

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LAUANE NUNES

USO DE MALTODEXTRINA E GOMA ARÁBICA NO PROCESSO DE
ENCAPSULAÇÃO POR *SPRAY DRYING* DE SORO DE QUEIJO

Patos de Minas

2015

LAUANE NUNES

USO DE MALTODEXTRINA E GOMA ARÁBICA NO PROCESSO DE
ENCAPSULAÇÃO POR *SPRAY DRYING* DE SORO DE QUEIJO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia - Campus de Patos de Minas como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Orientadora: Prof^a Dr^a Milla Gabriela dos Santos

Patos de Minas

2015

USO DE MALTODEXTRINA E GOMA ARÁBICA NO PROCESSO DE
ENCAPSULAÇÃO POR *SPRAY DRYING* DE SORO DE QUEIJO

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado
para obtenção do título de Bacharel no curso
de Engenharia de Alimentos da
Universidade Federal de Uberlândia –
Campus Patos de Minas (MG) pela banca
examinadora formada por:

Patos de Minas, 10 de dezembro de 2015.

Prof^ª. Dr^a. Milla Gabriela dos Santos, UFU/MG

Prof. Dr. Lúcio Vilela Carneiro Girão, UFU/MG

Prof^ª. Dr^a. Marta Fernanda Zotarelli, UFU/MG

Dedico este trabalho ao meu grande amigo Uarlei (*in memoriam*) que nunca deixou de ser
aquele amigo companheiro especial.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo incentivo e apoio;

À minha amiga Caroline, pelo apoio e amizade de sempre;

Aos meus amigos, os homens da minha vida, Alan, André, Gabriel, Pablo – o eterno “amigo” e Vitor, pela companhia, amizade e incentivo;

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Departamento de Engenharia Química pela oportunidade;

À professora Milla, pela orientação e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho;

Às empresas Coopatos e Nexira pela doação dos produtos;

Aos professores e técnicos da Universidade Federal de Uberlândia por todo auxílio prestado;

Ao professor Danylo por todos ensinamentos durante a participação no Programa de Educação Tutorial (PET);

À todos os colegas, inclusive as “pestes” (petianos) pela companhia e paciência.

RESUMO

O processo de secagem por atomização do soro de queijo pode apresentar alguns problemas que são contornados com o uso de agentes encapsulantes, facilitando a secagem e melhorando várias características deste produto. Por isso, o objetivo deste trabalho foi obter soro em pó, a partir de soro de queijo mussarela, utilizando o processo de secagem por atomização com dois diferentes agentes encapsulantes, maltodextrina ($17,0 \leq DE \leq 19,9$) e goma arábica. Foram realizados 10 tratamentos, sendo 4 para soro de queijo com maltodextrina e 4 com goma arábica, variando a concentração do agente encapsulante (10 e 20 %) e a temperatura (80 e 100 °C), os outros 2 tratamentos foram para soro de queijo sem agente encapsulante com variação da temperatura (80 e 100 °C). As características avaliadas do pó obtido foram rendimento, atividade de água, umidade, higroscopicidade, solubilidade, densidade aparente e cor instrumental. Resultados demonstraram que o rendimento foi fortemente influenciado pelo aumento na concentração de maltodextrina e aumento na temperatura; a atividade de água e a umidade por sua vez sofreram forte influência da temperatura, cujos valores foram menores com uso de maior temperatura; a higroscopicidade diminuiu com aumento na concentração dos agentes encapsulantes, e aumentou com o incremento da temperatura de secagem; a solubilidade foi influenciada negativamente pelo aumento de temperatura, enquanto a densidade aparente apresentou efeito positivo pela concentração dos agentes encapsulantes; e por último, a cor foi predominantemente influenciada pelos agentes encapsulantes utilizados. Portanto, a secagem por atomização de soro de queijo com uso de maltodextrina e goma arábica foi uma técnica adequada para obtenção do pó deste produto, demonstrando resultados satisfatórios, sendo as melhores condições de secagem em 100 °C com utilização de maltodextrina na concentração de 20 %.

Palavras-chave: Agentes encapsulantes. Atomização. Caracterização dos pós. Encapsulação. Secagem. Soro de queijo mussarela. *Spray dryer*.

