DIXIT, 2014), sabor neutro e baixa viscosidade em altas concentrações de sólidos em solução (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014). O isolado proteico de soro (IPS) apresenta uma porcentagem de proteínas superior a 90% (PAGNO et al., 2009), sendo constituído, principalmente, por β -lactoglobulina e α -lactoalbumina (KHEM; SMALL; MAY, 2016). Ao entrar em contato com o ar aquecido, ao longo da secagem por atomização, o IPS forma imediatamente uma película ao redor da partícula (ADHIKARI et al., 2009), sendo de grande interesse sua aplicação na secagem de suco de beterraba, uma vez que possibilita aumentar o rendimento do processo por evitar a adesão dos compostos de baixa peso molecular nas paredes da câmara do secador, além de auxiliar na redução de gorduras e manutenção da massa muscular no organismo humano (FRESTEDT et al., 2008). Estudos envolvendo o uso da inulina como agente carreador têm crescido, nos últimos anos, a qual apresenta boas propriedades tecnológicas para uso em processos como a secagem por atomização (BOTREL et al., 2014; FERNANDES et al., 2017; STEVENS; MERIGGI; BOOTEN, 2001), além de ser classificada como prebiótico, característica de interesse, contribuindo para elaboração e desenvolvimento de alimentos funcionais (NAZZARO et al., 2012).

Uma das formas de garantir a qualidade e estabilidade do produto em pó, obtido por meio da secagem por atomização, consiste na escolha adequada do agente carreador a ser utilizado no processo, ou ainda, combinação de diferentes agentes carreadores. Existem diversas alternativas de materiais a serem empregados como agentes carreadores e, assim, torna-se importante o estudo da aplicação de novas blendas poliméricas e a interação entre os materiais que as compõem, o que influencia diretamente as características do produto obtido ao final do processo de secagem e sua estabilidade. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes carreadores sobre as características físico-químicas, morfológicas e estabilidade de extrato de beterraba em pó obtido por meio da secagem por atomização.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

As beterrabas foram adquiridas no comércio local da cidade de Lavras – MG. Maltodextrina com dextrose equivalente (DE) 10 (Cassava S. A., Maripá, PR, Brasil); inulina, com grau de polimerização (DP) maior que 10 (Orafti®GR, BENEIO-Orafti, Tienen, Bélgica); e isolado proteico de soro com teor de proteínas de 90% (Hilmar, USA), foram utilizados como agentes carreadores no processo de secagem por atomização.

2.2 Preparo das soluções para secagem

As beterrabas foram lavadas, descascadas, e o suco de beterraba foi obtido com auxílio de uma centrífuga processadora de alimentos (Philips Walita Juicer modelo RI1858, Royal Philips Electronics, Barueri, Brasil), sendo filtrado em organza e depois a vácuo em papel filtro qualitativo, para eliminação de sólidos em suspensão. Os agentes carreadores (maltodextrina, inulina e/ou isolado proteico de soro) foram adicionados ao suco de beterraba, sob agitação a 5000 rpm, durante 5 minutos, utilizando homogeneizador (Ultra-Turrax IKA T18 basic, Wilmington, EUA). A solução obtida foi utilizada como alimentação no processo de secagem por atomização.

2.3 Secagem por atomização

A secagem das soluções foi realizada utilizando um secador por atomização (modelo MSD 1.0; Labmaq do Brasil, Ribeirão Preto, Brasil) equipado com bico atomizador de duplo fluido. A temperatura de entrada do ar de secagem e a vazão de alimentação foram 150 °C e 0,8 L.h⁻¹, respectivamente, sendo estes valores determinados a partir de testes preliminares (dados não apresentados), e o fluxo do ar de secagem foi de 35 L.min⁻¹, de acordo com

recomendação do fabricante. A temperatura de saída do ar medida foi de 96 ± 4 °C.

2.4 Planejamento experimental

O experimento foi conduzido com três repetições, e as medidas das análises realizadas em triplicata, em delineamento inteiramente casualizado, conforme demonstra a Tabela 1. O teor de agentes carreadores foi de 15% (m/m), em relação à solução final, definido a partir de testes preliminares (dados não apresentados).

Tabela 1 - Composição das soluções que foram submetidas ao processo de secagem por atomização.

| Tratamento | Agente carreador (g.100 g ⁻¹ de solução) | | | Suco de beterraba (g.100 g ⁻¹ de solução) |
|------------|---|---------|-----|--|
| | Maltodextrina | Inulina | IPS | |
| MD | 15 | - | - | 85 |
| IN | - | 15 | - | 85 |
| IPS | - | - | 15 | 85 |
| MD:IN | 7,5 | 7,5 | - | 85 |
| MD:IPS | 7,5 | - | 7,5 | 85 |
| IN:IPS | - | 7,5 | 7,5 | 85 |

2.5 Análises físico-químicas e morfológicas das partículas

2.5.1 Umidade

O método gravimétrico foi utilizado, para determinação do teor de umidade dos pós, de acordo com a Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2007) para alimentos. Após secagem de 2,5 g de amostra em estufa a 105 °C até peso constante, a porcentagem de perda de peso foi obtida e o teor de umidade (%) calculado.

2.5.2 Teor de Betalaínas e Retenção

Foi aplicado o método espectrofotométrico descrito por Elbe (2001), utilizando espectrofotômetro (Shimadzu UV-VIS SP 2000, Bel Photonics, Piracicaba, Brasil) para determinação do teor de betacianinas (pigmento violeta) e betaxantinas (pigmento amarelo), expressos em termos de betanina e vulgaxantina-I, respectivamente. A concentração total de betalaínas no extrato de beterraba foi calculada a partir da soma de betacianinas e betaxantinas, e todos os resultados foram apresentados em base seca (b.s.). 1g de amostra foi diluída 500 vezes em tampão fosfato 0,05 M (pH 6,5) e, em seguida, obteve-se a leitura das absorvâncias nos comprimentos de onda de 538 nm e 476 nm, utilizadas para calcular as concentrações de betanina e vulgaxantina-I, respectivamente. Além disso, a absorvância em 600 nm foi obtida e utilizada para correção dos valores de absorvância obtidos devido a pequenas quantidades de impurezas que possam estar presentes nas amostras. As equações utilizadas para o cálculo estão descritas abaixo.

$$C_B = \left\{ \frac{[1,095*(A_{538} - A_{600})]*f_d*1000}{1120} \right\} * \frac{1}{TST} \quad (1)$$

$$C_{V-I} = \left\{ \frac{(A_{476} - 0,258*A_{538} - 0,742*A_{600})*f_d*1000}{750} \right\} * \frac{1}{TST} \quad (2)$$

$$C_T = C_B + C_{V-I} \quad (3)$$

sendo C_B concentração de betanina, C_{V-I} concentração de vulgaxantina-I e C_T concentração total de betalaínas, todas expressas em mg.(100 g b.s.)⁻¹. Os valores de 1,095, 0,258 e 0,742 correspondem a fatores de correção, e A_{476} , A_{538} e A_{600} correspondem à absorvância da amostra em 476, 538 e 600 nm, respectivamente. O termo f_d representa o fator de diluição e foi incluída a

multiplicação por 1000 para conversão do resultado de gramas para miligramas. 1120 e 750 são os valores de absorvidade ($A^{1\%}$) para betanina e vulgaxantina-I nos comprimentos de onda de 538 e 476 nm, respectivamente. Para obtenção dos resultados em base seca, a concentração dos pigmentos foi dividida pelo teor de sólidos totais (TST) calculado para cada tratamento.

A porcentagem de retenção de betalaínas (RB, %) nas micropartículas foi calculada da seguinte forma:

$$RB = \frac{C_{T,pó}}{C_{T,solução}} * 100 \quad (4)$$

em que $C_{T,pó}$ e $C_{T,solução}$ correspondem à concentração total (em base seca) de betalaínas no pó e na solução anterior à secagem, respectivamente.

2.5.3 Atividade Antioxidante

A atividade antioxidante dos diferentes tratamentos de extrato de beterraba em pó foi determinada a partir do monitoramento do consumo do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH), o qual foi realizado conforme metodologia descrita por Dima et al. (2014), com algumas modificações. A amostra foi homogeneizada em solução água:etanol (2:1, v/v) com o uso de sonificador (Branson Digital Sonifier®, Model S-450D, Branson Ultrasonics Corporation, Danbury, USA), durante 1 minuto, a uma potência de 200 W, obtendo-se um extrato na concentração de $1,6 \text{ g.L}^{-1}$. Foi retirada desta solução uma alíquota de 3 mL e adicionada em 2 mL de solução etanólica de DPPH (0,1mM), em tubo de ensaio, seguida de uma completa agitação com o auxílio de vórtex, em alta velocidade por 10 segundos. As misturas foram mantidas em ambiente protegidos da luz durante 1 h e, então, obteve-se a absorbância a 515 nm de cada mistura, de cada tratamento. A atividade antioxidante (AA, %) foi obtida por meio da seguinte equação:

$$AA (\%) = 100 - \left[\left(\frac{A_a - A_b}{A_c} \right) * 100 \right] \quad (5)$$

sendo A_a , A_b e A_c as absorvâncias obtidas em 515 nm da amostra, do branco e do controle, respectivamente. O branco corresponde à solução contendo 3mL de extrato e 2 mL de etanol, e o controle, 3 mL de etanol e 2 mL de solução etanólica de DPPH.

2.5.4 Morfologia das partículas

A análise da morfologia das partículas foi realizada, por meio da observação de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras foram montadas em *stubs* de alumínio com fita dupla-face de carbono, metalizadas em aparelho evaporador de ouro (SCD 050) e observadas no microscópio eletrônico de varredura (LEO EVO 40 XVP, Carl Zeiss) do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da UFLA.

2.6 Estabilidade

Foram realizados três procedimentos como forma de avaliação da estabilidade dos pós: isotermas de adsorção, análise termogravimétrica e estabilidade acelerada. Além disso, o suco de beterraba sem adição de agentes carreadores foi seco por meio de um liofilizador (vácuo de 0,420 mBar e temperatura de -50 °C, modelo LABCONCO FreeZone 2.5, Canadá), como forma de se obter um tratamento-controle, ou seja, para avaliar como a presença dos agentes carreadores no extrato de beterraba em pó influencia na estabilidade deste, comparando-o com o suco de beterraba liofilizado (SBL) sem adição desses agentes. A obtenção desse tratamento-controle não foi realizada por meio da secagem por atomização, pois isso não é possível em razão dos diversos compostos de baixa temperatura de transição vítrea presentes na beterraba que

podem se aderir às paredes do secador, resultando em baixo rendimento do processo.

2.6.1 Isotermas de adsorção

Foram determinadas as isotermas de adsorção por método gravimétrico estático na temperatura de 25 °C, utilizando soluções salinas saturadas (LiCl, MgCl₂, K₂CO₃, Mg(NO₃)₂, NaCl, KCl), com atividade de água (a_w) variando entre 0,11 a 0,84. Os dados da isoterma de adsorção de umidade foram correlacionados com a atividade de água, por meio dos modelos matemáticos de Guggenheim, Anderson e de Boer (GAB), Halsey, Smith e Oswin.

2.6.2 TGA/DTG

As curvas referentes à análise termogravimétrica (TGA/DTG) foram obtidas por meio de analisador térmico (Shimadzu-DTG 60 H) nas seguintes condições: atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo de 50 mL.min⁻¹; taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹; faixa de temperatura de 25 a 550 °C. Foram utilizados, aproximadamente, 5 mg de amostra para a realização das análises.

2.6.3 Estabilidade acelerada

A estabilidade acelerada ao longo do armazenamento, foi determinada conforme metodologia descrita por Vergara et al. (2014), com algumas modificações. 2,5 g de extrato de beterraba em pó de cada tratamento foram acondicionados em saco plástico transparente de polipropileno devidamente selado, de dimensões 7 x 10 cm e armazenados em BOD a uma temperatura de 60 ± 1 °C. As amostras foram caracterizadas (em triplicata) quanto à coloração e teor de betalaínas a cada semana até completar cinco semanas de armazenamento. Posteriormente, as caracterizações foram realizadas após 7, 11 e 15 semanas de armazenamento. Para a coloração, foi calculada a diferença (ΔE^*) entre os parâmetros L*, a* e b* obtidos por meio de colorímetro

(Spectrophotometer CM-5, Konica Minolta, Japan), no tempo estudado em relação ao tempo inicial, de acordo com a equação abaixo (ESTUPIÑAN; SCHWARTZ; GARZÓN, 2011):

$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]} \quad (7)$$

Para a betanina, foi calculado o tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), de acordo com as Equações 8 e 9, descritas por Tonon, Brabet e Hubinger (2010), considerando a reação de degradação da betanina como sendo de primeira ordem, conforme estudo realizado por Popa, Moldovan e David (2015).

$$kt = -\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) \quad (8)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (9)$$

em que C_0 e C_t correspondem à concentração de betanina inicial e no tempo t , respectivamente, e k é a constante de velocidade da reação de primeira ordem.

2.7 Análises estatísticas

O software Statistica (ver. 8.0, Stat. Soft. Inc., Tulsa, EUA) foi utilizado para análise de variância, como forma de avaliação dos efeitos dos diferentes agentes carreadores nas propriedades dos extratos de beterraba em pó obtidos por meio da secagem por atomização. A partir do teste de médias de Duncan, foram avaliadas diferenças entre os valores médios obtidos de cada propriedade, em nível de 5 % de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Os parâmetros das equações ajustadas nas isotermas de adsorção foram estimados, correlacionando os modelos matemáticos aos dados experimentais, utilizando uma regressão não linear Quasi-Newton em nível de 5 % de significância. O modelo mais adequado foi considerado com base no coeficiente

de determinação (R^2) e no módulo do desvio relativo médio (E), definido pela equação:

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|m_i - m_{pi}|}{m_i} \quad (6)$$

em que m_i é o valor experimental, m_{pi} é o valor predito e N é a população dos dados experimentais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização físico-química e morfológica das partículas

Os valores obtidos para umidade dos diferentes tratamentos estão expressos na Tabela 2 e estiveram dentro de uma faixa ideal (todos os valores abaixo de 5%), que garante maior estabilidade do produto em pó (COUTO et al., 2013). De maneira geral, os tratamentos em que se utilizou IPS como agente carreador, apresentaram valores de umidade maiores. Isso pode ser explicado pela maior capacidade das proteínas em manter umidade aprisionada nas partículas (JAYASUNDERA et al., 2009). Efeito semelhante foi encontrado por Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014), ao utilizar maltodextrina, goma arábica e concentrado proteico de soro de leite como agentes carreadores, na secagem por atomização de polpa de tamarindo. A umidade em materiais em pó é considerada uma característica importante por interferir na fluidez, pegajosidade e estabilidade ao longo do armazenamento em virtude da sua influência no comportamento da transição vítrea e cristalização (BAZARIA; KUMAR, 2016). Valores próximos aos obtidos no presente estudo foram encontrados, também, por Vergara et al. (2014), na secagem por atomização de pera espinhosa, utilizando amido modificado como agente carreador.

Tabela 2 - Propriedades químicas dos extratos de beterraba em pó.

| Tratamentos | Umidade (%) | Vulgaxantina-I (mg.(100 g b.s.)⁻¹) | Betanina (mg.(100 g b.s.)⁻¹) | Betalainas (mg.(100 g b.s.)⁻¹) | Retenção (%) | A.A. (%) |
|--------------------|---------------------------|--|--|--|---------------------------|---------------------------|
| MD | 3,37 ± 0,24 ^d | 143,74 ± 4,41 ^{ab} | 223,86 ± 7,15 ^a | 367,60 ± 11,56 ^a | 91,6 ± 2,88 ^a | 66,25 ± 1,84 ^c |
| IN | 3,33 ± 0,02 ^d | 136,86 ± 10,88 ^b | 211,93 ± 12,56 ^a | 348,79 ± 21,43 ^a | 88,6 ± 5,45 ^a | 60,57 ± 4,69 ^d |
| IPS | 3,81 ± 0,27 ^{bc} | 151,63 ± 8,54 ^{ab} | 217,69 ± 13,93 ^a | 369,32 ± 22,42 ^a | 91,34 ± 5,54 ^a | 78,19 ± 2,42 ^b |
| MD:IN | 3,58 ± 0,26 ^{cd} | 138,43 ± 13,11 ^b | 213,10 ± 18,04 ^a | 351,53 ± 30,91 ^a | 88,45 ± 7,78 ^a | 72,71 ± 4,34 ^b |
| MD:IPS | 4,16 ± 0,19 ^{ab} | 155,37 ± 3,28 ^a | 230,10 ± 0,39 ^a | 385,47 ± 3,30 ^a | 95,69 ± 0,82 ^a | 78,40 ± 2,37 ^b |
| IN:IPS | 4,24 ± 0,10 ^a | 149,49 ± 2,50 ^{ab} | 218,38 ± 10,26 ^a | 367,87 ± 12,76 ^a | 92,21 ± 3,2 ^a | 85,01 ± 0,47 ^a |

^{a,b,c,d} Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente (p>0,05) pelo teste de Duncan.

O teor de betalaínas (Tabela 2) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos ($p > 0,05$). Valores menores foram observados no estudo realizado por Bazaria e Kumar (2016), quando se utilizou concentrado proteico de soro como agente carreador na secagem por atomização de suco de beterraba concentrado, os quais estiveram na faixa de 261,94 a 272,54 mg.100g⁻¹. Deve-se considerar possíveis diferenças entre as beterrabas utilizadas nos estudos, pois podem variar seu teor de betalaínas, de acordo com fatores tais como época do ano e local de cultivo, estágio de maturação no momento da colheita, características do solo, dentre outros (STINTZING; CARLE, 2004).

Em relação aos pigmentos, apenas os teores de vulgaxantina-I apresentaram diferença significativa ($p \leq 0,05$), sendo o maior valor observado para o tratamento MD:IPS. Uma possível explicação é descrita por Adhikari et al. (2009), os quais observaram que, durante a secagem por atomização de sacarose, formou-se uma película do IPS ao redor das partículas, imediatamente após entrar em contato com o ar de secagem, inclusive, mais rápido comparado à maltodextrina. Sendo assim, no presente estudo, a rápida formação da película de IPS pode ter-se resultado em uma barreira de proteção maior à vulgaxantina-I, que promoveu maior teor do pigmento na matriz das partículas. Além disso, a presença da maltodextrina nesse tratamento também pode ter contribuído para obtenção desse resultado, uma vez que este material apresenta boa capacidade de estabilização dos componentes, reduzindo a mobilidade dos mesmos em sua matriz (ESTUPIÑAN; SCHWARTZ; GARZÓN, 2011).