ABSTRACT

The process of spray drying cheese whey can present some problems which are circumvented with the use of encapsulating agents, facilitating the drying and improving various characteristics of the product. Therefore, the aim of this work was to obtain whey powder from mozzarella cheese whey, using the spray drying process with two different encapsulating agents, maltodextrin ($17,0 \leq DE \leq 19,9$) and gum arabic. 10 treatments were performed in which 4 for cheese whey with maltodextrin and 4 with gum arabic, varying the concentration of the encapsulating agent (10 and 20 %) and temperature (80 and 100 °C), the other 2 treatments went cheese whey without encapsulating agent with a variation of temperature (80 and 100 °C). The evaluated characteristics of the powder obtained were yield, water activity, moisture, hygroscopicity, solubility, bulk density and instrumental color. Results showed that the yield was strongly influenced by the increase in the concentration of maltodextrin and increased temperature; water activity and moisture in turn suffered strong influence of temperature, whose values were smaller with use of higher temperature; hygroscopicity decreases with increase in the concentration of encapsulating agents, and increased with increasing drying temperature; the solubility was negatively influenced by increasing temperature, while the bulk density had a positive effect by concentration of encapsulating agents; and finally, the color was predominantly influenced by encapsulating agents used. Therefore, the spray drying of cheese whey with use of maltodextrin and gum arabic was an appropriate technique to obtain the powder of this product, showing satisfactory results, with the best drying conditions at 100 °C with use of maltodextrin in a concentration of 20 %.

Keywords: Encapsulating agents. Atomization. Powders characterization. Encapsulation. Drying. Mozzarella cheese whey. Spray dryer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Importação de produtos lácteos pelo Brasil, em mil toneladas, 2013/2014	21
Figura 2 - Exportação de produtos lácteos pelo Brasil, em mil toneladas, 2013/2014	21
Figura 3 - Mercado de queijos em volume e valor e projeções até 2017	22
Figura 4 - Produção de queijos no Brasil por tipo de produto	23
Figura 5 - Esquema de um sistema de secagem por atomização de um estágio	25
Figura 6 - Problema de deposição de pó no sistema que conecta a câmara de secagem ao ciclone	35
Figura 7 - Amostras de soro de queijo em pó para efeito de comparação da cor.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição genérica do leite bovino e soro	15
Tabela 2 - Valores físico-químicos do soro de queijo ácido e doce	16
Tabela 3 - Produtos do soro e suas propriedades funcionais	19
Tabela 4 - Importações de produtos lácteos em 2014.....	20
Tabela 5 - Rendimento do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem.....	35
Tabela 6 - Atividade de água do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem	38
Tabela 7 - Umidade do soro de queijo <i>in natura</i> e pó em diferentes condições de secagem ..	40
Tabela 8 - Higroscopicidade do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem .	43
Tabela 9 - Solubilidade em água do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem	45
Tabela 10 - Densidade aparente do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem	47
Tabela 11 - Parâmetros L^* , a^* e b^* do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	13
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	14
3.1. Soro de queijo	14
3.1.1. Obtenção e composição do soro de queijo	14
3.1.2. Poder poluente do soro de queijo	16
3.1.3. Aplicação do soro de queijo	17
3.2. Panorama atual.....	20
3.2.1. Importação e exportação de lácteos.....	20
3.2.2. Produção e consumo de queijos	22
3.3. Secagem	23
3.3.1. Secagem por atomização	24
3.3.2. Encapsulação por atomização.....	25
3.3.3. Agentes encapsulantes.....	28
3.3.3.1. Maltodextrina	29
3.3.3.2. Goma arábica.....	30
4. METODOLOGIA	31
4.1. Material.....	31
4.2. Métodos	31
4.2.1. Preparação das soluções	31
4.2.2. Secagem.....	32
4.2.3. Caracterização dos pós obtidos	32
4.2.3.1. Rendimento	32
4.2.3.2. Atividade de água.....	32
4.2.3.3. Umidade	33

4.2.3.4.	Higroscopicidade.....	33
4.2.3.5.	Solubilidade.....	33
4.2.3.6.	Densidade aparente	33
4.2.3.7.	Cor.....	34
4.2.4.	Análise estatística	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1.	Rendimento.....	35
5.2.	Atividade de água	37
5.3.	Umidade.....	39
5.4.	Higroscopicidade	42
5.5.	Solubilidade	44
5.6.	Densidade aparente	47
5.7.	Cor	48
6.	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

Dos principais derivados lácteos, no Brasil tem grande destaque o queijo, sendo o mussarela um dos mais produzidos no país (em torno de 28% da produção total). Cerca de 85 a 95 % do volume de leite utilizado para produção deste resulta em soro de queijo, originado após a separação da coagulação das micelas de caseínas, de cor amarelo-esverdeada, com sabor ligeiramente ácido ou doce (BALD et al., 2014).

O soro de queijo é constituído basicamente de água (93 - 94 %); lactose (4,5 - 5,0 %); proteínas (0,8 - 1,0 %); gorduras (0,3 - 0,5 %) e sais minerais (0,6 - 1,0 %) sendo os componentes de maior destaque, a lactose e proteínas com elevado conteúdo dos aminoácidos essenciais com propriedades bioativas (CARDOSO, 2014).

Devido ao seu alto poder poluente e conseqüentemente alto custo para o adequado tratamento, aliado à sua riqueza nutricional, o soro de queijo tem sido muito utilizado como ingrediente em alimentos e bebidas na forma líquida, concentrada ou em pó, modificado e/ou misturado com outros produtos (BALD et al., 2014; CARDOSO, 2014).

O soro de queijo em pó, apresenta a vantagem de ser relativamente estável para armazenamento, além de possibilitar a redução de volume no armazenamento, embalagem e transporte (CALISKAN; DIRIM, 2013). Para isso, geralmente são utilizadas técnicas de secagem de modo a obter esse produto. Sua formação ocorre por meio da aplicação de calor para remoção da umidade. Um dos métodos mais utilizados é a atomização por meio de *spray dryer*, porém, devido à composição química do soro, este pode facilmente aderir as paredes da câmara do equipamento ou ter sua higroscopicidade aumentada no final do processo, diminuindo rendimentos ou até mesmo causando problemas de operação (SCHUCK et al., 2004).

Afim de melhorar este método, é realizado então a encapsulação do soro por meio da atomização em *spray dryer*. Neste caso esta técnica reduz a perda de valor nutricional e de aromas, melhora a solubilidade e incorporação em produtos secos, reduz a higroscopicidade, além de evitar a deposição do material nas paredes do equipamento. Para isso é necessário usar um material encapsulante, carboidratos de alto peso molecular com alta temperatura de transição vítrea que facilitam a secagem, sendo os mais usados a maltodextrina e goma arábica (AZEREDO, 2005).

A maltodextrina $[(C_6H_{10}O_5)_n H_2O]$ é um polímero de unidades D-glicose ligadas por cadeia α -1,4 com peso molecular variado, podendo ser definida também como produto com valores de dextrose equivalente (DE) menores que 20. É utilizada como veículo de secagem

para auxílio da dispersão, evitando a aglomeração do produto (SANTOS, 2013). Por sua vez, a goma arábica (ou goma acácia) é constituída por um arranjo altamente ramificado de galactose, arabinose, ramnose, ácido glucurônico e cerca de 5% de componente proteico. É um dos agentes encapsulantes mais utilizados principalmente devido a sua solubilidade em água, baixa viscosidade, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e alta estabilidade oxidativa (ADITIVOS E INGREDIENTES, 2010).

Mesmo com a alta produção interna de queijo, que consequentemente resulta em grandes volumes de soro, somente 50 % desse volume é processado no Brasil, em contrapartida a maior parte do soro em pó utilizado industrialmente continua sendo importada, uma vez que o processamento no país não atende às necessidades das indústrias consumidoras do produto (PHITAN E SILVA et al., 2013).

Como ainda há poucas informações disponíveis na literatura sobre secagem de soro de queijo por *spray drying*, uma vez que os detalhes dos processos industriais não são disponibilizados, é necessário o desenvolvimento de técnicas que permitam obtenção de tal produto na forma de pó, para permitir uma maior aplicação em alimentos, resultando em produtos de elevado valor comercial e nutricional.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

- Secar soro de queijo mussarela utilizando o processo de encapsulação por *spray drying* com maltodextrina e goma arábica.

Objetivos específicos:

- Avaliar a influência da variação da temperatura de secagem nos pós obtidos;
- Avaliar a influência da concentração da maltodextrina e goma arábica nos pós obtidos;
- Avaliar as características físico-químicas do soro em pó obtido com e sem maltodextrina e goma arábica.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Soro de queijo

3.1.1. Obtenção e composição do soro de queijo

Dos principais derivados lácteos, no Brasil tem grande destaque o queijo, cuja denominação está reservada aos produtos em que a base láctea não contenha gordura e/ou proteínas de origem não láctea. De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos (BRASIL, 1996), entende-se por queijo o produto fresco ou maturado que se obtém por separação parcial do soro do leite ou leite reconstituído (integral, parcial ou totalmente desnatado), ou de soros lácteos, coagulados pela ação física do coalho, de enzimas específicas, de bactéria específica, de ácidos orgânicos isolados ou combinados, todos de qualidade apta para uso alimentar, com ou sem agregação de substâncias alimentícias e/ou especiarias e/ou condimentos, aditivos especificamente indicados, substâncias aromatizantes e matérias corantes.

Juntamente com a industrialização do leite para a produção de derivados lácteos, há a geração de coprodutos, destacando-se o soro de queijo ou soro de leite. Na fabricação do queijo, em torno de 85 a 95 % do volume do leite utilizado resulta em soro de queijo, originado após a separação da coagulação das micelas de caseínas, de cor amarelo-esverdeada, com sabor ligeiramente ácido ou doce (BALD et al., 2014).