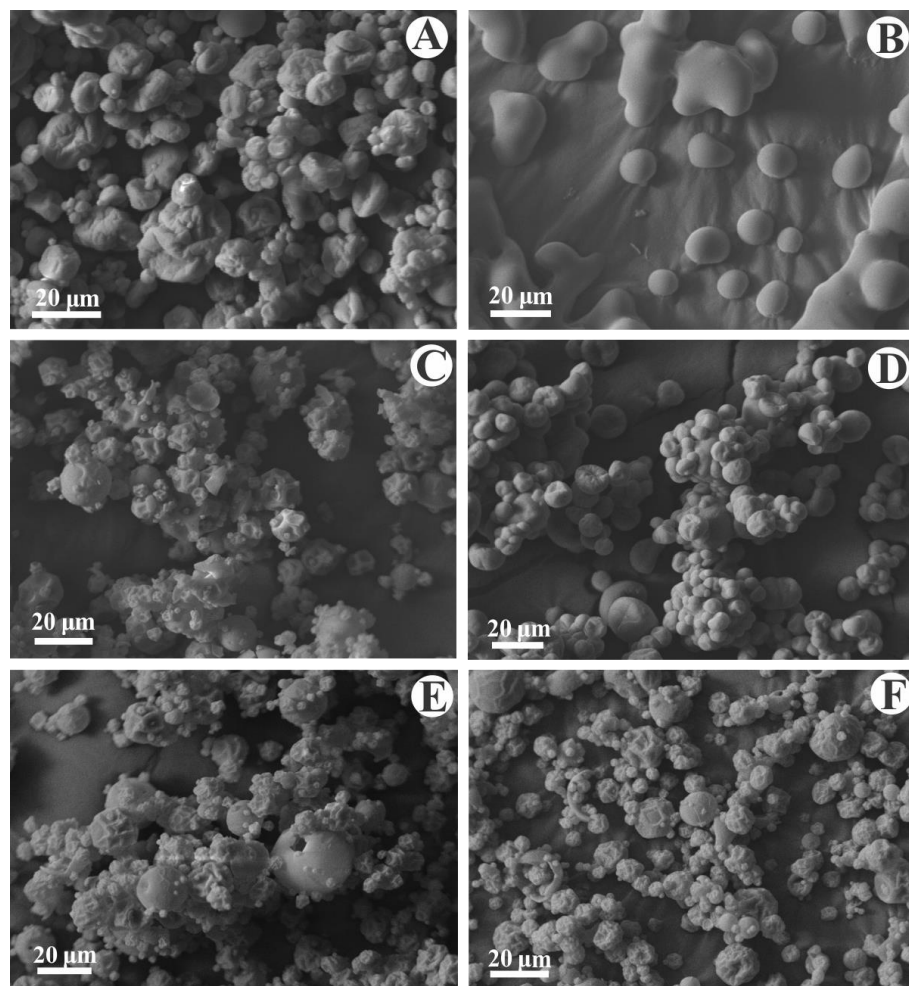
Os tratamentos mostraram elevados valores de retenção de betalaínas (Tabela 2), não apresentando diferença significativa entre si ($p > 0,05$). Pitalua et al. (2010) encontraram valor semelhante para retenção de betalaínas na secagem de suco de beterraba utilizando goma arábica como agente carreador. Na secagem por atomização de antocianinas extraídas da casca de jabuticaba utilizando maltodextrina, goma arábica e amido modificado como agentes

carreadores, também foi observado bons resultados (todos acima de 80 %) para retenção dos pigmentos (SILVA et al., 2013). A elevada capacidade de retenção de compostos bioativos por parte dos agentes carreadores é uma característica de interesse do ponto de vista industrial, uma vez que possibilita o uso de uma quantidade considerável desses compostos comparado àquela presente no vegetal in natura, em uma forma mais estável, para aplicação em matrizes alimentícias.

Os tratamentos IPS, MD:IPS e IN:IPS foram os que apresentaram os maiores valores para a atividade antioxidante, sendo o maior valor obtido para o tratamento IN:IPS (Tabela 2). Foi observada uma correlação direta entre os valores de atividade antioxidante e umidade, ou seja, tratamentos com menores valores de umidade apresentaram menores atividades antioxidantes. Maior valor de umidade pode ter aumentado a mobilidade dos componentes na matriz das partículas, facilitando a ocorrência de reações físico-químicas, como a Reação de Maillard. A beterraba apresenta em sua constituição elevado teor de açúcares, e a presença deles junto às proteínas do agente carreador (IPS) pode ter resultado na ocorrência dessa reação que, geralmente, ocorre durante o processamento de alimentos a elevadas temperaturas ou durante o armazenamento do produto alimentício por um longo período de tempo (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010). Com isso, são formados compostos ao longo da reação que apresentam atividade antioxidante (GU et al., 2009). Tonon, Brabet e Hubinger (2010) também citaram a possível ocorrência de reações de Maillard, ao observarem um aumento na atividade antioxidante nos pós de açaí obtidos por meio da secagem por atomização, utilizando maltodextrina, goma arábica e amido de tapioca como agentes carreadores. Fernandes et al. (2014) encontraram valores de atividade antioxidante entre 82,92 % e 88,54 % em extratos de folhas de goiabeira secos por atomização utilizando maltodextrina, dióxido de silício coloidal, β -ciclodextrina e goma arábica como agentes carreadores.

A Figura 1 apresenta as imagens obtidas por meio de microscopia eletrônica de varredura. Ao observar a morfologia das partículas do tratamento IN, pelo fato da inulina apresentar maior característica higroscópica, comparada aos demais agentes carreadores em estudo, observou-se um início de solubilização e conseqüente aglomeração de grande parte das partículas (FIGURA 1B). Essa aglomeração é devido à presença de uma interface líquida entre as partículas, resultado da adsorção de água na sua superfície (BARCLAY et al., 2010; RONKART et al., 2009). Ao analisar imagens de partículas óleo essencial de orégano, obtidas por meio da secagem por atomização, utilizando diferentes concentrações de inulina e temperaturas de entrada do ar, Beirão-da-Costa et al. (2013) notaram o mesmo comportamento de aglomeração das partículas. Os demais tratamentos no presente estudo apresentaram partículas com superfície irregular, no entanto sem rachaduras ou fissuras. Na secagem por atomização de compostos bioativos de açafraão, utilizando maltodextrina, goma arábica e gelatina como agentes carreadores, também foram observadas partículas com superfícies irregulares (RAJABI et al., 2015). Como forma de reduzir a aglomeração das partículas do tratamento IN, pode-se realizar uma combinação de agentes carreadores, utilizando junto com a inulina materiais que amenizem a característica higroscópica da inulina, conforme pode ser visualizado nas imagens obtidas para os tratamentos MD:IN e IN:IPS (Figuras 1D e 1F, respectivamente). Ou seja, estes tratamentos produziram micropartículas com menor efeito de aglomeração, mesmo na presença da inulina.

Figura 1 - Micrografias de partículas dos extratos de beterraba em pó. (A) MD, (B) IN, (C) IPS, (D) MD:IN, (E) MD:IPS, (F) IN:IPS



3.2 Estabilidade

O principal desafio na produção de materiais em pó por meio da secagem por atomização consiste no alcance de produtos com características desejáveis, sob custos reduzidos (FERNANDES et al., 2017). No entanto, é

importante, também, a determinação da estabilidade dos pós, avaliando o seu comportamento frente a determinadas condições, como forma de se prever possíveis alterações e garantir a manutenção da qualidade dos pós ao longo de seu armazenamento.

3.2.1 Isotermas de adsorção

A estabilidade química, física e microbiológica dos alimentos depende do conteúdo de água e sua interação com os componentes dos mesmos. Em especial, no caso de materiais em pó, suas propriedades são significativamente afetadas pela adsorção ou dessorção de água. A isoterma de adsorção de umidade relaciona a atividade de água e o conteúdo de umidade correspondente a uma temperatura constante, e cada material apresenta características únicas e devem ser avaliadas experimentalmente (FERNANDES et al., 2017; SILVA et al., 2014).

Os dados experimentais obtidos das isotermas de adsorção de umidade a 25 °C dos extratos de beterraba em pó e do suco de beterraba liofilizado foram ajustados em modelos matemáticos e, então, os parâmetros das equações foram estimados, o coeficiente de determinação (R^2) e módulo do desvio relativo médio (E) foram obtidos, conforme demonstrado na Tabela 3.

As isotermas de adsorção de umidade dos extratos de beterraba em pó foram melhor ajustadas ao modelo de GAB por apresentarem menor desvio relativo médio (E) e maior coeficiente de determinação (R^2). A partir disso, as curvas das isotermas de adsorção também foram construídas, conforme apresentado na Figura 2. Resultado semelhante foi encontrado por Flores, Singh e Kong (2014), na secagem por atomização de extrato de bagaço de mirtilo, utilizando isolado proteico de soro como agente carreador.

O modelo de GAB desperta interesse por descrever de maneira satisfatória o comportamento de isotermas de sorção em uma ampla faixa de

atividade de água (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2002), além de informar o teor de umidade da monocamada (X_m), parâmetro importante quando se refere a produtos desidratados. Esse valor corresponde à quantidade de água fortemente adsorvida em sítios específicos do material, considerado um valor relevante para assegurar a estabilidade do alimento (TONON et al., 2009), que proporciona o maior período de tempo com o mínimo de perda de qualidade, numa dada temperatura.

Os valores obtidos de X_m para os diferentes tratamentos apresentaram diferença significativa entre si ($p \leq 0,05$) e o maior valor encontrado foi para o tratamento IN. Isto indica maior disponibilidade de sítios específicos em ligação com a água, o que está de acordo com a característica da inulina, a qual apresenta grande número de grupos hidrofílicos em sua constituição (BOTREL et al., 2014). Por outro lado, os tratamentos em que se utilizaram dois tipos de agentes carreadores apresentaram os menores valores de X_m .

De acordo com Gabas et al. (2007), a presença de aditivos em polpa de fruta, provavelmente, modifica o balanço de sítios hidrofílicos/hidrofóbicos, promovendo menor quantidade de água adsorvida pelo produto, o que também pode ter acontecido no extrato de beterraba em pó, especialmente, no caso desses tratamentos em que se utilizaram dois agentes carreadores simultaneamente. Deve-se considerar ainda que, no caso de biopolímeros, ocorrem mudanças estruturais na matriz do polímero em razão do intumescimento durante a secagem (PÉREZ-ALONSO et al., 2006). Sendo assim, o uso de diferentes agentes carreadores, no mesmo tratamento, pode ter resultado na alteração de suas estruturas por meio do rearranjo molecular e, conseqüentemente, menor disponibilização de sítios hidrofílicos nos tratamentos e menor teor de umidade da monocamada. Os valores de X_m encontrados no presente estudo estiveram dentro da faixa encontrada por Souza et al. (2015) (4,0 a 10,61 g.(100g b.s.), ao avaliar partículas obtidas por meio da secagem por

atomização de extrato concentrado de subprodutos de vinificação de uvas vermelhas (*Vitis labrusca*).

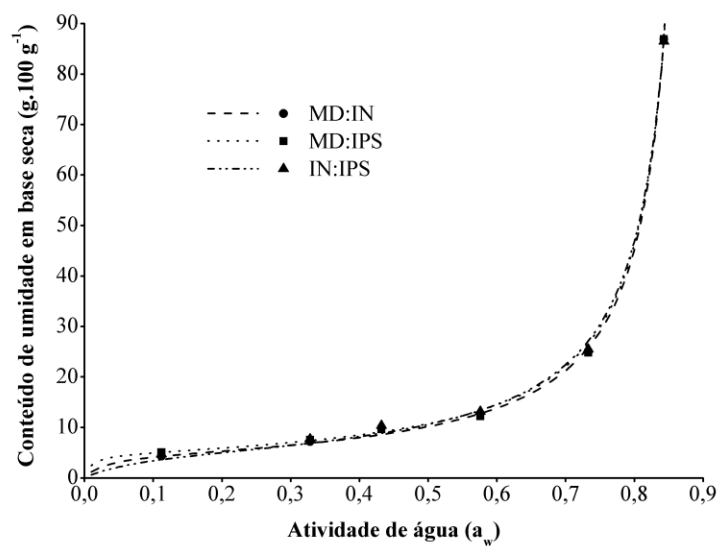
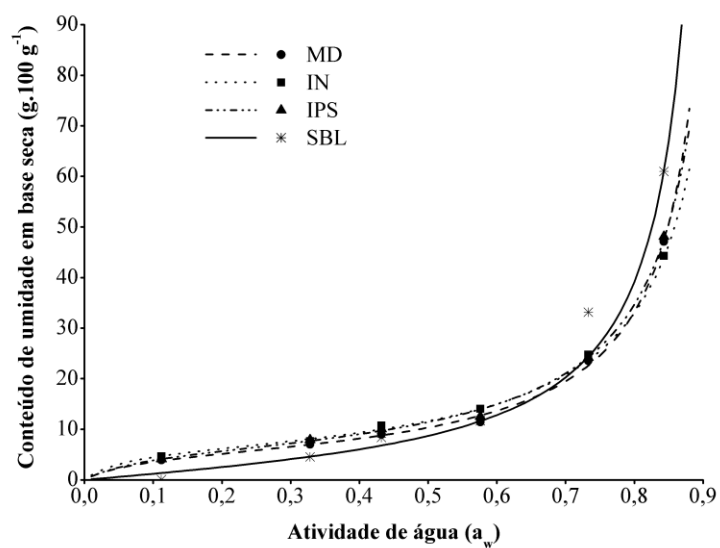
Tabela 3 - Valores estimados dos parâmetros e coeficientes estatísticos para os modelos matemáticos de GAB, Halsey, Smith e Oswin.

| Equação | | Tratamentos | | | | | | |
|--|---|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| | | MD | IN | IPS | MD:IN | MD:IPS | IN:IPS | SBL |
| $X_{eq} = \frac{X_m CKa_w}{(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)}$ GAB | X_m | 5,56 ^{cd} | 6,60 ^a | 6,13 ^b | 4,88 ^e | 4,84 ^e | 5,26 ^{de} | 6,01 ^{bc} |
| | C | 8,15 | 8,04 | 11,87 | 18,01 | 57,36 | 29,78 | 1,77 |
| | K | 1,05 | 1,01 | 1,04 | 1,12 | 1,12 | 1,11 | 1,08 |
| | E | 5,44 | 6,08 | 3,26 | 7,63 | 5,96 | 4,48 | 7,45 |
| | R² | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,97 |
| $X_{eq} = \left(\frac{a}{\ln a_w}\right)^{1/b}$ Halsey | a | 3,70 | 4,80 | 4,50 | 4,35 | 4,40 | 4,99 | 1,45 |
| | b | 1,05 | 1,11 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 1,11 | 0,72 |
| | E | 6,81 | 4,14 | 5,89 | 12,71 | 15,31 | 12,89 | 7,00 |
| | R² | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,92 | 0,91 | 0,92 | 0,98 |
| | $X_{eq} = a + b \log(1 - a_w)$ Smith | a | 5,73 | 4,28 | 2,63 | 4,96 | 6,09 | 6,10 |
| b | | 12,31 | 22,53 | 31,26 | 15,76 | 9,58 | 11,08 | 23,05 |
| E | | 34,75 | 21,80 | 12,26 | 37,42 | 33,99 | 36,32 | 28,75 |
| R² | | 0,91 | 0,95 | 0,92 | 0,79 | 0,78 | 0,79 | 0,96 |
| $X_{eq} = a \left[\frac{a_w}{(1-a_w)}\right]^b$ Oswin | | a | 10,73 | 9,42 | 11,99 | 11,40 | 9,54 | 9,42 |
| | b | 0,57 | 1,00 | 0,55 | 0,60 | 1,04 | 1,00 | 1,09 |
| | E | 14,57 | 28,10 | 12,06 | 19,71 | 31,54 | 30,15 | 7,17 |
| | R² | 0,94 | 0,97 | 0,94 | 0,84 | 0,90 | 0,89 | 0,99 |

X_{eq}: teor de umidade no equilíbrio (g.100g⁻¹ b.s.); X_m: teor de umidade da monocamada (g.100g⁻¹ b.s.); C, K: constantes do modelo em relação à monocamada e suas propriedades; a_w: atividade de água; a, b: parâmetros do modelo; E: módulo do desvio relativo médio; R²: coeficiente de determinação. SBL: suco de beterraba liofilizado. ^{a,b,c,d,e} Médias seguidas por letras iguais na mesma linha não diferem significativamente (p>0,05) pelo teste de Duncan.

Conforme pode ser visualizado na Figura 2, à medida que a atividade de água aumenta, a umidade adsorvida pelas partículas dos extratos de beterraba em pó também aumenta. Sendo assim, analisando o formato das curvas obtidas, a isoterma de adsorção do suco de beterraba liofilizado (SBL) se apresentou do tipo III (não sigmoidal), enquanto as demais foram do tipo II (sigmoidal) (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2002). As isotermas de adsorção de materiais biológicos e alimentícios, normalmente, apresentam curvas no formato sigmoidal, enquanto alguns materiais cristalinos, como açúcares, podem ter uma adsorção de umidade relativamente baixa até que a atividade de água se torne suficiente para solubilização, e a adsorção aumente. Tal isoterma segue o comportamento do tipo III (ROSS, 1995), como aconteceu com o SBL. Na secagem por atomização de polpa de morango, utilizando maltodextrina, goma arábica e amido modificado como agentes carreadores, Oliveira et al. (2013) encontraram formato tipo III nas curvas de isotermas de adsorção, enquanto Guadarrama-Lezana et al. (2014) observaram curvas do tipo II, ao avaliar partículas de suco de beterraba secas por atomização, utilizando goma arábica como agente carreador.

Figura 2 - Isotermas de adsorção de umidade ajustadas pelo modelo de GAB. Linhas representam os modelos de GAB ajustados, e os pontos, os dados experimentais, de cada tratamento.



De forma geral, os tratamentos apresentaram mudança de estado (ou coloração, no caso do tratamento IPS) a partir da $a_w=0,733$ (FIGURA 3), exceto aqueles em que se utilizaram maltodextrina e inulina (MD:IN) e inulina (IN) como agentes carreadores, e o suco de beterraba liofilizado (SBL). O tratamento MD:IN apresentou alteração de sua estrutura a partir da $a_w=0,576$, enquanto o tratamento IN apresentou aglomeração do material já na menor atividade de água ($a_w=0,112$). O SBL teve início de mudança de fase nesta mesma atividade de água. É interessante observar que, ao se utilizar apenas inulina como agente carreador, os pós apresentaram mudança de estado, quando armazenados atividades de água menores, ainda que sua umidade de equilíbrio nestas condições se apresentasse bastante próxima aos demais tratamentos (Figura2). Ou seja, o tratamento IN foi o menos estável, quando armazenado em ambientes com diferentes umidades relativas. Com isso, verifica-se a importância de se avaliar o efeito da umidade no comportamento de cada material, uma vez que a mudança de fase em função da adsorção de umidade é característica de cada biopolímero (FERNANDES; BORGES; BOTREL, 2014). Amostras não adicionadas de nenhum agente carreador, como o SBL, apresentam maior higroscopicidade, sendo esta característica considerada fator crítico para a estabilidade no armazenamento das micropartículas, pois apresentam maior tendência em adsorver umidade do ambiente, o que facilita ocorrência de reações de degradação de compostos (SOUZA et al., 2014; VERGARA et al., 2014). Isto reforça a necessidade do uso de agentes carreadores para obtenção do extrato de beterraba em pó.