Segundo Cardoso (2014) o soro de queijo é constituído basicamente de água (93 - 94 %); lactose (4,5 - 5,0 %); proteínas (0,8 - 1,0 %); gorduras (0,3 - 0,5 %); sais minerais (0,6 - 1,0 %) como cálcio, sódio, magnésio, potássio e fósforo, e outros minerais em quantidades reduzidas, por exemplo, flúor, iodo, cobre, zinco e ferro; a maioria das vitaminas presentes no leite (e solúveis em água), como a vitamina C, retinol, inúmeras vitaminas do complexo B (vitamina B1, B2, B5, B6 e B12), além de ácido láctico, ácido cítrico e, compostos nitrogenados não-proteicos (ureia e ácido úrico). A análise da composição genérica do soro, apresentada na Tabela 1, comprova a importância nutricional deste.

Tabela 1 - Composição genérica do leite bovino e soro

Componentes	Concentração no leite (% m/v)	Concentração no soro (% m/v)
Caseína	2,8	0,0
Proteínas	3,7	0,9
Gordura	3,7	0,04
Cinzas	0,7	0,7
Lactose	4,9	4,9
Sólidos Totais	12,8	6,35
Umidade	87,2	93,5

Fonte: Pinto, 2010.

Em meio a todos estes componentes, a lactose e proteínas são os mais importantes para a indústria de alimentos. A lactose é um tipo de carboidrato de baixo poder adoçante, muito usada na indústria alimentícia e também como material energético para vários processos biotecnológicos, principalmente na indústria farmacêutica. A porção proteica contém, β -lactoglobulina (55 - 65 %), α -lactalbumina (15 - 25 %), proteose-peptona (10 - 20 %), imunoglobulinas (10 - 15 %), albumina do soro bovino (5 - 6 %), caseínas solúveis (1 - 2 %), e proteínas em menores quantidades (< 0,5 %) como lactoferrina, lactolina, glicoproteína, transferrina de sangue e enzimas (SILVA; BOLINI; ANTUNES, 2004).

Estas proteínas possuem elevado conteúdo dos aminoácidos essenciais, em especial lisina, treonina, triptofano, fenilalanina e tirosina, que além de serem de fácil digestibilidade, possuem propriedades funcionais, tais como hidratação, emulsificação, gelificação e formação de espuma (SILVA; BOLINI; ANTUNES, 2004). Além disso, possuem várias sequências de aminoácidos com propriedades bioativas, ou seja, com a hidrólise das proteínas é possível liberar peptídeos capazes de modular respostas fisiológicas com impacto positivo sobre as funções do corpo que influenciam a saúde. Os efeitos à saúde podem ser classificados como antimicrobianos/antivirais, antioxidantes, antitrombóticos, antihipertensivo, antibióticos, imunomoduladores, antiúlcera, anticoagulante, opióide, ergogênica, antiolesterolêmica, moduladora de fatores de crescimento células, entre outros (AFONSO, 2008).

A composição do soro de queijo pode mudar, variando de acordo com o tipo de queijo produzido, variedade do leite (bovino, caprino ou ovino), período do ano em que foi produzido,

alimentação dos animais, estágio de lactação, qualidade do processamento industrial do leite para a obtenção de queijos e por fim do tipo de soro obtido (CORTEZ, 2013).

O soro doce é proveniente da coagulação enzimática do leite, entre pH 6,2 - 6,4 por meio da adição de enzimas (microbiana, vegetal ou animal), como por exemplo, a renina (coproduto dos queijos Minas Frescal, *Cheddar* e *Emmental*, por exemplo). Outro tipo de soro, o ácido, é obtido da produção do queijo fresco (*Petit Suisse*, Ricota, *Cottage*), após coagulação ácida do leite por meio da adição de ácidos (ácido láctico, acético ou cítrico) ou fermento lácteo, seguido pelo aquecimento do coalho (SILVA; BOLINI; ANTUNES, 2004; CORTEZ, 2013). O primeiro apresenta maior quantidade de peptídeos e aminoácidos livres, e é mais rico em lactose, por outro lado o segundo possui mais cálcio e fósforo, por causa da solubilização do complexo cálcio-fósforo das micelas de caseína em pH ácido (PINTO, 2010).

O soro de queijo ácido é menos utilizado na indústria de alimentos devido à grande quantidade de minerais, baixo teor de lactose e a variabilidade da composição, devido à diversidade de tecnologia de fabricação de queijos (SCHUCK et al., 2004). Porém, ele pode ser utilizado como realçador de sabor de molhos cremosos para saladas, retentor de água, emulsificante e fonte de cálcio; já o soro doce é muito utilizado em produtos de panificação, salgadinhos, sorvetes e sobremesas lácteas (PELEGRINI; CARRASQUEIRA, 2008).

Com base na Portaria 53 de 2013 (BRASIL, 2013) foi definido um padrão físico-químico do soro de queijo doce e ácido. Esses valores estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores físico-químicos do soro de queijo ácido e doce

Requisitos	Soro de queijo doce	Soro de queijo ácido
pH	6,0 a 6,8	Inferior a 6,0
Acidez titulável em ácido láctico (g/100 g)	0,08 a 0,14	-
Sólidos totais (g/100 mL)	Mínimo 5,0	Mínimo 5,0

Fonte: adaptado de Brasil (2013).

3.1.2. Poder poluente do soro de queijo

Devido à alta quantidade de substâncias orgânicas presentes no soro, representadas principalmente pela lactose (aproximadamente 70 % de sólidos totais) e pelas proteínas (aproximadamente 20 % de sólidos totais), este apresenta uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de 30 a 50 g/L e uma demanda química de oxigênio (DQO) de 50 a 80 g/L (SOUZA;

BEZERRA; BEZERRA, 2005; BALD et al., 2014). Se jogados diretamente nos rios podem causar contaminação, além de gerarem problemas ambientais na fauna e na flora, uma vez que as bactérias presentes na água do rio irão se multiplicar em alta velocidade consumindo o oxigênio dissolvido, então as algas (fitoplâncton) e pequenos animais (zooplâncton) morrem pela falta de oxigênio, consequentemente o alimento disponível para larvas e pequenos peixes irá se reduzir continuamente até que o rio morra (CORTEZ, 2013). Por isso, é estabelecido pela legislação ambiental a proibição do descarte de soro, de forma direta ou indireta, nos cursos de água. Segundo a Lei n. 9.605 de 13 de fevereiro de 1998 (BRASIL, 1998), os laticínios devem, obrigatoriamente, tratar seus efluentes industriais antes do descarte final.

A quantidade de 0,1 kg de soro corresponde ao poder poluente de uma pessoa e, portanto, uma tonelada desse produto teria o poder poluente equivalente ao de 10.000 indivíduos (SILVA; BOLINI; ANTUNES, 2004). Comparativamente, cada 5.000 litros de soro de queijo processados em uma Estação de Tratamento de Esgotos equivalem ao tratamento de despejos de 2.000 pessoas (SOUZA; BEZERRA; BEZERRA, 2005). Considerando que a fabricação de queijo resulta na produção de cerca de 9 litros de soro líquido para cada quilograma do produto final, seu tratamento é inviabilizado pelos altos custos (BALD et al., 2014).

Como este coproduto apresenta uma elevada riqueza nutricional é necessário o desenvolvimento de técnicas que permitam a criação de produtos alimentícios de valor comercial, utilizando-os como matérias-primas, pois, ao mesmo tempo que ocorre a transformação dos soros em produtos, se minimiza o problema ambiental causado pela poluição por meio do descarte incorreto, além de promover ganhos às indústrias através do desenvolvimento de novos produtos ou a agregação do soro aos já existentes (BALD et al., 2014).

Além disso, o *United States Department of Agriculture* (USDA, 2015) relata que há uma redução de 770,83 % e 583,33 % no custo quando se compara o preço do soro de queijo em pó com o leite em pó integral e desnatado, respectivamente. Portanto, o uso do soro de queijo em diversos produtos, proporciona também uma maior acessibilidade aos derivados lácteos por classes sociais mais baixas.

3.1.3. Aplicação do soro de queijo

Na maioria dos países o soro das indústrias de queijo tem sido utilizado como alimentação animal ou como uma fonte de enriquecimento de nutrientes em produtos de maior

valor agregado bem como para novos produtos alimentícios. Enquanto que na Europa e América do Norte o processamento para utilização do soro é próximo a 95 % do total na indústria de alimentos, no Brasil gira em torno de 50 %, causando perdas financeiras, desperdícios de nutrientes e impactos ambientais relevantes devido à alta carga orgânica deste (CARDOSO, 2014).

O soro de queijo quando utilizado em alimentos e bebidas, se destaca como um ingrediente inovador, uma vez que é flexível e adaptável a diversas aplicações, justificando seu uso em vários alimentos processados, podendo ser utilizado na forma líquida, concentrada ou em pó, modificado e/ou misturado com outros produtos, convindo a finalidades específicas (CARDOSO, 2014).

No Brasil, a maior parte do soro tem sido utilizada na forma líquida para o desenvolvimento de novos produtos. O preparo de bebidas de soro é um dos métodos mais eficientes de aproveitá-lo, como o uso em bebidas funcionais, lácteas e fermentadas, sucos vitaminados, ou em produtos lácteos, por exemplo, ricota, requeijão, sorvetes e sobremesas como doce de leite pastoso (CORTEZ, 2013; CARVALHO, 2013). Ele também é muito usado na panificação para produção de biscoitos, bolos e pães, favorecendo a intensificação do desenvolvimento de cor durante o cozimento e forneamento, além de favorecer o aumento de volume em pães (BYLUND, 1995).

O soro em pó deslactosado, isto é, com teor de lactose reduzido por meio do uso de enzimas ou diafiltração, é muito utilizado em queijos processados, molhos e carnes industrializadas nos casos em que são desejadas maiores concentrações de proteína. É também aplicado em produtos com o público alvo sendo intolerantes à lactose (BALDASSO, 2008).