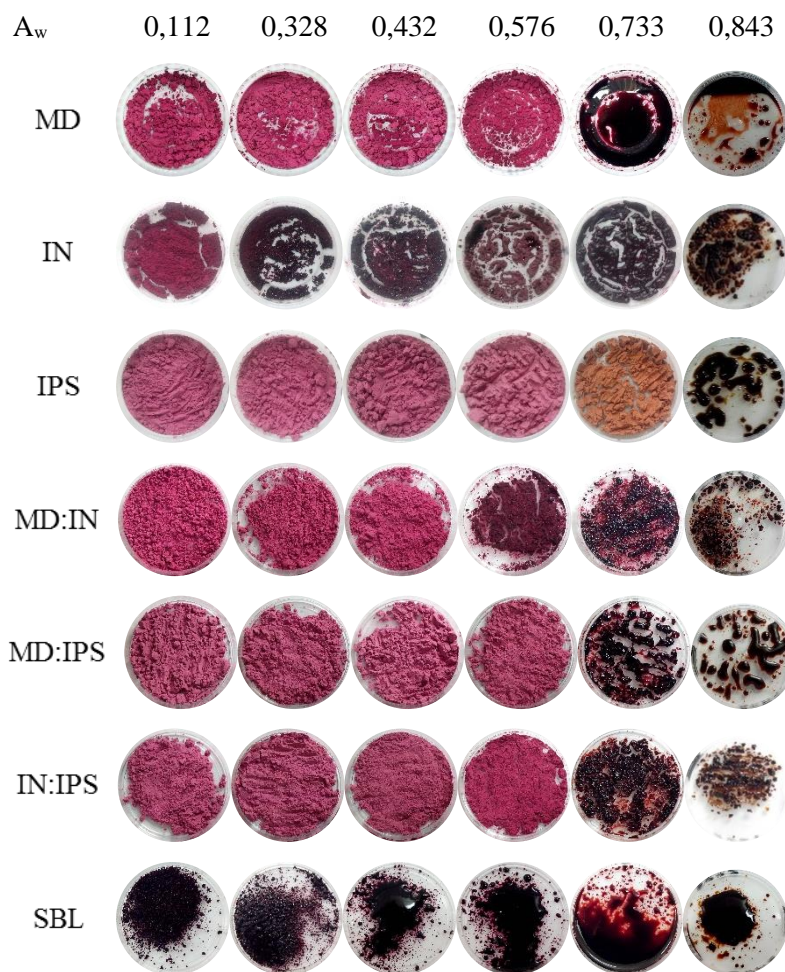
Outro fato que merece destaque é a alteração da cor dos pós em maiores atividades de água. Com a elevada adsorção de umidade, pode ter favorecido a hidrólise das betaninas, resultando em ácido betalâmico, que se apresenta na cor amarela (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006). Otálora et al. (2016) observaram que hidrólise foi o principal mecanismo de degradação de betalaína

encapsulada levando à formação de ácido betalâmico durante o armazenamento em elevadas umidades relativas.

O tratamento IPS foi o único tratamento que apresentou mudança na coloração dos pós na $a_w=0,733$, apesar de não ter apresentado característica de aglomeração entre as partículas como nos demais tratamentos. Além da hidrólise das betalaínas em ácido betalâmico, outra possível causa da mudança de coloração das partículas desse tratamento pode ser atribuída à ocorrência da reação de Maillard. Quanto maior a adsorção de umidade pelas partículas, maior mobilidade dos componentes em sua matriz, facilitando a ocorrência de reações físico-químicas (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010), como a reação de Maillard. Pelo fato do tratamento IPS apresentar maior teor de proteínas, em relação aos demais, aliado à elevada concentração de açúcar presente no suco de beterraba, pode ter favorecido a ocorrência dessa reação, que resulta na formação de compostos marrons (KIM; LEE, 2009), caracterizando, assim, a mudança de coloração dos pós na atividade de água de 0,733, o que não foi observado nos outros tratamentos.

Com base nos resultados obtidos, nota-se a importância de se utilizar agentes carreadores para obtenção de extrato de beterraba em pó, bem como caracterizá-los quanto à sua capacidade de manutenção da qualidade dos pós ao longo do armazenamento em determinadas condições. E, assim, torna-se possível selecionar o melhor agente carreador a ser utilizado, conferindo maior proteção do material em pó contra os efeitos causados pela adsorção de umidade, como mudanças em sua estrutura física e perda dos componentes bioativos devido à liberação dos mesmos, bem como ocorrência de reações de degradação.

Figura 3 - Características dos extratos de beterraba em pó secos por atomização e liofilizado submetidos a diferentes umidades relativas a 25 °C



3.2.2 TGA/DTG

A análise termogravimétrica é uma ferramenta bastante útil em diversas operações industriais no setor alimentício (OTÁLORA et al., 2015), uma vez que possibilita o estudo da perda de massa de um material em função da temperatura e, assim, sua estabilidade térmica é avaliada. É considerada, também, uma importante técnica para verificação das características de produtos alimentícios, quando são submetidos a tratamentos térmicos em elevadas

temperaturas, como cozimento, secagem e pasteurização (FERNANDES et al., 2017). As curvas termogravimétricas (TGA/DTG) dos extratos de beterraba em pó (secos por atomização e liofilizado) e dos agentes carreadores utilizados neste estudo estão representadas na Figura 4.

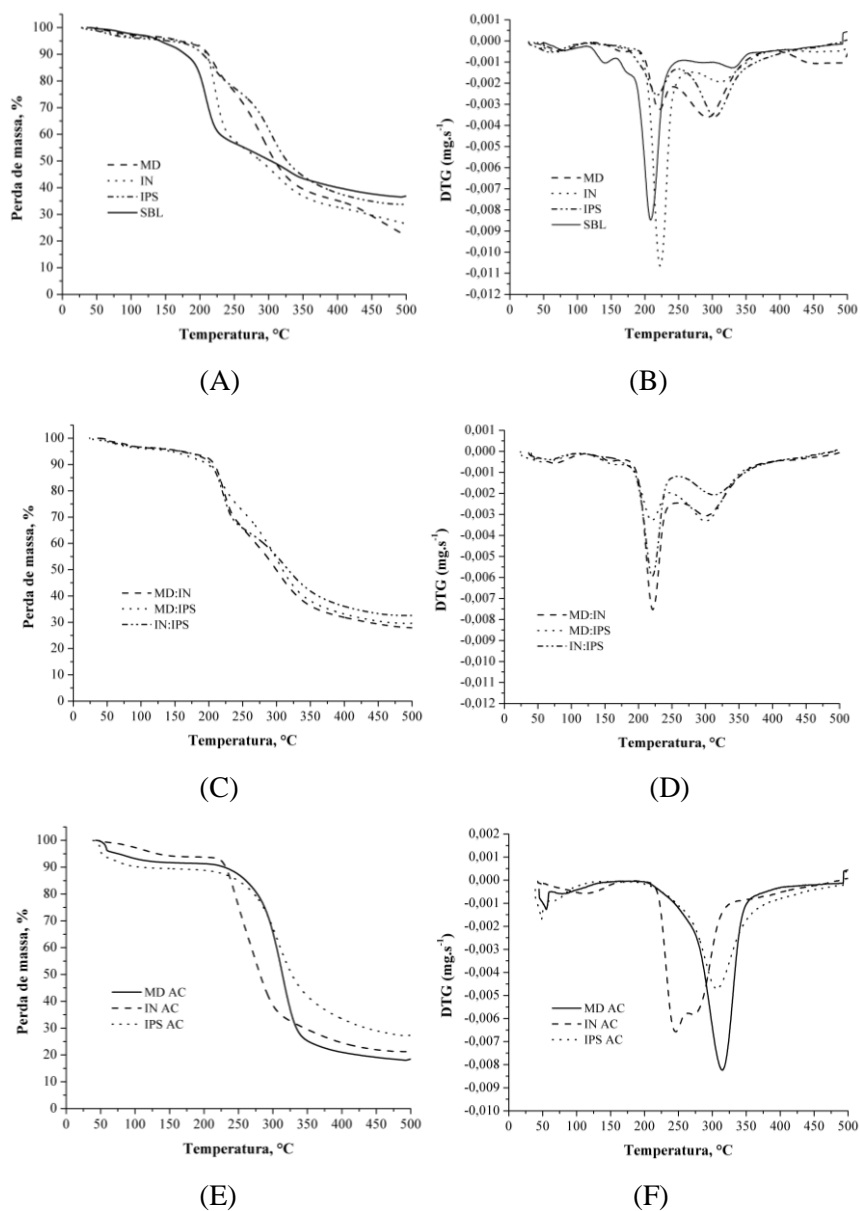
De maneira geral, o suco de beterraba liofilizado se manteve estável até 150°C, enquanto os tratamentos de extrato de beterraba em pó obtidos por meio da secagem por atomização foram estáveis até 200 °C (Figuras 4A e 4C). Este resultado foi semelhante ao encontrado por Fernandes et al. (2016), na secagem por atomização de óleo essencial de gengibre, utilizando goma arábica, maltodextrina e inulina como materiais de parede, e por Fritzen-Freire et al. (2012), na secagem de bifidobactérias, utilizando inulina e oligofrutose como agentes carreadores. É importante ressaltar que o primeiro estágio de perda de massa das curvas de TGA e DTG (entre 50 e 110 °C) refere-se à perda de umidade do material, enquanto o segundo estágio (acima de 110 °C) corresponde aos processos de decomposição dos constituintes das partículas (FERNANDES et al., 2016, 2017; FRITZEN-FREIRE et al., 2012; HOSSEINI et al., 2013), tais como proteínas e carboidratos (MACÊDO et al., 1997).

Na temperatura de 225 °C, foi possível detectar maiores diferenças de perda de massa entre os tratamentos, sendo que as maiores porcentagens de perda (27% e 25%) foram para os tratamentos IN e IN:IPS, e as duas menores (15% e 17%) foram para MD e IPS, respectivamente. Nessa mesma temperatura, o SBL apresentou 39% de perda de massa, evidenciando a importância do uso de agentes carreadores na secagem por atomização de suco de beterraba como forma de aumentar a estabilidade térmica do extrato em pó. O mesmo comportamento foi observado por Keawchaoon e Yoksan (2011), ao comparar a estabilidade térmica de carvacrol puro e encapsulado, utilizando quitosana, sendo este o de maior estabilidade térmica.

As temperaturas que correspondem ao maior grau de perda de massa de cada tratamento podem ser claramente evidenciadas, quando se plota o gráfico da primeira derivada da curva de TGA, em relação à temperatura (DTG), a qual representa a taxa de perda da massa da amostra. As temperaturas que resultam em maior taxa de perda de massa (ou seja, os picos na curva DTG) podem ser consideradas como temperaturas de degradação (T_d) dos componentes do material (YOKSAN; JIRAWUTTHIWONGCHAI; ARPO, 2010). Os tratamentos em que se utilizou inulina como agente carreador se mostraram menos estáveis termicamente (IN, MD:IN e IN:IPS, em ordem decrescente de instabilidade), apresentando maior perda de massa na temperatura de 225 °C (Figuras 4B e 4D), que corresponde à T_d dos mesmos, menor que os demais tratamentos (300 °C). No entanto, foi possível verificar que o uso de IPS junto à inulina diminuiu, consideravelmente, a perda de massa nessa temperatura. Fritzen-Freire et al. (2012) também encontraram T_d próximo a 225 °C, ao utilizar inulina na microencapsulação de bifidobactéria por meio da secagem por atomização.

O comportamento das curvas de DTG dos diferentes tratamentos (Figuras 4B e 4D) foi semelhante às curvas obtidas avaliando os agentes carreadores separadamente (FIGURA 4F). Ou seja, os tratamentos MD, IPS e MD:IPS, embora tenham apresentado dois picos de perda de massa, mostraram maior perda em torno de 300 °C, semelhante aos picos observados nas curvas de DTG da maltodextrina e do IPS; e aqueles em que se utilizou inulina como agente carreador (IN, MD:IN e IN:IPS), a maior perda de massa foi em 225 °C, também semelhante ao pico de perda de massa da inulina.

Figura 4 - Curvas termogravimétricas: (A) e (C) TGA dos tratamentos; (E) TGA dos agentes carreadores; (B) e (D) DTG dos tratamentos; (F) DTG dos agentes carreadores.



3.2.3 Estabilidade acelerada

Descobertas acerca da estabilidade das betalaínas proporcionam informações importantes e inovadoras para o uso como corante natural em alimentos (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006). Dentre os fatores que afetam a estabilidade das betalaínas, a temperatura é considerada o mais importante ao longo do processamento e estocagem do produto (AZEREDO, 2009).

As Figuras 5 e 6 representam os teores dos pigmentos betanina e vulgaxantina-I, ao longo do armazenamento, e os valores de ΔE^* calculados para cada tratamento, respectivamente. Dentre os seis tratamentos de extrato de beterraba em pó, aquele em que se utilizou apenas IPS como agente carreador foi o menos estável, uma vez que foi o que apresentou menor tempo de meia vida para betanina ($t_{1/2}=77$ semanas) e maior valor de ΔE^* , que chegou a apresentar valor máximo de 10, enquanto os demais tratamentos chegaram a um máximo de 5,5. Observou-se ainda que, ao término do tempo de estocagem, o tratamento IPS foi o único que apresentou o teor de vulgaxantina-I maior que o teor de betanina (FIGURA 5C), indicando possível conversão de betanina (pigmento violeta) para vulgaxantina-I (pigmento amarelo). Isto justifica, também, o maior valor de ΔE^* observado para este tratamento. Este resultado está de acordo com Herbach, Stintzing e Carle (2006), que observaram a formação de betaxantinas a partir de betacianinas em produtos alimentícios. Quando submetida a temperaturas mais elevadas, a degradação das betacianinas é geralmente acompanhada de mudança de cor como resultado da formação de produtos de degradação de cor amarela, que são ácido betalâmico, neobetacianinas e betaxantinas (AZEREDO, 2009; HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006). Tratamentos com maiores teores de proteínas forneceram baixa preservação das antocianinas, ao avaliar a estabilidade durante o armazenamento

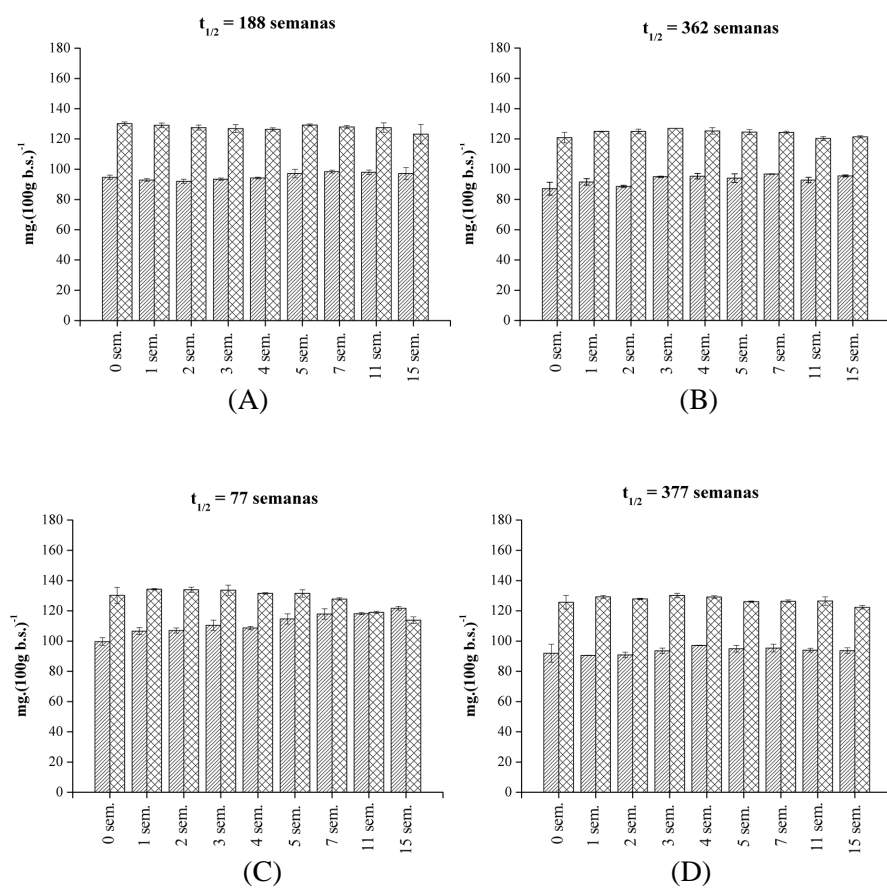
de suco de uva seco por atomização, utilizando maltodextrina/concentrado proteico de soro e maltodextrina/isolado proteico de soja (MOSER et al., 2017).

Nos demais tratamentos, a oscilação dos valores de ΔE^* até certo ponto pode ser em razão das possíveis ocorrências de reações nos pigmentos da beterraba, que são capazes de serem regenerados continuamente, pois algumas rotas são reversíveis (HAN et al., 1998; HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006). Após um certo tempo de armazenamento, as reações podem ter se tornado irreversíveis, e o aumento dos valores de ΔE^* foi observado. A diminuição da regeneração de betacianinas é observada à medida que o ácido betalâmico é consumido na formação de betaxantinas (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006). Dependendo do grupo que estiver ligado à estrutura básica das betalaínas (ácido betalâmico), podem ser obtidas as betacianinas, de colocação vermelho-violeta ($\lambda \sim 540$) e as betaxantinas, de coloração amarelada ($\lambda \sim 480$) (ESATBEYOGLU et al., 2015).

Outro fato que é importante destacar está relacionado à estabilidade do suco de beterraba liofilizado (SBL). Nota-se a importância e eficiência do uso de agentes carreadores, na obtenção do extrato de beterraba em pó, uma vez que o SBL apresentou teor de vulgaxantina-I maior que betanina logo na quinta semana de armazenamento, o tempo de meia vida para betanina foi de apenas 15 semanas e o ΔE^* apresentou valor máximo de 16,5. Ou seja, pode-se observar degradação muito maior de pigmentos do pó de SBL, e conseqüente maior alteração da cor, quando comparado aos tratamentos em que se utilizou agente carreador. É interessante observar que, mesmo o processo de liofilização sendo conduzido em temperatura menor que a secagem por atomização, a estabilidade do SBL foi bem menor comparado aos extratos de beterraba em pó obtidos por meio da secagem por atomização, aos quais foram adicionados de agentes carreadores. O mesmo resultado foi observado no estudo de Mahdave e Khazaei

et al. (2014), no qual houve maior degradação de antocianinas nos pós sem agentes carreadores do que aqueles contendo maltodextrina e goma arábica.

Figura 5 - Teores de betanina e vulgaxantina-I, tempo de meia vida ($t_{1/2}$) ao longo do armazenamento: (A) MD, (B) IN, (C) IPS, (D) MD:IN, (E) MD:IPS, (F) IN:IPS, (G) SBL. (▨) betanina, (▩) vulgaxantina-I.