O soro em pó desmineralizado é um produto que possui remoção de 60 a 90 % do teor de minerais por técnicas como eletrodíálise e troca iônica. É utilizado amplamente em fórmulas infantis, em coberturas aeradas, sobremesas congeladas e em produtos de confeitaria. Neste caso a intenção é a utilização da lactose como fonte de carboidratos, além disso, ele acresce *flavor* lácteo agradável, mas sem causar interferências no equilíbrio de minerais do produto final (BYLUND, 1995).

Por meio do soro pode-se obter também produtos como concentrados proteicos de soro (CPS), que é o produto obtido pela remoção de constituintes não proteicos do soro de forma que o produto final seco contenha, em geral, entre 35% e 80% de teor proteico; isolados de proteínas do soro (IPS), que é a forma comercial mais pura das proteínas do soro e contém entre 80 e 95% de proteína; soro em pó e lactose. Estes produtos estão listados na Tabela 3 juntamente com suas propriedades funcionais em alimentos (PINTO, 2010; ALVES et al., 2014).

Tabela 3 - Produtos do soro e suas propriedades funcionais

Produtos de soro	Propriedades funcionais
Soro em pó	Desenvolvimento de cor e sabor Adição de sólidos Dispersão
Concentrado proteico de soro	Alto valor nutricional Emulsificação Solubilidade
Isolado proteico de soro	Desenvolvimento de cor e sabor Alto valor nutricional Emulsificação Retenção de gordura Solubilidade Gelificação Retenção de água
Lactose	Retenção de umidade Agente texturizante

Fonte: Pinto, 2010.

Quando usado na forma de concentrados com teores de proteínas elevados, consegue-se coagulação ideal para produção de queijos processados com características similares a fabricação tradicional, como em queijos Minas Frescal, coalho e requeijão, além de elevar o valor nutricional destes, bem como o rendimento (CORTEZ, 2013).

Outra utilização a base das proteínas do soro, é a produção de embalagens de filmes finos, para frutas e legumes. A cobertura é extremamente fina, invisível a olho nu e atua como barreira à perda de umidade, controla a respiração e consequentemente a oxidação dos alimentos, além de apresentar ações bactericidas reduzindo ataques microbiológicos e outras características que ampliam o prazo de validade do alimento (CORTEZ, 2013). Além disso, o soro pode ser usado para a produção de combustível como álcool, ácido láctico e vinagre (CARVALHO, 2013).

Para alimentação animal o soro de queijo é utilizado como suplemento mineral em rações. Em animais ruminantes ele pode ser utilizado nas formas líquidas, condensada, seca ou

por meio de produtos de soro seco; para os suínos, na forma líquida ou em pó e para aves, somente na forma em pó (CARVALHO, 2013).

3.2. Panorama atual

3.2.1. Importação e exportação de lácteos

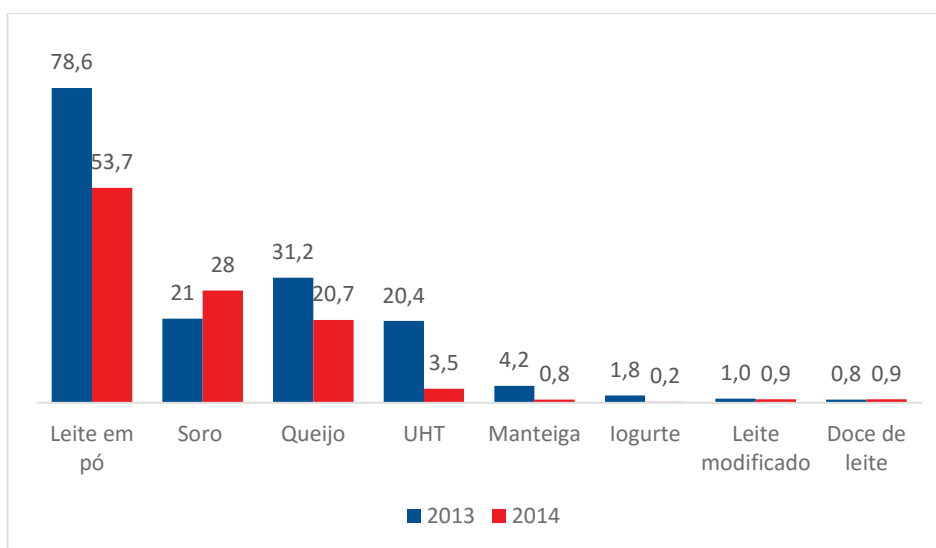
De acordo com informações do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC, 2015), as importações de produtos lácteos pelo Brasil no ano de 2014 reduziram 32 %, aproximadamente 51.000 toneladas quando comparadas com 2013. Dos produtos importados, 49,5 % foram em leite em pó de diferentes variedades; o segundo produto foi o soro de queijo em pó, que representou 25,8 %, e o terceiro foi o queijo com 19,0 % do total importado, como mostrado na Tabela 4. O principal país exportador de lácteos para o Brasil é a Argentina, sendo o leite em pó e o soro os principais produtos comprados.