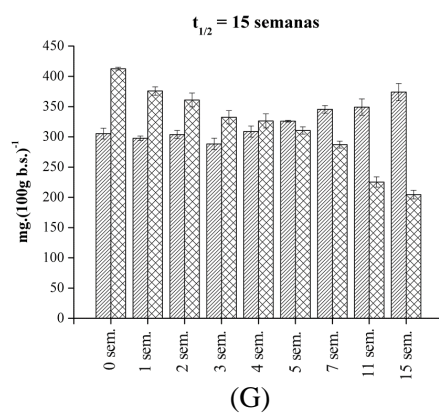
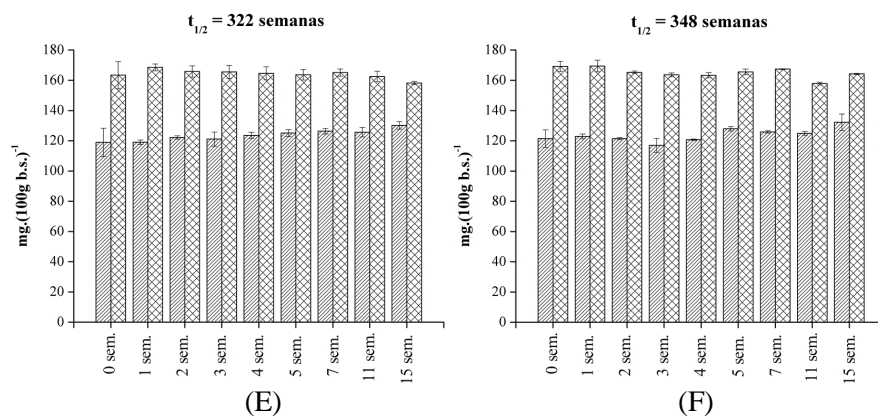
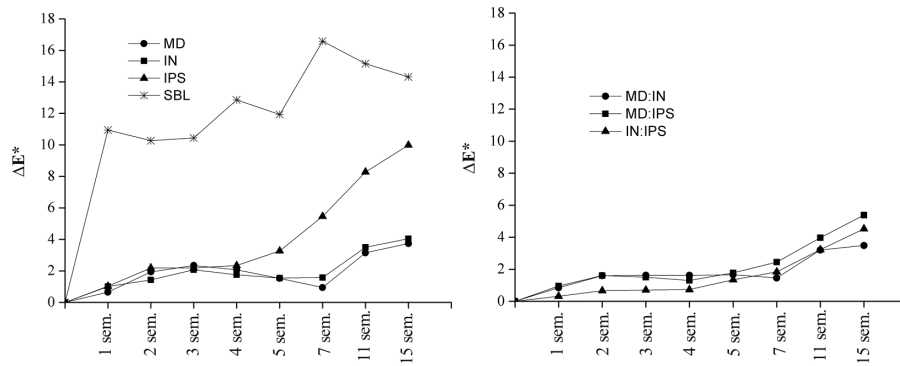


Figura 6 - Valores de ΔE^* calculados para cada tratamento ao longo da estocagem dos pós à 60 °C.



4 CONCLUSÃO

Todos os agentes carreadores avaliados apresentaram bom desempenho em relação à umidade (que apresentou valor baixo em todos tratamentos), retenção de betalaínas e atividade antioxidante. O uso somente de inulina como agente carreador não apresentou resultados satisfatórios, ao se avaliar a estabilidade térmica dos pós, assim como frente a condições adversas de umidade relativa do ambiente. Embora os demais tratamentos tenham apresentado boas características de estabilidade térmica (TGA/DTG), em contato com ambientes com diferentes umidades relativas e no armazenamento a 60 °C, o uso de isolado proteico de soro e inulina apresentaram elevada estabilidade e atividade antioxidante. Além disso, torna-se interessante o uso dos dois materiais juntos pela possibilidade de inovação no setor alimentício, por meio da aplicação em matrizes alimentícias, que possibilita agregação de propriedades funcionais ao produto, uma vez que o IPS, rico em proteínas, é reconhecido por atuar na redução de gorduras e manutenção da massa muscular, e a inulina, classificada como prebiótico.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro (Processo: 448530/2014-7); ao Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da Universidade Federal de Lavras, à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao CNPq e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo fornecimento dos equipamentos e suporte técnico para experimentos envolvendo microscopia eletrônica.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, B. et al. Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 94, n. 2, p. 144-153, Sept. 2009.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 80, n. 2, p. 118-128, June 2002.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 17th ed. Maryland, 2007.
- AZEREDO, H. M. C. Betalains: properties, sources, applications, and stability: a review. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 44, n. 12, p. 2365-2376, Dec. 2009.
- BARCLAY, T. et al. Inulin: a versatile polysaccharide with multiple pharmaceutical and food chemical uses. **Journal of Excipients and Food Chemicals**, Arlington, v. 1, n. 3, p. 27-50, Oct. 2010.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 14, p. 21-27, June 2016.
- BEIRÃO-DA-COSTA, S. et al. Inulin potential for encapsulation and controlled delivery of *Oregano* essential oil. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 199-206, Dec. 2013.
- BHANDARI, B. R. et al. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, New York, v. 11, n. 5, p. 1081-1092, May 1993.
- BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, Lausanne, v. 266, p. 354-364, Nov. 2014.
- BIONDO, P. B. F. et al. Evaluation of beetroot (*Beta vulgaris* L.) leaves during its developmental stages: a chemical composition study. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 34, n. 1, p. 94-101, Jan./Mar. 2014.
- BOTREL, D. A. et al. Influence of wall matrix systems on the properties of

spray-dried microparticles containing fish oil. **Food Research International**, Ottawa, v. 62, p. 344-352, Aug. 2014.

COUTO, R. O. et al. Spray drying of *Eugenia dysenterica* extract: effects of in-process parameters on product quality. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, Curitiba, v. 23, n. 1, p. 115-123, Jan./Feb. 2013.

DIMA, C. et al. Microencapsulation of essential oil of pimento [*Pimenta dioica* (L) Merr.] by chitosan/k-carrageenan complex coacervation method. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 22, p. 203-211, Apr. 2014.

ELBE, J. H. von. Betalains. In: _____. **Current protocols in food analytical chemistry**. Madison: University of Wisconsin, 2001. p. F3.1.1-F3.1.7.

ESATBEYOGLU, T. et al. Betanin: a food colorant with biological activity. **Molecular Nutrition and Food Research**, Weinheim, v. 59, n. 1, p. 36-47, Jan. 2015.

ESCRIBANO, J. et al. Characterization of the antiradical activity of betalains from *Beta vulgaris* L. roots. **Phytochemical Analysis**, Chichester, v. 9, n. 3, p. 124-127, May/June 1998.

ESTUPIÑAN, D. C.; SCHWARTZ, S. J.; GARZÓN, G. A. Antioxidant activity, total phenolics content, anthocyanin, and color stability of isotonic model beverages colored with andes berry (*Rubus glaucus* Benth) Anthocyanin powder. **Journal of Food Science**, Malden, v. 76, n. 1, p. 26-34, Jan./Feb. 2011.

FERNANDES, M. R. V. et al. Antioxidant and antimicrobial activities of *Psidium guajava* L. spray dried extracts. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 60, p. 39-44, Sept. 2014.

FERNANDES, R. V. de B.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 101, p. 524-532, Jan. 2014.

FERNANDES, R. V. de B. et al. Proposing novel encapsulating matrices for spray-dried ginger essential oil from the whey protein isolate-inulin/maltodextrin blends. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 10, n. 1, p. 115-130, 2017.

FERNANDES, R. V. de B. et al. Study of ultrasound-assisted emulsions on microencapsulation of ginger essential oil by spray drying. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 94, p. 413-423, Dec. 2016.

FLORES, F. P.; SINGH, R. K.; KONG, F. Physical and storage properties of spray-dried blueberry pomace extract with whey protein isolate as wall material. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 137, p. 1-6, Sept. 2014.

FRESTEDT, J. L. et al. A whey-protein supplement increases fat loss and spares lean muscle in obese subjects: a randomized human clinical study. **Nutrition and Metabolism**, London, v. 5, n. 8, p. 1-7, Mar. 2008.

FRITZEN-FREIRE, C. B. et al. Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. **Food Research International**, Ottawa, v. 45, n. 1, p. 306-312, Jan. 2012.

GABAS, A. L. et al. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, n. 2, p. 246-252, Sept. 2007.

GU, F. et al. Characteristics and antioxidant activity of ultrafiltrated Maillard reaction products from a casein-glucose model system. **Food Chemistry**, Barking, v. 117, n. 1, p. 48-54, Nov. 2009.

GUADARRAMA-LEZANA, A. Y. et al. Determination of the minimum integral entropy, water sorption and glass transition temperature to establishing critical storage conditions of beetroot juice microcapsules by spray drying. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, Iztapalapa, v. 13, n. 2, p. 405-416, Feb. 2014.

HAN, D. et al. Repeated regeneration of degraded red beet juice pigments in the presence of antioxidants. **Journal of Food Science**, Malden, v. 63, n. 1, p. 69-72, Jan. 1998.

HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalain stability and degradation: structural and chromatic aspects. **Journal of Food Science**, Malden, v. 71, n. 4, p. 41-50, May 2006.

HOSSEINI, S. F. et al. Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: preparation, characterization and in vitro release study. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 95, n. 1, p. 50-56, June 2013.

JANISZEWSKA, E. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**, Lausanne, v. 264, p. 190-196, Sept. 2014.

JANISZEWSKA, E.; WLODARCZYK, J. Influence of spray drying conditions on beetroot pigments retention after microencapsulation process. **Acta Agrophysica**, Lublin, v. 20, n. 2, p. 343-356, Jan. 2013.

JAYASUNDERA, M. et al. Surface modification of spray dried food and emulsion powders with surface-active proteins: a review. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 93, n. 3, p. 266-277, Aug. 2009.

KANNER, J.; HAREL, S.; GRANIT, R. Betalains: a new class of dietary cationized antioxidants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 49, n. 11, p. 5178-5185, Nov. 2001.

KEAWCHAOON, L.; YOKSAN, R. Preparation, characterization and in vitro release study of carvacrol-loaded chitosan nanoparticles. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 163-171, May 2011.

KHAZAEI, K. M. et al. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 105, n. 1, p. 57-62, May 2014.

KHEM, S.; SMALL, D. M.; MAY, B. K. The behaviour of whey protein isolate in protecting *Lactobacillus plantarum*. **Food Chemistry**, Barking, v. 190, p. 717-723, Jan. 2016.

KIM, J. S.; LEE, Y. S. Study of Maillard reaction products derived from aqueous model systems with different peptide chain lengths. **Food Chemistry**, Barking, v. 116, n. 4, p. 846-853, Oct. 2009.

KRAJKA-KUŹNIAK, V. et al. Beetroot juice protects against N-nitrosodiethylamine-induced liver injury in rats. **Food and Chemical Toxicology**, Exeter, v. 50, n. 6, p. 2027-2033, June 2012.

MACÊDO, R. O. et al. Comparative studies on some analytical thermal decomposition of powder milk. **Journal of Thermal Analysis**, London, v. 49, n. 2, p. 857-862, Aug. 1997.

MARTINEZ, R. M. et al. Anti-inflammatory activity of betalain-rich dye of *Beta vulgaris*: effect on edema, leukocyte recruitment, superoxide anion and

cytokine production. **Archives of Pharmacal Research**, Seoul, v. 38, n. 4, p. 494-504, Apr. 2015.

MOSER, P. et al. Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. **Food Chemistry**, Barking, v. 214, p. 308-318, Jan. 2017.

NAZZARO, F. et al. Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 23, n. 2, p. 182-186, Apr. 2012.

OLIVEIRA, M. I. S. et al. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 310-318, out./dez. 2013.

OTÁLORA, M. C. et al. Encapsulating betalains from *Opuntia ficus-indica* fruits by ionic gelation: pigment chemical stability during storage of beads. **Food Chemistry**, Barking, v. 202, p. 373-382, July 2016.

OTÁLORA, M. C. et al. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, Barking, v. 187, p. 174-181, Nov. 2015.

PAGNO, C. H. et al. Obtenção de concentrados protéicos de soro de leite e caracterização de suas propriedades funcionais tecnológicas. **Alimentação Nutricional**, Araraquara, v. 20, n. 2, p. 231-239, abr./jun. 2009.

PÉREZ-ALONSO, C. et al. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 77, n. 4, p. 753-760, Dec. 2006.

PITALUA, E. et al. Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 88, n. 2/3, p. 253-258, June/Sept. 2010.

POPA, A.; MOLDOVAN, B.; DAVID, L. Betanin from red beet (*Beta vulgaris* L.) extraction conditions and evaluation of the thermal stability. **Journal of Chemistry**, New York, v. 66, n. 3, p. 413-416, Mar. 2015.

RAJABI, H. et al. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 51, p. 327-337, Oct. 2015.

RAVICHANDRAN, K. et al. Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. **Food Research International**, Ottawa, v. 50, n. 2, p. 670-675, Mar. 2013.

RONKART, S. N. et al. Impact of the crystallinity on the physical properties of inulin during water sorption. **Food Biophysics**, New York, v. 4, n. 1, p. 49-58, Mar. 2009.

ROSS, Y. H. **Phase transitions in foods**. San Diego: Academic, 1995. 360 p.

SILVA, E. K. et al. Water adsorption in rosemary essential oil microparticles: kinetics, thermodynamics and storage conditions. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 140, p. 39-45, Nov. 2014.

SILVA, P. I. et al. Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaborcaba (*Myrciaria jaborcaba*) peel extracts using simultaneous analysis of responses. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 117, n. 4, p. 538-544, Aug. 2013.

SINGH, S.; DIXIT, D. A review on spray drying: emerging technology in food industry. **International Journal of Applied Engineering and Technology**, Jaipur, v. 4, n. 1, p. 1-8, Jan./Mar. 2014.

SOUZA, V. B. de et al. Effect of spray drying on the physicochemical properties and color stability of the powdered pigment obtained from vinification byproducts of the Bordo grape (*Vitis labrusca*). **Food and Bioprocess Processing**, Rugby, v. 93, p. 39-50, Jan. 2015.

SOUZA, V. B. de et al. Functional properties and stability of spray-dried pigments from Bordo grape (*Vitis labrusca*) winemaking pomace. **Food Chemistry**, Barking, v. 164, p. 380-386, Dec. 2014.

STEVENS, C. V.; MERIGGI, A.; BOOTEN, K. Chemical modification of inulin, a valuable renewable resource, and its industrial applications. **Biomacromolecules**, Washington, v. 2, n. 1, p. 1-16, Feb. 2001.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 15, n. 1, p. 19-38, Jan. 2004.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Anthocyanin stability and

antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, Ottawa, v. 43, p. 907-914, Apr. 2010.

TONON, R. V. et al. Water sorption and glass transition temperature of spray dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 94, n. 3/4, p. 215-221, Oct. 2009.

VERGARA, C. et al. Microencapsulation of pulp and ultrafiltered cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) extracts and betanin stability during storage. **Food Chemistry**, Barking, v. 157, p. 246-251, Aug. 2014.

YOKSAN, R.; JIRAWUTTHIWONGCHAI, J.; ARPO, K. Encapsulation of ascorbyl palmitate in chitosan nanoparticles by oil-in-water emulsion and ionic gelation processes. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 76, n. 1, p. 292-297, Mar. 2010.

**ARTIGO 2 – INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E TEOR DE INULINA
NA SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO DE SUCO DE BETERRABA**

Eloá Lourenço do Carmo¹

Artigo formatado com base na NBR 6022 (ABNT, 2003), conforme é orientado
no Manual de Normalização da UFLA.

¹ eloa ldc@gmail.com. Mestre em Ciência dos Alimentos

Influência da temperatura e teor de inulina na secagem por atomização de suco de beterraba

RESUMO

Este trabalho objetivou a caracterização de partículas obtidas por meio da secagem por atomização de suco de beterraba em diferentes temperaturas (130, 150 e 170 °C) e proporções de inulina:isolado proteico de soro (IN:IPS) de 1:2, 1:1 e 2:1. A umidade dos extratos de beterraba em pó variou de 1,33 % a 2,24 %. Quando se utilizou temperatura mais elevada na secagem, maior teor de inulina favoreceu maior valor de solubilidade, enquanto maior teor isolado proteico de soro resultou em partículas com maior concentração e retenção de betalaínas. Para atividade antioxidante, foram encontrados valores de 61,52 % a 90,83 %, sendo que a possibilidade de ocorrência da reação de Maillard, dentre outros fatores, pode ter influenciado o valor dessa propriedade. Os extratos de beterraba em pó apresentaram valores dos parâmetros L^* , C^* e h° que indicam claridade intermediária e saturação razoável da coloração, que esteve mais próxima à vermelha. Observou-se que todos os tratamentos apresentaram estrutura amorfa, e as partículas, de superfície enrugada, sem rachaduras ou fissuras. Nas isotermas de adsorção, o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de GAB, e o valor da umidade da monocamada dos materiais esteve entre 5,15 e 7,84 g.(100 b.s.)⁻¹. Os resultados globais indicam que temperatura de 170 °C e proporção IN:IPS de 1:2 proporcionaram boas características ao extrato de beterraba em pó, o qual apresenta potencial de agregação de propriedades funcionais e propriedades físico-químicas adequadas para aplicação em produtos alimentícios.

Palavras-chave: Betalaínas. Prebiótico. Isolado proteico de soro. Corante. Antioxidante.

1 INTRODUÇÃO

A cor dos alimentos é um importante critério de escolha do produto por parte dos consumidores, sendo considerada um indicador de qualidade. Nos últimos anos, pode-se observar uma tendência do consumidor adquirindo produtos que utilizem corantes naturais. Assim, alimentos como amora, mirtilo, pimenta e beterraba têm sido cada vez mais utilizados como fonte de corantes naturais em formulações alimentícias (ESATBEYOGLU et al., 2015).

As betalaínas são utilizadas pelas indústrias de alimentos como corante natural, tendo seu uso permitido na alimentação humana desde 1960 (SOUZA et al., 2003). A beterraba é considerada a fonte mais popular de betalaínas (NEMZER et al., 2011), sendo bastante empregadas na pigmentação de cosméticos, geleias, produtos lácteos, suplementos esportivos, confeitos e bebidas (GOLDMAN; NAVAZIO, 2008; JANISZEWSKA, 2014). Além de serem utilizadas como corante natural, as betalaínas têm-se destacado cada vez mais devido às propriedades benéficas que apresentam à saúde humana (WRUSS et al., 2015) tais como propriedade antioxidante, anti-inflamatória, antiaterosclerótica e antitumoral (ESCRIBANO et al., 1998; GEORGIEV et al., 2010; JANISZEWSKA, 2014).

Em geral, pigmentos naturais são sensíveis às condições do ambiente ou de processos tecnológicos (JANISZEWSKA; WLODARCZYK, 2013), tais como temperatura, pH, presença de oxigênio, atividade de água, luz, radiação ultravioleta e gama (JANISZEWSKA, 2014), sendo a estabilidade um importante aspecto a se considerar para o uso de antioxidantes e corantes em alimentos. As betalaínas apresentam tendência em se degradar facilmente em solução (PITALUA et al., 2010), e uma forma de conferir maior estabilidade a esses pigmentos consiste em aplicar a técnica da secagem por atomização de suco de beterraba. O processo é considerado um dos mais empregados em indústrias do setor alimentício, para obtenção de materiais em pó, os quais

apresentam diversos benefícios quando comparados a materiais líquidos, tais como volume e embalagem reduzidos, maior facilidade de transporte e manuseio (FAZAELI et al., 2012), além dos produtos em pó serem mais estáveis em virtude da menor taxa de degradação dos pigmentos, proporcionando-lhes maior vida útil (NEMZER et al., 2011; PITALUA et al., 2010).

Um aspecto importante a se considerar são as mudanças que ocorrem no material a ser desidratado. A qualidade das partículas obtidas por meio da secagem por atomização depende da composição do fluido que irá passar pelo processo e dos parâmetros de operação (AGHBASHLO et al., 2013). A escolha adequada dos agentes carreadores e a temperatura do ar de entrada a serem empregados no processo são alguns deles.

A secagem de produtos como o suco de beterraba, rico em componentes de baixo molecular e baixa temperatura de transição vítrea, necessita da adição de agentes carreadores como forma de evitar que esses componentes fiquem aderidos às paredes da câmara do secador e resultem em baixo rendimento do processo (BHANDARI et al., 1993; JANISZEWSKA, 2014), bem como prevenir a aglomeração e cristalização dos produtos em pó durante a estocagem. Isso é possível devido às características dos agentes carreadores, que apresentam elevado peso molecular e aumentam a temperatura de transição vítrea do produto (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010). É importante a escolha adequada dos agentes carreadores a serem utilizados no processo, uma vez que influenciam as propriedades e estabilidade do material em pó (MOSER et al., 2017; YOUSEFI et al., 2015). No entanto, cada material apresenta suas vantagens e desvantagens em termos de propriedades, custo e eficiência no processo (SANSONE et al., 2011). Assim, de acordo com as características de cada material, pode-se utilizar combinação de agentes carreadores diferentes, como forma de se obter melhorias na qualidade do produto ao final da secagem (CARNEIRO et al., 2013). Diversos estudos avaliaram as propriedades físicas e

químicas de produtos em pó obtidos por meio da secagem por atomização utilizando diferentes agentes carreadores ou combinações dos mesmos (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014; ERBAY; KOCA, 2015; FAZAELI et al., 2012; FERRARI et al., 2012; GAROFULIC et al., 2016; MOSER et al., 2017; SAHIN-NADEEM et al., 2013; YOUSEFI et al., 2015). No entanto, é importante o aprimoramento de pesquisas que envolvam a produção de materiais com grau de inovação no setor alimentício como, por exemplo, por meio uso de agentes carreadores diferenciados, que possam agregar valor ao produto que for aplicado.

A inulina apresenta boas propriedades tecnológicas para uso em processos como a secagem por atomização (STEVENS; MERIGGI; BOOTEN, 2001), além de ser classificada como prebiótico, característica de interesse, que contribui para idealização e desenvolvimento de alimentos funcionais (NAZZARO et al., 2012). Contudo, é um material bastante higroscópico, e seu uso em conjunto com outro agente carreador de menor higroscopicidade se faz necessário para maior estabilidade do produto em pó. Como exemplo, pode-se citar o isolado proteico de soro, que também representa uma alternativa interessante pois, além de possibilitar maior rendimento do processo por evitar a adesão dos compostos de baixa peso molecular nas paredes da câmara do secador (ADHIKARI et al., 2009), auxilia na redução de gorduras e manutenção da massa muscular no organismo humano (FRESTEDT et al., 2008).

As propriedades físicas e químicas do produto em pó também são afetadas pela temperatura de entrada do ar (SINGH; DIXIT, 2014). Quanto maior o valor dessa temperatura, menor umidade se observa no produto obtido, ao final do processo, uma vez que a remoção de água das gotículas acontece de forma mais rápida, resultando em maior perda de água do material durante a secagem (KRISHNAIAH; NITHYANANDAM; SARBATLY, 2014). Entretanto, temperaturas muito elevadas podem levar à formação de partículas

com imperfeições na superfície (rachaduras, por exemplo) e, conseqüentemente, perda de compostos ativos (JAFARI et al., 2008). Outro fator que a temperatura de entrada do ar pode influenciar é na higroscopicidade do material, uma vez que, maiores temperaturas favorecem obtenção de pós com menor umidade e, com isso, maior o gradiente de umidade entre a partícula e o ambiente ao redor (SINGH; DIXIT, 2014).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliação de extrato de beterraba em pó utilizando diferentes temperaturas e proporções de inulina:isolado proteico de soro, como forma de se determinar as melhores condições operacionais para obtenção de um extrato em pó com potencial de agregação de propriedades funcionais e características físico-químicas adequadas para aplicação em produtos alimentícios.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os agentes carreadores utilizados no processo de secagem por atomização foram inulina com grau de polimerização (DP) maior que 10 (Orafti®GR, BENEIO-Orafti, Tienen, Bélgica) e isolado proteico de soro com teor de proteínas de 90% (Hilmar, USA). As beterrabas foram adquiridas no comércio local da cidade de Lavras – MG.

2.2 Preparo das soluções para secagem

O suco de beterraba foi obtido utilizando centrífuga processadora de alimentos (Philips Walita Juicer modelo RI1858, Royal Philips Electronics, Barueri, Brasil) depois das beterrabas serem lavadas e descascadas. Para eliminação de sólidos em suspensão, o suco foi, ainda, filtrado em organza e em seguida, a vácuo em papel filtro qualitativo. Os agentes carreadores (IN e IPS) foram adicionados ao suco de beterraba com o auxílio de homogeneizador (Ultra-Turrax IKA T18 basic, Wilmington, EUA) sob agitação a 5000 rpm durante 5 minutos.

2.3 Secagem por atomização

Secador por atomização (modelo MSD 1.0; Labmaq do Brasil, Ribeirão Preto, Brasil), equipado com bico atomizador de duplo fluido, foi utilizado para secagem por atomização das soluções em diferentes temperaturas e proporções de IN:IPS na solução. A vazão de alimentação foi de 0,8 L.h⁻¹, determinada a partir de testes preliminares (dados não apresentados) e o fluxo do ar de secagem foi de 35 L.min⁻¹, de acordo com recomendação do fabricante do secador. Quando se utilizaram temperaturas de entrada do ar de 130, 150 e 170 °C, as temperaturas de saída do ar foram de 85 ± 3, 95 ± 3 e 108 ± 3 °C, respectivamente.

2.4 Planejamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, três repetições, e as medidas das análises realizadas em triplicata. O suco de beterraba foi adicionado dos agentes carreadores em diferentes proporções de inulina (IN) e isolado proteico de soro (IPS), e submetido a três diferentes temperaturas de secagem, conforme descrito na Tabela 1. O teor de agentes carreadores na solução foi de 15 % (m/m), em relação à solução final, o qual foi determinado a partir de testes preliminares (dados não apresentados).

Tabela 1 - Condições de secagem utilizadas na obtenção dos extratos de beterraba em pó

| Tratamento | Temperatura (°C) | Proporção IN:IPS |
|------------|------------------|------------------|
| 1 | 130 | 1:2 |
| 2 | 130 | 1:1 |
| 3 | 130 | 2:1 |
| 4 | 150 | 1:2 |
| 5 | 150 | 1:1 |
| 6 | 150 | 2:1 |
| 7 | 170 | 1:2 |
| 8 | 170 | 1:1 |
| 9 | 170 | 2:1 |

2.5 Análises físico-químicas e morfológicas das partículas

2.5.1 Umidade

A umidade dos pós foi determinada de acordo com a Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2007) para alimentos. 2,5 g de amostra foi submetida à secagem em estufa a 105 °C até peso constante e, a partir da porcentagem de perda de peso, o teor de umidade (%) foi calculado.

2.5.2 Solubilidade

A solubilidade foi avaliada de acordo com metodologia descrita por Cano-Chauca et al. (2005), com algumas modificações. 1 g de amostra foi adicionado em 3 mL de água destilada à temperatura ambiente, e homogeneizado com auxílio de vórtex durante 1 minuto. Em seguida, a mistura foi centrifugada durante 5 minutos a 1600xg. Uma alíquota de 2 mL do sobrenadante foi transferida para placa de petri e, posteriormente, seca em estufa a 105 °C até peso constante. A solubilidade (%) foi calculada de acordo com a Equação 1:

$$\text{Solubilidade (\%)} = \left(\frac{A_S * H_2O_{dest}}{V_{sob}} \right) * \frac{100}{A_I} \quad (1)$$

em que A_S corresponde ao peso da alíquota do sobrenadante após secagem em estufa, H_2O_{dest} o volume de água destilada homogeneizado com a amostra, V_{sob} corresponde ao volume do sobrenadante retirado para secagem em estufa, A_I o peso da amostra íntegra (pó) misturado na água destilada no início da análise e 100 fator de conversão para o resultado em porcentagem.

2.5.3 Teor e retenção de betalaínas

Para determinação do teor de betalaínas, foi utilizada a metodologia descrita por Elbe (2001), utilizando espectrofotômetro (Shimadzu UV-VIS SP 2000, Bel Photonics, Piracicaba, Brasil). A concentração total de betalaínas no extrato de beterraba em pó foi expressa pela soma de betacianinas (pigmento violeta) e betaxantinas (pigmento amarelo), calculados em termos de betanina e vulgaxantina-I, respectivamente, que são os principais pigmentos presentes na beterraba. Todos os resultados foram apresentados em base seca (b.s.). Foram obtidas leitura das absorvâncias de soluções contendo 1g de amostra diluída 500 vezes em tampão fosfato 0,05 M (pH 6,5), em comprimentos de onda de 476 e

538 nm para o cálculo das concentrações de vulgaxantina-I e betanina, respectivamente. Para correção dos valores de absorvância em decorrência de pequenas quantidades de impurezas que possam estar presentes, também foi lida a absorvância da solução em comprimento de onda de 600 nm. As Equações 2, 3 e 4 foram utilizadas para o cálculo das concentrações dos pigmentos.

$$C_B = \left\{ \frac{[1,095*(A_{538} - A_{600})]*f_d*1000}{1120} \right\} * \frac{1}{TST} \quad (2)$$

$$C_{V-I} = \left\{ \frac{(A_{476} - 0,258*A_{538} - 0,742*A_{600})*f_d*1000}{750} \right\} * \frac{1}{TST} \quad (3)$$

$$C_T = C_B + C_{V-I} \quad (4)$$

sendo C_B concentração de betanina, C_{V-I} concentração de vulgaxantina-I e C_T concentração total de betalaínas, todas expressas em $\text{mg} \cdot (100 \text{ g b.s.})^{-1}$. Os valores de 1,095, 0,258 e 0,742 correspondem a fatores de correção, e A_{476} , A_{538} e A_{600} correspondem à absorvância da amostra em 476, 538 e 600 nm, respectivamente. O termo f_d representa o fator de diluição e foi incluída a multiplicação por 1000 para conversão do resultado de gramas para miligramas. 1120 e 750 são os valores de absorvidade ($A^{1\%}$) para betanina e vulgaxantina-I nos comprimentos de onda de 538 e 476 nm, respectivamente. Para obtenção dos resultados em base seca, a concentração dos pigmentos foi dividida pelo teor de sólidos totais (TST) calculado para cada tratamento.

A retenção de betalaínas (RB, %) nas micropartículas foi calculada de acordo com a equação abaixo:

$$RB = \frac{C_{T,pó}}{C_{T,solução}} * 100 \quad (5)$$

em que $C_{T, \text{pó}}$ e $C_{T, \text{solução}}$ correspondem à concentração total de betalaínas no pó e na solução anterior à secagem, respectivamente.

2.5.4 Atividade Antioxidante

Para a determinação da atividade antioxidante dos pós, foi realizado o monitoramento do consumo do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH), conforme metodologia descrita por Dima et al. (2014), com algumas modificações. A amostra foi homogeneizada em solução água:etanol (2:1, v/v) com o uso de sonificador (Branson Digital Sonifier®, Model S-450D, Branson Ultrasonics Corporation, Danbury, USA), durante 1 minuto, a uma potência de 200 W, obtendo-se um homogenato na concentração de 1,6 g.L⁻¹. Desta mistura, foi retirada uma alíquota de 3 mL e adicionada em 2 mL de solução etanólica de DPPH (0,1 mM), em tubo de ensaio, seguida de uma completa agitação com o auxílio de vórtex, por 10 segundos em alta velocidade. Feito isso, as misturas foram mantidas em ambiente protegidos da luz, durante 1 h e, então, obteve-se a absorbância em comprimento de onda de 515 nm de cada mistura, de cada tratamento. A atividade antioxidante (AA, %) foi obtida por meio da Equação 6:

$$AA (\%) = 100 - \left[\left(\frac{A_a - A_b}{A_c} \right) * 100 \right] \quad (6)$$

sendo A_a , A_b e A_c as absorbância obtidas em 515 nm da amostra, do branco e do controle, respectivamente. O branco corresponde à solução contendo 3mL de extrato e 2 mL de etanol, e o controle, 3 mL de etanol e 2 mL de solução etanólica de DPPH.

2.5.5 Coloração

A coloração foi obtida das amostras em pó com auxílio de colorímetro (Spectrophotometer CM-5, Konica Minolta, Japão), sendo as amostras colocadas

em placas de petri, iluminante D65 e ângulo de observação 10°, para obtenção dos parâmetros CIE L*a*b*. A partir deles, foram calculados os valores de C* (croma) e h° (ângulo hue), de acordo com as Equações 2 e 3, respectivamente, para melhor descrever a coloração das amostras (GUNESER, 2016). O parâmetro L* (0=preto, 100=branco) indica a claridade da amostra, C* representa a saturação da cor e h° corresponde à tonalidade, ou seja, 0° ou 360° indicam cor vermelha, 90° amarela, 180° verde e 270° azul.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (7)$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (8)$$

2.5.6 Difração de Raio X

Para avaliação da cristalinidade das partículas e dos agentes carreadores (IN e IPS), amostras de cada material foram colocadas em um suporte para pó e cobertas com folha de vidro. As medidas foram obtidas a partir de um difratômetro de raios-X Shimadzu (modelo XRD-6000), utilizando difração Cu-K α 1 com comprimento de onda de 1,54 Å a 30 kV e 30 mA. As amostras foram analisadas em ângulos de 4 a 40° em 2 θ com incremento de 0,02° (1,2°.min⁻¹) (FERNANDES et al., 2014).

2.5.7 Morfologia

Amostras de cada tratamento foram montadas em *stubs* de alumínio com fita dupla-face de carbono, metalizadas em aparelho evaporador de ouro (SCD 050) e observadas em microscópio eletrônico de varredura (LEO EVO 40 XVP, Carl Zeiss) do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da UFLA.

2.5.8 Isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção foram determinadas por meio de método gravimétrico estático na temperatura de 25 °C, utilizando soluções salinas saturadas com atividade de água entre 0,11 a 0,84 (LiCl, MgCl₂, K₂CO₃, Mg(NO₃)₂, NaCl, KCl). Os dados das isotermas de adsorção de umidade foram ajustados em modelos matemáticos (Guggenheim, Anderson e de Boer (GAB), Halsey, Smith e Oswin), conforme descritos na Tabela 2, estimando-se os parâmetros das equações por meio da correlação entre os modelos e dados experimentais utilizando uma regressão não linear Quasi-Newton em nível de 5% de significância.

Tabela 2 - Modelos matemáticos utilizados no ajuste de dados experimentais das isotermas de adsorção dos extratos de beterraba em pó

| Modelo | Equação |
|---------------|---|
| GAB | $X_{eq} = \frac{X_m C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)}$ |
| Halsey | $X_{eq} = \left(\frac{a}{\ln a_w} \right)^{1/b}$ |
| Smith | $X_{eq} = a + b \log(1 - a_w)$ |
| Oswin | $X_{eq} = a \left[\frac{a_w}{(1 - a_w)} \right]^b$ |

X_{eq} : teor de umidade no equilíbrio (g.100g⁻¹ b.s.); X_m : teor de umidade da monocamada (g.100g⁻¹ b.s.); C, K: constantes do modelo em relação à monocamada e suas propriedades; a_w : atividade de água; a, b: parâmetros do modelo; E: módulo do desvio relativo médio; R²: coeficiente de determinação.

Para determinação do modelo em que os dados experimentais ficassem melhor ajustados, foi feita uma análise baseando-se no coeficiente de

determinação (R^2) e no módulo do desvio relativo médio (E), definido pela Equação 9:

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|m_i - m_{pi}|}{m_i} \quad (9)$$

em que m_i é o valor experimental, m_{pi} é o valor predito e N é a população dos dados experimentais.

2.6 Análises estatísticas

O software Statistica (ver. 8.0, Stat. Soft. Inc., Tulsa, EUA) foi utilizado para análise de variância em esquema fatorial, como forma de avaliação dos efeitos das diferentes proporções de inulina:isolado proteico de soro utilizadas e das diferentes temperaturas nas propriedades dos extratos de beterraba em pó obtidos por meio da secagem por atomização. Por meio do teste de médias de Duncan, foram avaliadas diferenças entre os valores médios obtidos de cada propriedade, em nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de umidade depende da matriz das partículas e das condições de secagem (PITALUA et al., 2010), sendo que, menores valores de umidade para produtos desidratados proporcionam-lhes maior vida útil (FERNANDES et al., 2017). Os resultados obtidos para as propriedades físico-químicas dos extratos de beterraba em pó estão apresentados na Tabela 3.

Verificou-se que as diferentes temperaturas de secagem e proporções de IN:IPS exerceram influência no valor da umidade dos pós. No entanto, os tratamentos em que se utilizaram temperaturas de 150 e 170 °C, não apresentaram diferença significativa ($p>0,05$) entre eles em relação à temperatura. Os tratamentos secos a 130 °C e proporções IN:IPS de 1:1 e 2:1 apresentaram os maiores valores de umidade quando comparado aos demais. Isto pode ser decorrente da característica higroscópica da inulina por apresentar em sua constituição grande número de grupos hidrofílicos (BOTREL et al., 2014), que se ligam, facilmente, à umidade do ambiente, durante o manuseio das partículas logo após a secagem (SINGH; DIXIT, 2014). Além disso, a temperatura relativamente baixa de secagem pode não ter evaporado a umidade dos pós de forma tão eficiente quanto os demais tratamentos. Embora tal característica tenha sido observada, esses maiores valores obtidos para a umidade ainda encontram-se dentro de uma faixa segura, que contribui para a estabilidade do material (PITALUA et al., 2010).

Valores semelhantes foram encontrados por Garofulic et al. (2016) nos tratamentos em que se utilizou maltodextrina com dextrose equivalente de 4 a 7, em diferentes temperaturas (150, 175 e 200 °C), na secagem por atomização de suco de cereja. Antocianinas extraídas de bagaço de mirtilo, também secas por atomização utilizando isolado proteico de soro como agente carreador apresentaram umidades dos pós abaixo de 5% (FLORES; SINGH; KONG, 2014).