Tabela 4 - Importações de produtos lácteos em 2014

Produto	Quantidade (toneladas)	% do total
Leite em pó	53.708.277	49,5
Soro de leite em pó	28.002.945	25,8
Queijo	20.658.109	19,0
Leite UHT	3.473.544	3,2
Doce de leite	904.172	0,8
Leite modificado – alimentação infantil	873.551	0,8
Manteiga	776.542	0,7
Iogurte	175.000	0,2
Total	108.572.140	100,0

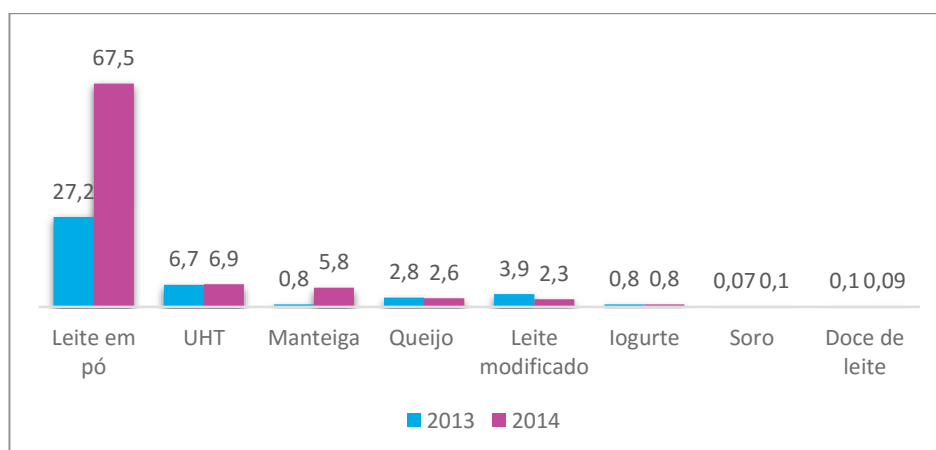
Fonte: MDIC, 2015.

Na Figura 1 estão apresentados os dados da importação de produtos lácteos. Observa-se uma redução de todos os produtos importados, exceto o soro em pó, cuja importação aumentou em 33%. A razão para esse aumento pode ser a maior utilização da proteína do soro no processamento de vários alimentos, estimulando mais compras desse produto (MDIC, 2015).

Figura 1 - Importação de produtos lácteos pelo Brasil, em mil toneladas, 2013/2014

Fonte: MDIC, 2015.

Com relação as exportações de lácteos, o Brasil faturou US\$ 345,4 milhões em 2014, que somaram 86.000 toneladas, o dobro da quantidade de 42.500 toneladas em 2013. Conforme apresentado na Figura 2, o produto de maior destaque em vendas é o leite em pó, representando 78,4 % do total exportado, enquanto o soro é praticamente só importado. O principal mercado brasileiro de lácteos foi a Venezuela (MDIC, 2015).

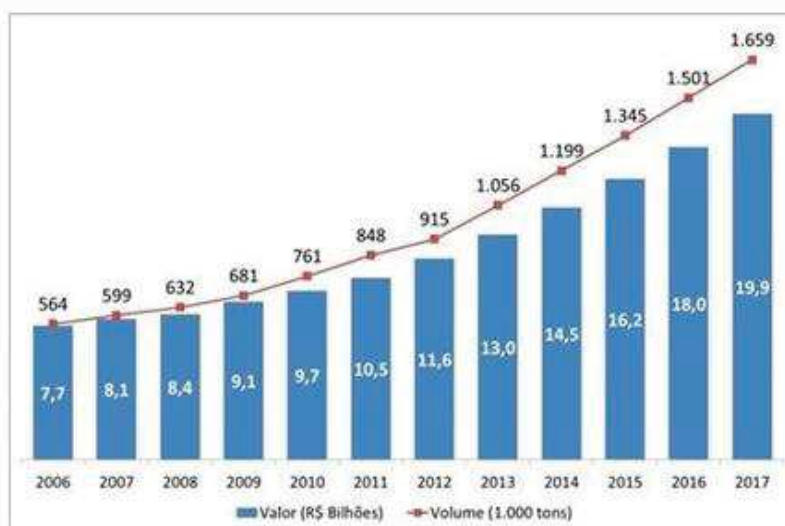
Figura 2 - Exportação de produtos lácteos pelo Brasil, em mil toneladas, 2013/2014

Fonte: MDIC, 2015.