Tabela 3 - Propriedades físico-químicas dos extratos de beterraba em pó.

| T¹ IN:IPS | Umidade (%) | Solubilidade (%) | Vulgaxantina-I mg.(100 g b.s.)⁻¹ | Betanina mg.(100 g b.s.)⁻¹ | Betalaínas mg.(100 g b.s.)⁻¹ | Retenção (%) | Atividade Antioxidante (%) |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|--|--|--|---------------------------|-----------------------------------|
| 130 1:2 | 1,3 ± 0,07 ^{Ac} | 81,6 ± 0,52 ^{Bb} | 185,8 ± 13,99 ^{Ba} | 169,0 ± 12,33 ^{Ab} | 354,8 ± 26,15 ^{Bb} | 82,6 ± 2,60 ^{Ab} | 87,4 ± 2,83 ^{Ab} |
| 130 1:1 | 2,2 ± 0,11 ^{Ab} | 79,6 ± 1,53 ^{Bb} | 194,6 ± 5,75 ^{Ba} | 177,0 ± 5,68 ^{Aa} | 371,6 ± 5,15 ^{Ba} | 87,1 ± 4,77 ^{Aa} | 82,0 ± 0,47 ^{Aa} |
| 130 2:1 | 2,2 ± 0,08 ^{Aa} | 80,2 ± 0,39 ^{Ba} | 195,6 ± 18,99 ^{Ba} | 175,4 ± 6,00 ^{Ab} | 371,0 ± 21,76 ^{Bb} | 91,8 ± 4,21 ^{Ab} | 83,6 ± 2,13 ^{Aab} |
| 150 1:2 | 1,6 ± 0,05 ^{Bc} | 79,7 ± 0,34 ^{Bb} | 187,3 ± 3,82 ^{Aa} | 162,1 ± 2,82 ^{Ab} | 349,4 ± 6,63 ^{ABb} | 81,5 ± 4,56 ^{Ab} | 83,1 ± 4,40 ^{Cb} |
| 150 1:1 | 1,5 ± 0,03 ^{Bb} | 80,5 ± 0,31 ^{Bb} | 221,8 ± 4,09 ^{Aa} | 188,6 ± 11,18 ^{Aa} | 410,4 ± 15,26 ^{ABa} | 92,9 ± 1,06 ^{Aa} | 69,6 ± 4,44 ^{Ca} |
| 150 2:1 | 1,7 ± 0,06 ^{Ba} | 82,1 ± 0,49 ^{Ba} | 208,7 ± 15,31 ^{Aa} | 167,3 ± 5,72 ^{Ab} | 376,0 ± 16,71 ^{ABb} | 88,4 ± 6,28 ^{Ab} | 62,9 ± 0,93 ^{Cab} |
| 170 1:2 | 1,4 ± 0,04 ^{Bc} | 82,3 ± 1,21 ^{Ab} | 219,1 ± 6,81 ^{Aa} | 193,1 ± 3,72 ^{Ab} | 412,2 ± 3,13 ^{Ab} | 93,7 ± 1,79 ^{Ab} | 61,5 ± 1,79 ^{Bb} |
| 170 1:1 | 1,6 ± 0,03 ^{Bb} | 82,5 ± 1,22 ^{Ab} | 211,0 ± 7,93 ^{Aa} | 189,5 ± 6,74 ^{Aa} | 400,5 ± 14,52 ^{Aa} | 93,7 ± 0,59 ^{Aa} | 89,9 ± 3,13 ^{Ba} |
| 170 2:1 | 1,9 ± 0,01 ^{Ba} | 86,0 ± 0,77 ^{Aa} | 187,1 ± 18,64 ^{Aa} | 157,8 ± 12,84 ^{Ab} | 344,9 ± 31,43 ^{Ab} | 80,9 ± 4,01 ^{Ab} | 90,8 ± 1,36 ^{Bab} |

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente (p>0,05) em relação à temperatura e proporção de IN:IPS, respectivamente, pelo teste de Duncan. ¹ Temperatura (°C)

A solubilidade é considerada como o principal determinante da qualidade de reconstituição de um ingrediente (JAYASUNDERA et al., 2011) importante no momento em que for aplicado na matriz alimentícia (SYAMALADEVI et al., 2012). No presente estudo, em cada temperatura utilizada na secagem, tratamentos em que se utilizou maior proporção de inulina (2:1) apresentaram valor de solubilidade maior ou intermediário comparado às demais proporções, e maior temperatura de secagem (170 °C) favoreceu solubilidade maior dos pós, de maneira geral (Tabela 3). A tendência de maior solubilidade em tratamentos com maior teor de inulina se deve ao fato de esse material apresentar em sua composição maior quantidade de grupos hidrofílicos (BOTREL et al., 2014) e, em casos de maiores temperaturas de secagem, como a evaporação acontece de forma mais rápida, resulta em partículas com estrutura mais porosa (FAZAELI et al., 2012), o que pode ter resultado em maior solubilidade dos pós nesses casos.

Outro fator que pode ter contribuído para o maior valor de solubilidade dos tratamentos secos em maiores temperaturas está relacionado à desnaturação parcial das proteínas, até certo ponto que ocasionou um aumento da solubilidade dos pós. É importante ressaltar que as proteínas apresentam elevada resistência à desnaturação em condições de baixa umidade, característica de produtos obtidos por meio da secagem por atomização. Nesses casos, a liberdade de movimento das moléculas proteicas é reduzida, evitando, assim, alterações conformacionais e desnaturação. No entanto, pelo fato do IPS formar, rapidamente, uma crosta seca ao redor das partículas, a umidade ainda presente no seu interior pode fazer com que a desnaturação proteica ocorra à medida que a temperatura aumenta (ANANDHARAMAKRISHNAN; RIELLY; STAPLEY, 2007). No estudo de Anandharamakrishnan, Rielly e Stapley (2007) foi constatado que, para evitar desnaturação de proteínas do soro de leite, a temperatura de saída do ar na secagem por atomização não deve ultrapassar de 80 °C. No presente estudo, ao

realizar a secagem em temperatura de 170 °C, a temperatura de saída do ar foi de 108 °C. Sendo assim, os tratamentos secos a esta temperatura, possivelmente, sofreram uma desnaturação dos compostos proteicos presentes em sua constituição e, no caso de biopolímeros, o intumescimento, a mobilidade rotacional e translacional das cadeias dos materiais biopoliméricos, a reticulação e interações polímero-polímero afetam o número de moléculas capazes de interagir com a água (LEWICKI, 2004). As proteínas em sua forma nativa apresentam uma estrutura estabilizada por meio de interações moleculares, que são suficientes para manter uma conformação única dentro de determinadas condições ambientais. No entanto, uma mudança nessas condições (como o aumento da temperatura) resulta na ruptura das estruturas α -hélice e β -pregueada da proteína, o que altera sua conformação original, apresentando, assim, uma estrutura mais aberta (ANANDHARAMAKRISHNAN; RIELLY; STAPLEY, 2007). Com isso, maior número de moléculas capazes de interagir com a água presentes na estrutura das proteínas podem ter ficado mais expostas, o que resultou em maior solubilidade dos pós dos tratamentos secos em temperatura de 170 °C. Mishra, Mishra e Mahanta (2014) encontraram valores de solubilidade maiores na secagem por atomização de suco de amla (91,34 % a 94,98 %), assim como na secagem de extrato de sálvia (97,40 % a 99,16 %) (SAHIN-NADEEM et al., 2013).

As betalaínas são responsáveis pela coloração avermelhada da beterraba, além de apresentarem diversos benefícios à saúde (BAZARIA; KUMAR, 2016). A imobilização desses compostos em matrizes poliméricas, por meio de técnicas como a secagem por atomização, tem sido proposta como estratégia interessante para melhorar a estabilização das betalaínas, facilitar seu manuseio durante o processamento, e assegurar a sua biodisponibilidade, quando são utilizados como corantes alimentícios (OTÁLORA et al., 2015), sendo a qualidade de produtos secos por atomização dependente dos parâmetros de operação

(FAZAELI et al., 2012). Os teores de pigmentos betalínicos encontrados para os extratos de beterraba em pó estão apresentados na Tabela 3.

Para os teores de vulgaxantina-I, houve diferença significativa entre os tratamentos apenas em relação à temperatura. Para os teores de betanina, houve diferença significativa entre os tratamentos somente em relação às diferentes proporções de IN:IPS, assim como para os valores de retenção de betalaínas. Observou-se, ainda, que os valores de vulgaxantina-I foram maiores que os valores de betanina, para todos os tratamentos. Porém, essa característica foi observada já no vegetal in natura, o qual apresentou teores de vulgaxantina-I e betanina de 525,9 e 492,24 mg.(100g b.s.)⁻¹, respectivamente. Menores teores de betalaínas foram encontrados por Janiszewska (2014), que estiveram na faixa de 109 a 123 mg.(100g b.s.)⁻¹, e de 34 a 61 mg.(100g b.s.)⁻¹ para betanina e vulgaxantina-I, respectivamente, na secagem de suco de beterraba utilizando maltodextrina e goma arábica como agentes carreadores. Em outro estudo, realizado por Castro-Muñoz, Barragán-Huerta e Yáñez-Fernandez (2015), o teor de betalaínas totais obtidos após secagem por atomização de suco de pera espinhosa foi de 11,33 a 35,93 mg.100 g⁻¹, também menores que o presente trabalho. Os autores observaram, ainda, que menores temperaturas de secagem promoveram maior teor de betalaínas na matriz das partículas e isso está relacionado a menores perdas dos componentes em consequência da menor degradação térmica.

As diferenças entre os valores de betalaínas, encontrados no presente estudo e aqueles encontrados na literatura, podem ser atribuídas às diferentes fontes dos pigmentos, bem como às variações da quantidade dos compostos entre vegetais devido à diferença de cultivares (SLATNAR et al., 2015), clima, época do ano de plantio, estágio de maturação no momento da colheita, dentre outros (STINTZING; CARLE, 2004).

A secagem por atomização de suco de beterraba permite a obtenção de um extrato em pó com considerável teor de betalaínas, em uma forma mais estável (JANISZEWSKA; WLODARCZYK, 2013). Sendo assim, é importante que o produto obtido ao final da secagem apresente em sua constituição elevado teor de pigmentos betalínicos, mais próximo possível da quantidade encontrada no suco anterior ao processo, ou seja, maior retenção desses compostos, como forma de proporcionar quantidade razoável de pigmentos à matriz alimentícia e alcançar os resultados esperados.

Os valores obtidos para retenção de betalaínas no presente estudo (Tabela 3) foram satisfatórios, sendo que condições utilizando maior temperatura de secagem e proporção de IPS maior ou igual à proporção de inulina favoreceram maiores valores de retenção de betalaínas, enquanto em maior temperatura e menor proporção de IPS observou-se menor retenção de betalaínas. Ou seja, temperatura de secagem maior proporciona maiores valores de retenção de betalaínas, desde que a quantidade de IN não seja maior que a quantidade de IPS.

Na secagem por atomização, com o aumento da temperatura de entrada do ar, a transferência de calor e massa entre fluido aspergido e ar de secagem é otimizada (CALISKAN; DIRIM, 2013; FAZAELI et al., 2012), fazendo com que a água evapore em maior velocidade das gotículas e a matriz polimérica torna-se seca e rígida mais rapidamente (SINGH; DIXIT, 2014). Além disso, sabe-se que o IPS tem a capacidade de formar uma película ao redor da partícula imediatamente quando entra em contato com o ar de secagem, inclusive, mais rápido que outros materiais, como por exemplo, a maltodextrina, conforme verificado por Adhikari et al. (2009). O mesmo comportamento pode ter ocorrido no presente estudo, ou seja, a presença de maiores concentrações de IPS pode ter favorecido a formação mais rápida da matriz polimérica seca das partículas comparado ao tratamento em que se utilizou maior concentração de

inulina. Sendo assim, os tratamentos de concentração de inulina menor ou igual à concentração de IPS podem ter resultado em maior retenção de betalaínas nessas condições de secagem.

Janiszewska e Wlodarczyk (2013) observaram comportamento diferente, ou seja, o aumento da temperatura de entrada do ar na secagem por atomização de suco de beterraba resultou em menor retenção de betalaínas, utilizando maltodextrina como agente carreador. Na secagem por atomização de polpa de juçara utilizando goma arábica, amido modificado e concentrado proteico de soro como agentes carreadores, a retenção de antocianinas variou de 55,12 % a 95,05 % (SANTANA et al., 2016). O uso de IPS na secagem por atomização de extrato de casca de laranja também foi satisfatório no que se refere à retenção de fenólicos, que foi de 95 % (SORMOLI; LANGRISH, 2016).

Nos últimos anos, observa-se uma grande tendência no estudo e aplicação de aditivos de fontes naturais, dentre eles, os antioxidantes (CALDERÓN-OLIVER et al., 2017). E isso se deve ao crescente interesse por parte dos consumidores na aquisição de alimentos ricos nesses compostos, como forma de se balancear o nível de radicais livres produzidos pelas funções normais das células do organismo (VASCONCELLOS et al., 2016).

Os valores obtidos para atividade antioxidante dos extratos de beterraba em pó (Tabela 3) sofreram influência significativa tanto da temperatura como das diferentes proporções de IN:IPS ($p \leq 0,05$), apresentando menor valor para o tratamento seco a 170 °C e proporção IN:IPS de 1:2, e maior valor para o tratamento também seco a 170 °C e proporção IN:IPS de 2:1. Embora a atividade antioxidante tenha sido influenciada, estatisticamente, pela temperatura e proporção IN:IPS, não foi observada uma tendência relacionada à variação da temperatura ou da proporção de IN:IPS, e consequente aumento ou diminuição da atividade antioxidante. Isso pode estar relacionado a alguns fatores, semelhantes aos descritos no estudo de Tonon, Brabet e Hubinger

(2010) na secagem por atomização de suco de açaí. Os autores observaram que a possível presença de outros compostos nos pós de açaí, além dos polifenóis, podem ter contribuído para maior atividade antioxidante, bem como a ocorrência da reação de Maillard, a qual resulta na formação de componentes, que também apresentam atividade antioxidante.

No presente trabalho, podem ser considerados três fatores: a presença de outros pigmentos betalínicos, além dos que foram quantificados; a degradação de betalaínas que pode ter resultado na formação de ácido betalâmico, o qual também apresenta atividade antioxidante (GANDÍA-HERRERO; ESCRIBANO; GARCÍA-CARMONA, 2012); e a possibilidade de ocorrência da reação de Maillard, uma vez que o suco de beterraba apresenta elevado teor de açúcares em sua constituição e, aliado à presença de compostos proteicos e elevada temperatura de processo, favorecem o desencadeamento da reação, formando compostos característicos da mesma, os quais apresentam atividade antioxidante (TONON; BRABET; HUBINGER, 2010).

Menores atividades antioxidantes foram encontradas por Caliskan e Dirim (2013) e Krishnaiah, Sarbatly e Nithyanadam (2012) na secagem por atomização de extrato de noni e sumagre, respectivamente e, no estudo de Bazaria e Kumar (2016), valores próximos ao do presente trabalho foram obtidos na secagem por atomização de suco concentrado de beterraba.

A cor é um importante parâmetro sensorial na avaliação de características e aceitação de um produto pelo consumidor. Baseados na coloração, vários julgamentos podem ser feitos, levando ao consumidor a se decidir ou não pela compra (KANDANSAMY; SOMASUNDARAM, 2012). Embora os valores dos parâmetros L^* , C^* e h° dos diferentes tratamentos de extratos de beterraba em pó (Tabela 4) tenham apresentado diferença significativa em relação à temperatura e proporção de IN:IPS, estiveram bastante próximos entre si.

Os valores do parâmetro L^* obtidos representaram claridade intermediária dos extratos. Em relação aos parâmetros C^* e h° , os valores encontrados indicaram saturação razoável da coloração, que esteve mais próxima à vermelha. O menor ângulo hue, que representa maior proximidade à cor vermelho puro, foi observado para o tratamento seco a 130 °C e proporção IN:IPS de 2:1, no qual se utilizou temperatura menor de secagem (130 °C), o que pode indicar menor degradação de betacianinas. Por outro lado, nas temperaturas de 150 e 170 °C e proporção IN:IPS de 2:1, foi observado maior ângulo hue, indicando possibilidade de maior degradação de betacianinas.

Valores maiores de L^* foram obtidos por Ravichandran et al. (2014), na secagem por atomização de pigmentos betalínicos extraídos da beterraba, utilizando maltodextrina, pectina, goma guar e xantana como agentes carreadores, e valores semelhantes foram encontrados por Janiszewska (2014) na secagem de suco de beterraba utilizando maltodextrina e goma arábica como agentes carreadores.

Em relação aos parâmetros C^* e h° , valores próximos aos obtidos no presente estudo foram encontrados por Caliskan e Dirim (2013) na secagem por atomização de sumagre utilizando maltodextrina como agente carreador e diferentes temperaturas de entrada do ar.

Tabela 4 - Parâmetros de cor dos extratos de beterraba em pó descritos por meio dos parâmetros L*, C* e h°

| Tratamentos | | Parâmetros | | |
|------------------|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Temperatura (°C) | IN:IPS | L* | C* | h° |
| 130 | 1:2 | 52,77 ± 0,2 ^{Ba} | 30,55 ± 0,26 ^{Bb} | 6,60 ± 0,01 ^{Cb} |
| 130 | 1:1 | 47,60 ± 0,14 ^{Bc} | 31,86 ± 0,28 ^{Ba} | 6,45 ± 0,05 ^{Cc} |
| 130 | 2:1 | 52,12 ± 0,52 ^{Bb} | 29,90 ± 0,61 ^{Bb} | 5,06 ± 0,14 ^{Ca} |
| 150 | 1:2 | 54,27 ± 0,2 ^{Aa} | 29,60 ± 0,27 ^{Cb} | 9,17 ± 0,04 ^{Ab} |
| 150 | 1:1 | 51,90 ± 0,38 ^{Ac} | 30,53 ± 0,43 ^{Ca} | 8,42 ± 0,05 ^{Ac} |
| 150 | 2:1 | 51,03 ± 0,16 ^{Ab} | 29,80 ± 0,12 ^{Cb} | 10,75 ± 0,06 ^{Aa} |
| 170 | 1:2 | 52,16 ± 0,13 ^{Aa} | 31,36 ± 0,12 ^{Ab} | 5,74 ± 0,07 ^{Bb} |
| 170 | 1:1 | 52,58 ± 0,2 ^{Ac} | 31,27 ± 0,16 ^{Aa} | 6,10 ± 0,04 ^{Bc} |
| 170 | 2:1 | 51,81 ± 0,11 ^{Ab} | 31,07 ± 0,07 ^{Ab} | 9,38 ± 0,07 ^{Ba} |

Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente ($p > 0,05$) em relação à temperatura e proporção de IN:IPS, respectivamente, pelo teste de Duncan.

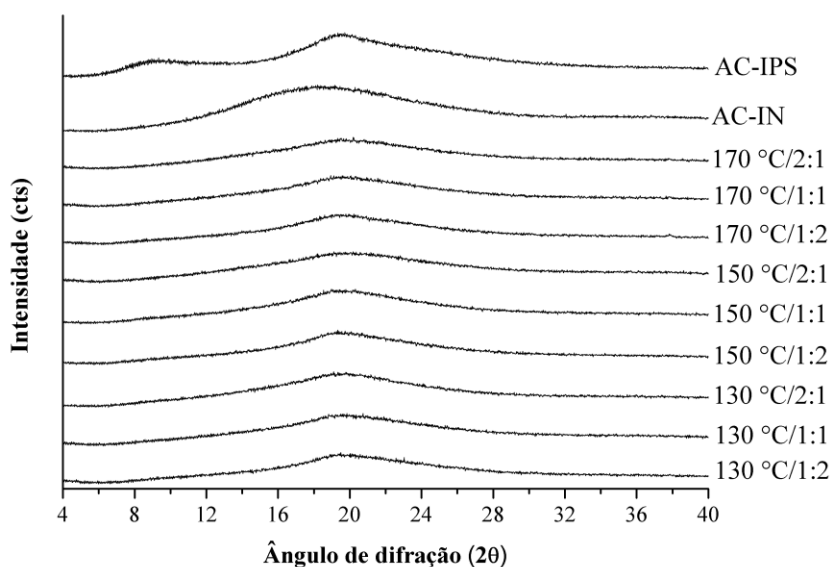
Por meio da difração de raio X, é possível a caracterização das propriedades estruturais das partículas contendo em sua matriz compostos bioativos, contribuindo para o conhecimento da estabilidade da partícula (SILVA, E. et al., 2016). A Figura 1 representa os perfis de difração de raio X dos extratos de beterraba em pó, bem como dos agentes carreadores utilizados neste estudo. A presença de picos largos e difusos em difratogramas representa estado amorfo do material, uma vez que as moléculas estão desordenadas e produzem bandas dispersas. Já os materiais cristalinos produzem picos definidos e agudos, pois apresentam estrutura altamente ordenada (CANO-CHAUCA et al., 2005).

Assim, todas as amostras avaliadas apresentaram estrutura amorfa, que pode ser verificada por meio dos picos largos e difusos presentes nos difratogramas. Com base neste resultado, observou-se que diferentes temperaturas de secagem e proporções de IN:IPS não resultou em diferenças na

cristalinidade do material. De acordo com Jayasundera et al. (2011), a natureza amorfa dos pós se deve à rápida evaporação de água e formação da partícula durante o processo. Com isso, o material não atinge as condições necessárias para formação de uma estrutura cristalina (CANO-CHAUCA et al., 2005). Sólidos amorfos são mais higroscópicos comparados aos materiais cristalinos, tornando-os menos estáveis dependendo da umidade do ambiente ao redor em que forem armazenados. Por outro lado, apresentam maior solubilidade, desejável em partículas cujo objetivo é aplicar em produtos alimentícios, melhorando sua característica de dispersibilidade e sua incorporação (BOTREL et al., 2014; SILVA, E. et al., 2016).

Partículas com estrutura em estado amorfo também foram observadas no estudo realizado por Chang et al. (2014), na secagem por atomização de extratos de ervas *Shuang-Huang-Lian*, utilizando L-leucina como agente carreador, e por Cano-Chauca et al. (2005) em suco de manga seco por atomização utilizando maltodextrina e goma arábica como agentes carreadores.

Figura 1 - Difratoogramas de raio X obtidos para os diferentes tratamentos de extrato de beterraba em pó (de 1 a 9) e dos agentes carreadores (AC) utilizados na secagem (IN-inulina; IPS-isolado proteico de soro).



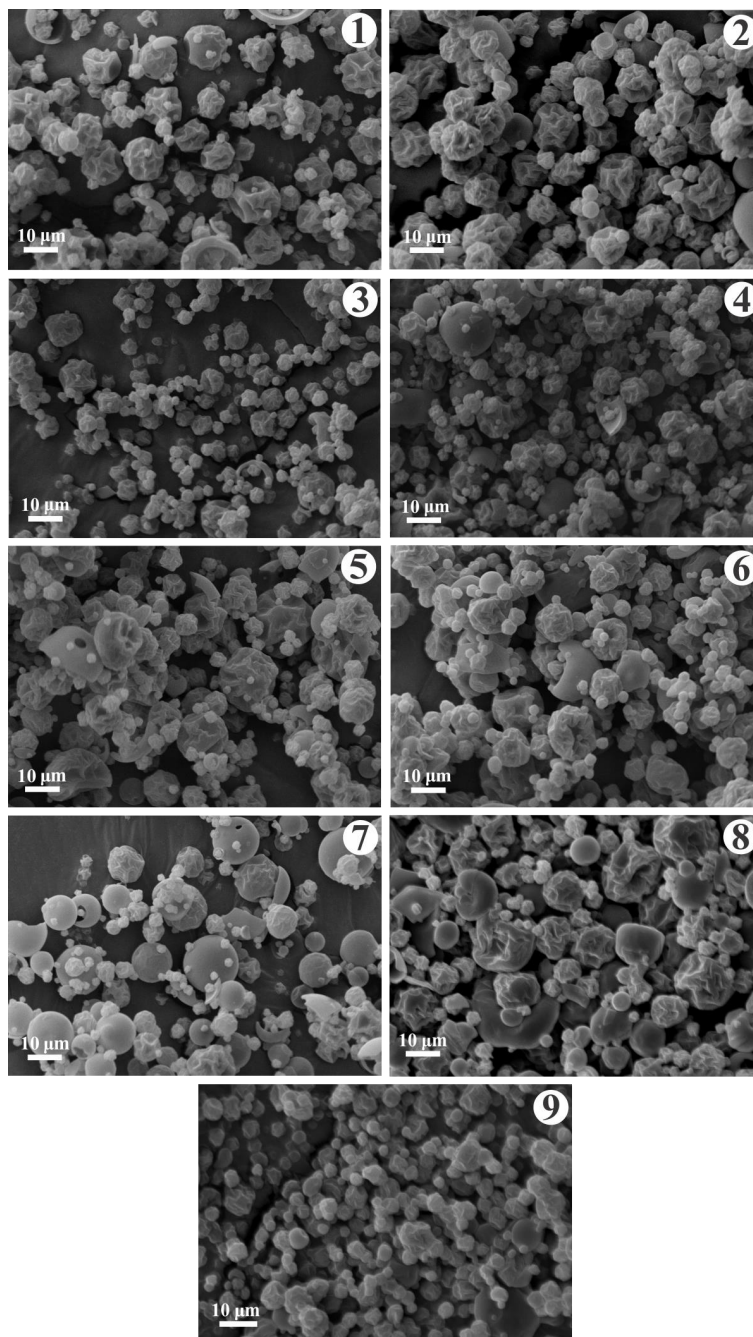
As imagens obtidas por meio de microscopia eletrônica de varredura das partículas dos diferentes tratamentos de extrato de beterraba em pó estão dispostas na Figura 2. Todos os tratamentos apresentaram partículas em formato esférico e tamanhos variados, típico de produtos secos por atomização (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008), sem rachaduras ou fissuras, a maioria de superfície enrugada e bastante dispersas, sem aglomeração.

Dentre tratamentos secos a 170 °C, aquele em que se utilizou maior proporção de inulina foi o único que não apresentou tantas partículas de superfície lisa como nos demais tratamentos secos utilizando a mesma temperatura e concentração de IPS maior ou igual à concentração de inulina. Quando se utilizam maiores temperaturas na secagem por atomização, a água das gotículas é evaporada a uma taxa bem mais alta comparada às secagens em

menores temperaturas, o que resulta na rápida formação de uma crosta seca e rígida nas partículas (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). O vapor contido no interior (vacúolo) destas partículas é condensado à medida que elas se deslocam para regiões mais frias do secador (ao final do processo). No entanto, pelo fato da crosta rígida já ter sido formada, as partículas não podem ser desinfladas, o que resulta em superfícies mais lisas das mesmas. No caso de secagens utilizando temperaturas menores, a crosta permanece úmida e flexível por mais tempo, permitindo que as partículas se contraíam, promovendo a formação de irregularidades na superfície à medida que resfriam (JONES et al., 2013; SINGH; DIXIT, 2014; TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). A formação da crosta seca nas partículas em que se utilizou maior concentração de inulina pode não ter sido tão rápida quanto o IPS, a 170 °C, resultando em menor número de partículas de superfície lisa.

Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho et al. (2016), Liang et al. (2013) e Rajabi et al. (2015) na secagem por atomização de componentes bioativos de açafraão, betacaroteno e antocianinas de juçara, respectivamente. Santana et al. (2016) também encontraram partículas de superfície mais lisa nos tratamentos em que se utilizou concentrado proteico de soro na secagem por atomização de polpa de juçara.

Figura 2 - Micrografias de partículas dos diferentes tratamentos de extrato de beterraba em pó



Analisando os valores obtidos para o desvio relativo médio (E) e coeficiente de determinação (R^2) (Tabela 5), os modelos que melhor se ajustaram aos dados experimentais foram o de Halsey e GAB, por apresentarem menores valores de E e R^2 . O modelo de Halsey descreveu de maneira satisfatória as isotermas de adsorção e dessorção obtidas para uva, damasco, maçã e batata no trabalho realizado por Kaymak-Ertekin e Gedik (2004). Estudos envolvendo secagem por atomização de betacaroteno e polpa de morango, realizados por Liang et al. (2013) e Oliveira et al. (2013), respectivamente, o modelo de GAB também foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

O modelo de GAB permite estimar o teor de umidade da monocamada (X_m) dos materiais, considerado relevante para a estabilidade de produtos desidratados (FANG; COMINO; BHANDARI, 2013), uma vez que consiste no valor em que a deterioração do produto é reduzida (SORMOLI; LANGRISH, 2016). E isso acontece graças à água que está fortemente ligada a sítios específicos do alimento, e não se encontra disponível para nenhum tipo de reação deteriorativa (AYRANCI; DUMAN, 2005).

O maior valor de umidade da monocamada observado foi para o tratamento seco a 130 °C e proporção IN:IPS de 2:1. Isso pode ser correlacionado à característica da inulina de ser um material rico em grupos hidrofílicos em sua constituição (BOTREL et al., 2014), apresentando maior disponibilidade de sítios específicos de ligação com a água. Além disso, a secagem desse tratamento foi realizada em temperatura menor. Temperaturas mais elevadas podem resultar na diminuição de ligações de hidrogênio na matriz das partículas e, conseqüentemente, menor disponibilidade de sítios específicos de ligação com a água (menor umidade da monocamada) (LEWICKI, 2004; MCLAUGHLIN; MAGEE, 1998). Sendo assim, a secagem desse tratamento em menor temperatura favoreceu a manutenção de pontes de hidrogênio e,

consequentemente, os sítios específicos de ligação com a água. Os valores de X_m encontrados por Sormoli e Langrish (2016) foram maiores na secagem por atomização de extrato de casca de laranja utilizando IPS como agente carreador.

Tabela 5 - Valores estimados dos parâmetros e coeficientes estatísticos para os modelos matemáticos de GAB, Halsey, Smith e Oswin.

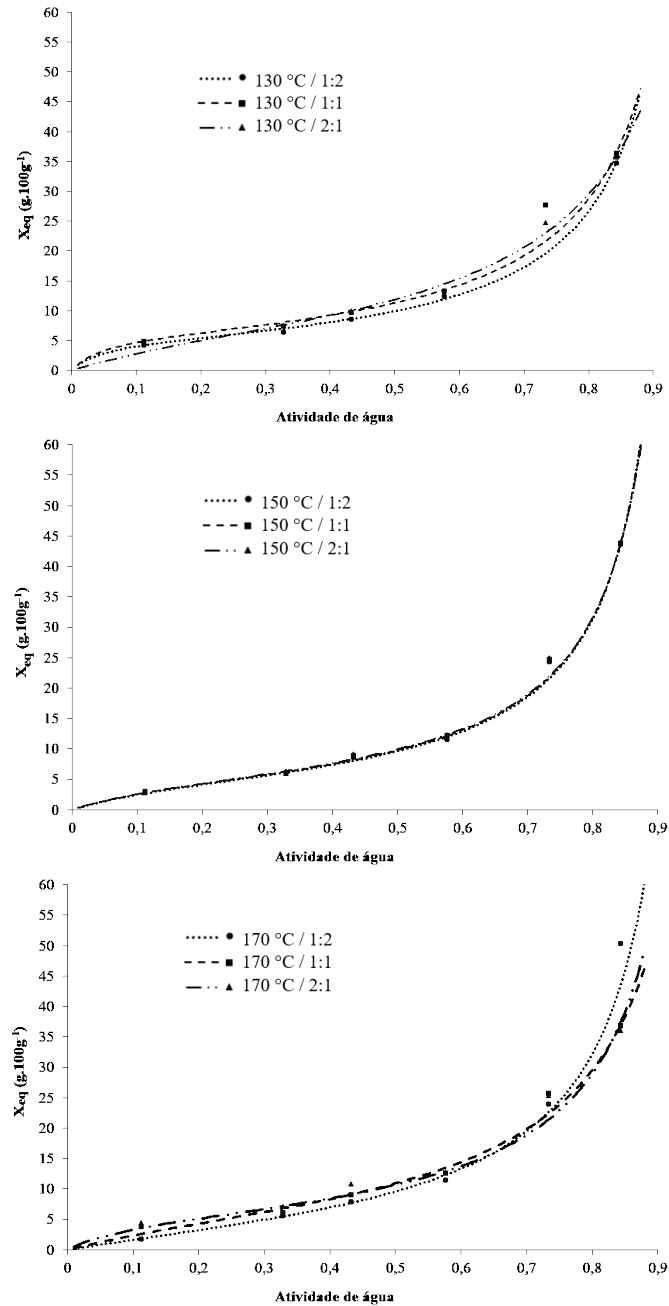
| Modelo | | Tratamentos | | | | | | | | |
|--------|----------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | | 130 °C | | | 150 °C | | | 170 °C | | |
| | | 1:2 | 1:1 | 2:1 | 1:2 | 1:1 | 2:1 | 1:2 | 1:1 | 2:1 |
| GAB | X _m | 5,14 ^{Ab} | 5,94 ^{Aab} | 6,48 ^{Aa} | 5,08 ^{Ab} | 5,73 ^{Aab} | 5,55 ^{Aa} | 6,02 ^{Ab} | 5,59 ^{Aab} | 5,82 ^{Aa} |
| | C | 22,66 | 21,92 | 12,49 | 9,08 | 5,90 | 7,33 | 2,75 | 11,68 | 17,86 |
| | K | 1,01 | 0,99 | 0,97 | 1,04 | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,01 | 1,00 |
| | E | 6,18 | 5,54 | 4,35 | 5,06 | 4,25 | 4,04 | 3,32 | 6,23 | 6,85 |
| | R ² | 0,93 | 0,96 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,98 |
| Halsey | a | 4,36 | 5,79 | 5,72 | 2,71 | 2,52 | 2,73 | 1,67 | 4,21 | 5,87 |
| | b | 1,15 | 1,21 | 1,21 | 0,95 | 0,93 | 0,95 | 0,79 | 1,12 | 1,22 |
| | E | 7,68 | 6,07 | 3,57 | 4,16 | 4,45 | 4,50 | 7,08 | 5,61 | 6,64 |
| | R ² | 0,95 | 0,97 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,98 |
| Smith | a | 2,91 | 3,53 | 2,84 | 1,52 | 1,13 | 1,39 | 0,16 | 2,36 | 2,74 |
| | b | 25,33 | 26,21 | 29,25 | 29,54 | 31,76 | 31,65 | 32,16 | 27,34 | 32,92 |
| | E | 15,05 | 12,53 | 9,02 | 14,02 | 13,02 | 12,62 | 13,68 | 13,54 | 11,71 |
| | R ² | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,94 | 0,95 | 0,95 | 0,92 | 0,98 | 0,97 |
| Oswin | a | 10,77 | 12,77 | 12,12 | 10,98 | 11,08 | 10,90 | 10,25 | 11,04 | 12,85 |
| | b | 0,69 | 0,63 | 0,64 | 0,78 | 0,80 | 0,63 | 0,84 | 0,72 | 0,61 |
| | E | 12,47 | 12,85 | 7,39 | 10,09 | 7,80 | 14,66 | 6,54 | 10,40 | 10,57 |
| | R ² | 0,96 | 0,97 | 0,99 | 0,99 | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 0,98 |

X_{eq}: teor de umidade no equilíbrio (g.100g⁻¹ b.s.); X_m: teor de umidade da monocamada (g.100g⁻¹ b.s.); C, K: constantes do modelo em relação à monocamada e suas propriedades; a_w: atividade de água; a, b: parâmetros do modelo; E: módulo do desvio relativo médio; R²: coeficiente de determinação. Médias seguidas por letras maiúsculas e minúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente (p>0,05) em relação à temperatura e proporção de IN:IPS, respectivamente, pelo teste de Duncan.

Em maiores atividades de água, foram observados maiores valores de umidade de equilíbrio (X_{eq}) para todos os tratamentos (FIGURA 3). Isso acontece em virtude da maior adsorção de água pelo material em ambientes com maior umidade relativa, até que seja atingido o equilíbrio termodinâmico (OLIVEIRA et al., 2013). Assim, as isotermas de adsorção dos extratos de beterraba em pó apresentaram formato sigmoidal (tipo II), conforme pode ser visualizado na Figura 3, sendo uma curva de comportamento típico, quando se refere a produtos alimentícios (AL-MUHTASEB; MCMINN; MAGEE, 2002). Resultado semelhante foi encontrado por Pauck et al. (2017) na secagem por atomização de honeybush utilizando inulina como agente carreador.

Outra característica observada foi em relação ao comportamento higroscópico dos diferentes tratamentos. Quanto maior a temperatura de secagem, maior a higroscopicidade dos extratos de beterraba em pó, quando armazenados em ambientes com elevada umidade relativa (84%). Nas secagens realizadas a 130 °C, a temperatura de saída do ar foi de 85 °C, próxima à temperatura recomendada para evitar desnaturação de proteínas do soro de leite (ANANDHARAMAKRISHNAN; RIELLY; STAPLEY, 2007). Sendo assim, em temperaturas maiores, conforme já citado no presente trabalho, possivelmente, a desnaturação proteica pode ter resultado em maior disponibilização de moléculas hidrofílicas em contato com o ambiente, uma vez que a estrutura da proteína se torna mais aberta, conferindo característica mais higroscópica aos tratamentos secos em maiores temperaturas, quando armazenados em ambientes com umidade relativa de 84%.

Figura 3 - Isotermas de adsorção dos diferentes tratamentos de extrato de beterraba em pó. Linhas representam os modelos de GAB ajustados, e os pontos, os dados experimentais, de cada tratamento.



Observa-se que os tratamentos em que se utilizou proporção IN:IPS de 1:1 e 2:1 se mostraram menos estáveis comparados àqueles em que a proporção foi de 1:2, quando se encontram em ambientes com atividade de água até 0,576 (FIGURA 4). Nesta atividade de água, foi possível observar que o uso da concentração de inulina igual ou superior ao IPS fez com que houvesse uma mudança (colapso) na estrutura das partículas, enquanto maior concentração de IPS favoreceu menor alteração dos extratos em pó dos respectivos tratamentos. Sendo assim, verificou-se que a característica higroscópica da inulina exerceu influência na estabilidade dos pós, uma vez que o efeito da adsorção de umidade na inulina é maior que no IPS.

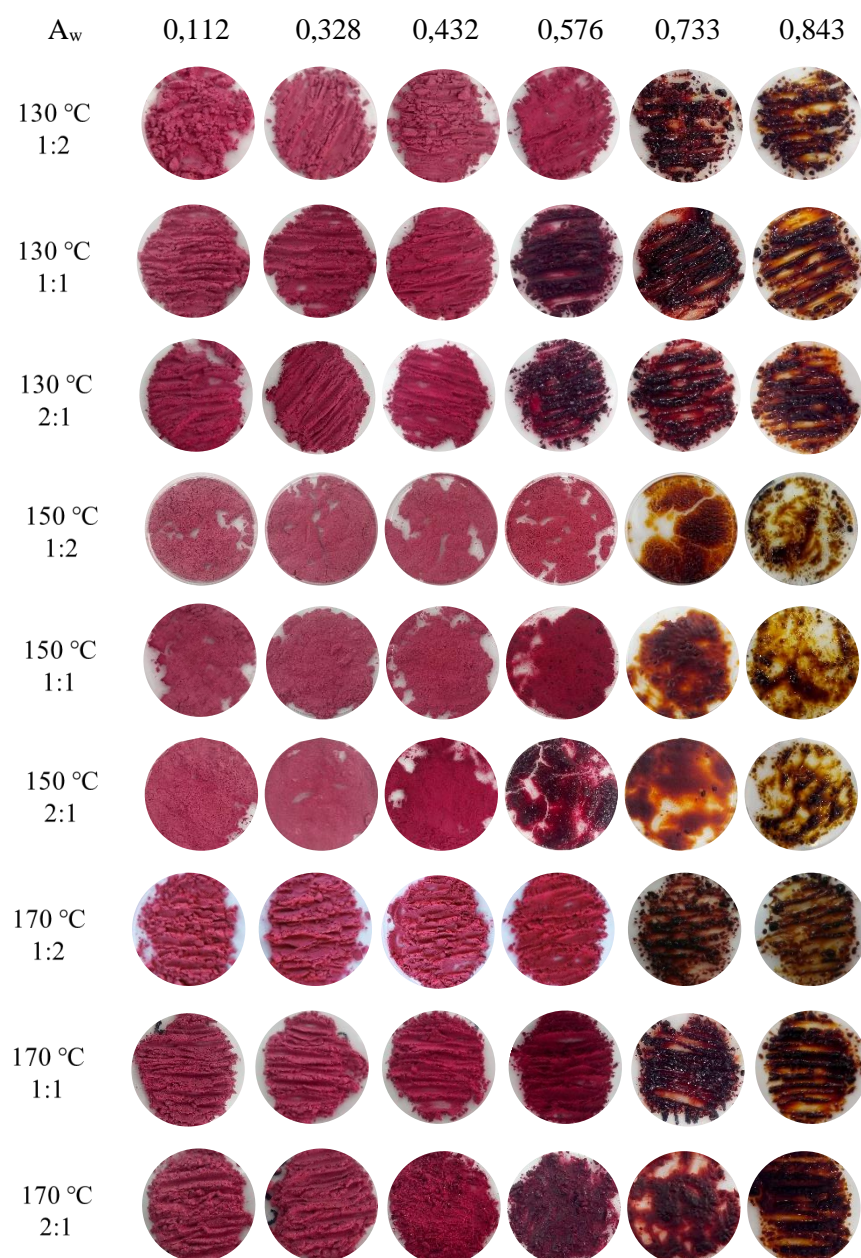
Outra característica observada foi que, na atividade de água de 0,843, houve mudança na coloração dos extratos de beterraba em pó para um tom amarelado. Isso pode ser decorrente da elevada adsorção de umidade pelas partículas e conseqüente degradação por meio da hidrólise das betalaínas, formando ácido betalâmico, que apresenta coloração amarela (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006), assim como observado no estudo de Herbach et al. (2006), no qual os autores observaram a formação de ácido betalâmico pela hidrólise de betalaínas.

A alteração da cor dos pós, quando armazenados em ambientes com maiores umidades relativas, também pode estar relacionada à possível ocorrência da reação de Maillard. A maior adsorção de umidade pelas partículas proporciona maior mobilidade aos componentes na sua matriz (SILVA, L. et al., 2016), o que favorece reações físico-químicas como a reação de Maillard, a qual resulta em compostos de coloração marrom (DELGADO-ANDRADE et al., 2010), o que, também, pode ter contribuído para mudança da cor dos extratos de beterraba em pó em ambientes com maior umidade relativa.

A adsorção de umidade pela partícula provocou alteração em sua estrutura e, sendo assim, a umidade relativa do ambiente foi confirmada ser um

fator de importância, que afeta a estabilidade, durante o armazenamento do produto sob condições adversas, assim como observado por Liang et al. (2013). O estado da água presente em um alimento desempenha um importante papel no que se refere à conservação do produto, uma vez que a qualidade do mesmo depende do teor de umidade, da migração ou adsorção de umidade pelo material ao longo de seu armazenamento (BOTREL et al., 2014).

Figura 4 - Extratos de beterraba em pó secos por atomização submetidos a diferentes umidades relativas a 25 °C



4 CONCLUSÃO

Não foi verificada uma tendência de redução ou aumento de parâmetros como umidade e coloração, quando se variou a temperatura de secagem e teor de inulina. No entanto, maior temperatura e maior teor de IPS proporcionaram maiores valores de atividade antioxidante e retenção de betalaínas. Ao avaliar as características dos pós nas isothermas de adsorção, a proporção de inulina:isolado proteico de soro de 1:2 proporcionou maior estabilidade, quando armazenados em ambientes com atividade de água até 0,576. Diante do exposto, nota-se a importância do uso de materiais como o IPS em conjunto com inulina como forma de aumentar a estabilidade do material, reduzindo a adsorção de umidade e alteração estrutural dos materiais. Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram a possibilidade da obtenção de um extrato em pó rico em betalaínas, sendo constituído de materiais poliméricos com grau de inovação para o setor alimentício, o que desperta interesse para futuros trabalhos envolvendo a sua aplicação em matrizes alimentícias.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro (Processo: 448530/2014-7); ao Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da Universidade Federal de Lavras, à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao CNPq e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo fornecimento dos equipamentos e suporte técnico para experimentos envolvendo microscopia eletrônica.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, B. et al. Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 94, n. 2, p. 144-153, Sept. 2009.
- AGHBASHLO, M. et al. Influence of wall material and inlet drying air temperature on the microencapsulation of fish oil by spray drying. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 6, n. 6, p. 1561-1569, Feb. 2013.
- AL-MUHTASEB, A. H.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 80, n. 2, p. 118-128, June 2002.
- ANANDHARAMAKRISHNAN, C.; RIELLY, C. D.; STAPLEY, A. G. F. Effects of process variables on the denaturation of whey proteins during spray drying. **Drying Technology**, New York, v. 25, p. 799-807, June 2007.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 17th ed. Maryland, 2007.
- AYRANCI, E.; DUMAN, O. Moisture sorption isotherms of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and its protein isolate at 10, 20 and 30 °C. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 70, n. 1, p. 83-91, Sept. 2005.
- BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 14, p. 21-27, June 2016.
- BHANDARI, B. R. et al. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, New York, v. 11, n. 5, p. 1081-1092, May 1993.
- BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, Lausanne, v. 266, p. 354-364, Nov. 2014.
- BOTREL, D. A. et al. Influence of wall matrix systems on the properties of spray-dried microparticles containing fish oil. **Food Research International**, Ottawa, v. 62, p. 344-352, Aug. 2014.

CALDERÓN-OLIVER, M. et al. Comparative study of the microencapsulation by complex coacervation of nisin in combination with an avocado antioxidant extract. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 62, p. 49-57, Jan. 2017.

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**, Rugby, v. 91, n. 4, p. 539-548, Oct. 2013.

CANO-CHAUCA, M. et al. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 6, n. 4, p. 420-428, Dec. 2005.

CARNEIRO, H. C. F. et al. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 115, n. 4, p. 443-451, Apr. 2013.

CARVALHO, A. G. da S. et al. Physical properties and morphology of spray dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract. **Powder Technology**, Lausanne, v. 294, p. 421-428, June 2016.

CASTRO-MUÑOZ, R.; BARRAGÁN-HUERTA, B. E.; YÁÑEZ-FERNÁNDEZ, J. Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarified juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 62, n. 1, p. 242-248, June 2015.

CHANG, Y. X. et al. Anti-hygroscopic effect of leucine on spray-dried herbal extract powders. **Powder Technology**, Lausanne, v. 266, p. 388-395, Nov. 2014.

DELGADO-ANDRADE, C. et al. Development of the Maillard reaction in foods cooked by different techniques. Intake of Maillard-derived compounds. **Food Chemistry**, London, v. 122, n. 1, p. 145-153, Sept. 2010.

DIMA, C. et al. Microencapsulation of essential oil of pimento [*Pimenta dioica* (L) Merr.] by chitosan/k-carrageenan complex coacervation method. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Amsterdam, v. 22, p. 203-211, Apr. 2014.

ELBE, J. H. von. Betalains. In: _____. **Current protocols in food analytical chemistry**. Madison: University of Wisconsin, 2001. p. F3.1.1-F3.1.7.

ERBAY, Z.; KOCA, N. Effects of whey or maltodextrin addition during production on physical quality of white cheese powder during storage. **Journal of Dairy Science**, Lancaster, v. 98, n. 12, p. 8391-8404, Dec. 2015.

ESATBEYOGLU, T. et al. Betanin: a food colorant with biological activity. **Molecular Nutrition and Food Research**, Weinheim, v. 59, n. 1, p. 36-47, Jan. 2015.

ESCRIBANO, J. et al. Characterization of the antiradical activity of betalains from *Beta vulgaris* L. roots. **Phytochemical Analysis**, Chichester, v. 9, n. 3, p. 124-127, May/June 1998.

FANG, Z.; COMINO, P. R.; BHANDARI, B. Effect of encapsulation of d-limonene on the moisture adsorption property of β -cyclodextrin. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 51, n. 1, p. 164-169, Apr. 2013.

FAZAELI, M. et al. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioprocess Technology**, Rugby, v. 90, n. 4, p. 667-675, Oct. 2012.

FERNANDES, R. V. de B. et al. Physical and chemical properties of encapsulated rosemary essential oil by spray drying using whey protein-inulin blends as carriers. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 49, n. 6, p. 1522-1529, June 2014.

FERNANDES, R. V. de B. et al. Proposing novel encapsulating matrices for spray-dried ginger essential oil from the whey protein isolate-inulin/maltodextrin blends. **Food and Bioprocess Technology**, New York, v. 10, n. 1, p. 115-130, Jan. 2017.

FERRARI, C. C. et al. Influence of carrier agents on the physicochemical properties of blackberry powder produced by spray drying. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 47, n. 6, p. 1237-1245, June 2012.

FLORES, F. P.; SINGH, R. K.; KONG, F. Physical and storage properties of spray-dried blueberry pomace extract with whey protein isolate as wall material. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 137, p. 1-6, Sept. 2014.

FRESTEDT, J. L. et al. A whey-protein supplement increases fat loss and spares lean muscle in obese subjects: a randomized human clinical study. **Nutrition**

and Metabolism, London, v. 5, n. 8, p. 1-7, Mar. 2008.

GANDÍA-HERRERO, F.; ESCRIBANO, J.; GARCÍA-CARMONA, F.
Purification and antiradical properties of the structural unit of betalains. **Journal of Natural Products**, Cincinnati, v. 75, n. 6, p. 1030-1036, June 2012.

GAROFULIC, I. E. et al. Optimization of sour cherry juice spray drying as affected by carrier material and temperature. **Food Technology and Biotechnology**, Zagreb, v. 54, n. 4, p. 441-449, June 2016.

GEORGIEV, V. G. et al. Antioxidant activity and phenolic content of betalain extracts from intact plants and hairy root cultures of the Red Beetroot *Beta vulgaris* cv. Detroit Dark Red. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 65, n. 2, p. 105-111, June 2010.

GOLDMAN, I. L.; NAVAZIO, J. P. Table beet. In: PROHENS, J.; NUEZ, F. (Ed.). **Vegetables 1: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and cucurbitaceae**. New York: Springer, 2008. v. 1, chap. 7, p. 219-238.

GUNESER, O. Pigment and color stability of beetroot betalains in cow milk during thermal treatment. **Food Chemistry**, Barking, v. 196, p. 220-227, Apr. 2016.

HERBACH, K. M. et al. Structural and chromatic stability of purple pitaya (*Hylocereus polyrhizus* [Weber] Britton & Rose) betacyanins as affected by the juice matrix and selected additives. **Food Research International**, Ottawa, v. 39, n. 6, p. 667-677, July 2006.

HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalain stability and degradation: structural and chromatic aspects. **Journal of Food Science**, Malden, v. 71, n. 4, p. 41-50, May 2006.

JAFARI, S. M. et al. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. **Drying Technology**, New York, v. 26, n. 7, p. 816-835, June 2008.

JANISZEWSKA, E. Microencapsulated beetroot juice as a potential source of betalain. **Powder Technology**, Lausanne, v. 264, p. 190-196, Sept. 2014.

JANISZEWSKA, E.; WLODARCZYK, J. Influence of spray drying conditions on beetroot pigments retention after microencapsulation process. **Acta Agrophysica**, Lublin, v. 20, n. 2, p. 343-356, Jan. 2013.

JAYASUNDERA, M. et al. Surface protein coverage and its implications on spray-drying of model sugar-rich foods: solubility, powder production and characterisation. **Food Chemistry**, Barking, v. 128, n. 4, p. 1003-1016, Oct. 2011.

JONES, J. R. et al. Effect of processing variables and bulk composition on the surface composition of spray dried powders of a model food system. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 118, n. 1, p. 19-30, Sept. 2013.

KANDANSAMY, K.; SOMASUNDARAM, P. D. Microencapsulation of colors by spray drying: a review. **International Journal of Food Engineering**, Essex, v. 8, n. 2, p. 1-15, May 2012.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; GEDIK, A. Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. **LWT - Food Science and Technology**, Trivandrum, v. 37, n. 4, p. 429-438, June 2004.

KRISHNAIAH, D.; NITHYANANDAM, R.; SARBATLY, R. A Critical review on the spray drying of fruit extract: effect of additives on physicochemical properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 54, n. 4, p. 449-473, 2014.

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

LEWICKI, P. P. Water as the determinant of food engineering properties: a review. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 61, n. 4, p. 483-495, Mar. 2004.

LIANG, R. et al. Effect of relative humidity on the store stability of spray-dried beta-carotene nanoemulsions. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 225-233, Dec. 2013.

MCLAUGHLIN, C. P.; MAGEE, T. R. A. The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 35, n. 3, p. 267-280, Feb. 1998.

MISHRA, P.; MISHRA, S.; MAHANTA, C. L. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. **Food and**

Bioproducts Processing, Rugby, v. 92, n. 3, p. 252-258, July 2014.

MOSER, P. et al. Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. **Food Chemistry**, Barking, v. 214, p. 308-318, Jan. 2017.

NAZZARO, F. et al. Microencapsulation in food science and biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 23, n. 2, p. 182-186, Apr. 2012.

NEMZER, B. et al. Betalainic and nutritional profiles of pigment-enriched red beet root (*Beta vulgaris* L.) dried extracts. **Food Chemistry**, Barking, v. 127, n. 1, p. 42-53, July 2011.

OLIVEIRA, M. I. S. et al. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 310-318, out./dez. 2013.

OTÁLORA, M. C. et al. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, Barking, v. 187, p. 174-181, Nov. 2015.

PAUCK, C. et al. Inulin suitable as reduced-kilojoule carrier for production of microencapsulated spray-dried green *Cyclopia subternata* (honeybush) extract. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 75, p. 631-639, Jan. 2017.

PITALUA, E. et al. Antioxidative activity of microcapsules with beetroot juice using gum Arabic as wall material. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 88, n. 2/3, p. 253-258, June/Sept. 2010.

RAJABI, H. et al. Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 51, p. 327-337, Oct. 2015.

RAVICHANDRAN, K. et al. Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. **Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 51, n. 9, p. 2216-2221, Sept. 2014.

SAHIN-NADEEM, H. 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**, London, v. 52, n. 1, p. 31-38, June 2013.

SANSONE, F. et al. Maltodextrin/pectin microparticles by spray drying as carrier for nutraceutical extracts. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 105, n. 3, p. 468-476, Aug. 2011.

SANTANA, A. A. et al. Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. **Food Chemistry**, Barking, v. 212, p. 1-9, Dec. 2016.

SILVA, E. K. et al. Ultrasound-assisted encapsulation of annatto seed oil: whey protein isolate versus modified starch. **Food hydrocolloids**, Oxford, v. 56, p. 71-83, May 2016.

SILVA, L. B. et al. Effect of differently processed açai (*Euterpe oleracea* Mart.) on the retention of phenolics and anthocyanins in chewy candies. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 51, n. 12, p. 2603-2612, Dec. 2016.

SINGH, S.; DIXIT, D. A review on spray drying: emerging technology in food industry. **International Journal of Applied Engineering and Technology**, Jaipur, v. 4, n. 1, p. 1-8, Jan./Mar. 2014.

SLATNAR, A. et al. Identification of Betalain profile of different beetroot (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) parts and cultivars. **Journal of Food Science**, Malden, v. 80, n. 9, p. C1952-C1958, Sept. 2015.

SORMOLI, M. E.; LANGRISH, T. A. G. Spray drying bioactive orange-peel extracts produced by Soxhlet extraction: use of WPI, antioxidant activity and moisture sorption isotherms. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 72, p. 1-8, Oct. 2016.

SOUZA, R. J. et al. **Cultura da beterraba: cultivo convencional e orgânico**. Lavras: Ed. UFLA, 2003. 37 p.

STEVENS, C. V.; MERIGGI, A.; BOOTEN, K. Chemical modification of inulin, a valuable renewable resource, and its industrial applications. **Biomacromolecules**, Washington, v. 2, n. 1, p. 1-16, Feb. 2001.

STINTZING, F. C.; CARLE, R. Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 15, n. 1, p. 19-38, Jan. 2004.

SYAMALADEVI, R. M. et al. Physicochemical properties of encapsulated Red Raspberry (*Rubus idaeus*) powder: influence of high-pressure homogenization. **Drying Technology**, New York, v. 30, n. 5, p. 484-493, Feb. 2012.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. **Food Research International**, Ottawa, v. 43, n. 3, p. 907-914, Apr. 2010.

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

VASCONCELLOS, J. et al. Comparison of total antioxidant potential, and total phenolic, nitrate, sugar, and organic acid contents in beetroot juice, chips, powder, and cooked beetroot. **Food Science and Biotechnology**, Seoul, v. 25, n. 1, p. 79-84, Feb. 2016.

WRUSS, J. et al. Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 42, p. 46-55, Sept. 2015.

YOUSEFI, S. et al. Developing spray-dried powders containing anthocyanins of black raspberry juice encapsulated based on fenugreek gum. **Advanced Powder Technology**, Lausanne, v. 26, n. 2, p. 462-469, Mar. 2015.

CONCLUSÃO GERAL

A secagem por atomização de suco de beterraba representa uma alternativa promissora para obtenção de betalaínas em uma forma mais estável, e posterior aplicação em alimentos. Desta maneira, torna-se possível a obtenção de produtos com corante natural, característica que o consumidor tem considerado importante na decisão da compra de um produto, além das betalaínas apresentarem atividade antioxidante e diversos benefícios à saúde humana.

No presente estudo, foi possível verificar que a adição de agentes carreadores no suco de beterraba anterior à secagem é imprescindível, aumentando sua estabilidade, quando comparado ao extrato de beterraba em pó sem adição desses agentes. Além disso, maior temperatura de secagem proporcionou, também, boas características do produto em pó ao final do processo. Maltodextrina, inulina e/ou isolado proteico de soro como agentes carreadores foram avaliados, e observou-se que o uso de inulina ou isolado proteico de soro, isoladamente, não resultou em boa estabilidade, de uma forma geral. Porém, ao utilizar os dois materiais simultaneamente, resultados satisfatórios foram alcançados.

O interesse na aplicação de ambos os materiais reside no fato que a inulina é classificada como prebiótico, e o isolado proteico de soro é rico em proteínas. Sendo assim, o extrato de beterraba em pó produzido a partir do uso de inulina e isolado proteico de soro, simultaneamente, como agentes carreadores, representa uma inovação no sentido de que se torna possível agregação de propriedades funcionais aos produtos a que forem aplicados.