3.2.2. Produção e consumo de queijos

O mercado brasileiro de queijos no período de 2006 a 2013 cresceu em volume 9,4 % ao ano e em faturamento total 7,7 % ao ano, e este ritmo de crescimento deverá aumentar até 2017. A projeção é de que entre 2014 e 2017 os volumes vendidos cresçam, em média, 11,4 % ao ano, e os valores anuais de venda 11,1 % ao ano (Figura 3). Deste modo, este mercado deverá atingir R\$ 20 bilhões em vendas em 2017 (CARVALHO; VENTURINI; GALAN, 2015).

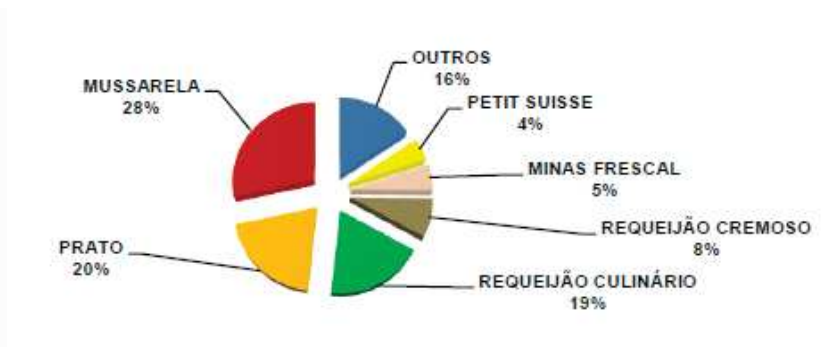
Figura 3 - Mercado de queijos em volume e valor e projeções até 2017



Fonte: Carvalho; Venturini; Galan (2015).

O perfil de consumo de queijos no Brasil é ainda muito baseado em queijos mussarela, prato e o requeijão, conforme apresentado na Figura 4, em que quase 70 % do volume produzido são destes, uma vez que a produção é voltada para o mercado nacional, segundo informação de dados da Associação Brasileira das Indústrias de Queijo (ABIQ, 2015) sobre a participação das diferentes categorias de queijos no total produzido no país.

Figura 4 - Produção de queijos no Brasil por tipo de produto



Fonte: ABIQ, 2015.

3.3. Secagem

Segundo Fellows (2000), secagem ou desidratação é definida como a aplicação de calor, sob condições controladas com a finalidade de remover a maior parte da água normalmente presente em um alimento, por meio da evaporação.

Este processo geralmente envolve dois períodos de secagem distintos. O primeiro possui taxa de secagem constante, em que a pressão parcial de vapor de água se mantém constante na superfície da gota. A velocidade de secagem é controlada por condições externas, como por exemplo, aumento de temperatura que conduz a velocidade de secagem maior. O outro período possui taxa de secagem decrescente, dependente do material, sendo que a secagem é mais difícil, pois a água deve migrar pelos poros do sólido para se separar do mesmo (MUJUMDAR, 2006).

A desidratação envolve transferência de calor (aquecimento) e massa (remoção da umidade). O gradiente de temperatura – entre o meio de aquecimento e o alimento – determinará a taxa de aquecimento do produto e, conseqüentemente, a taxa de remoção de umidade, porém, isso geralmente requer o uso de temperaturas elevadas, contribuindo de maneira negativa na qualidade sensorial do produto, como por exemplo, perda de nutrientes, perda de voláteis e desnaturação das proteínas; além disso, pode causar e/ou acelerar reações físicas, químicas e bioquímicas, as quais podem ser desejáveis ou indesejáveis, tais como o escurecimento não enzimático, caramelização e oxidação lipídica (PAULA, 2015; AZEREDO, 2012).

Apesar dessas desvantagens, esta operação apresenta várias características comprovando que representa uma boa alternativa tecnológica, como a possibilidade de redução de perdas pela extensão da vida de prateleira dos alimentos por meio da redução na atividade de água (a_w); promove facilidade no transporte e comercialização, uma vez que o produto seco

é leve, compacto, com estabilidade por longos períodos; e principalmente, o processo de secagem é relativamente econômico (CELESTINO, 2010).

As condições de operação como eficiência energética e o tempo de secagem, a qualidade do produto alcançado, fator econômico, entre outras características são determinantes na escolha do método de secagem afim de garantir um alimento seguro e com qualidade sensorial desejada. Em geral, os processos de desidratação podem ser divididos em dois grandes grupos: secadores adiabáticos, como secador de túnel, atomizador (*spray dryer*), leiteo fluidizado, e os secadores à vácuo, como secador de tambor (*drum dryer*) e outros (PAULA, 2015; GAVA, 1984).

3.3.1. Secagem por atomização

A secagem por pulverização, atomização ou *spray drying* é uma técnica que utiliza atomização de um líquido de maneira a criar gotículas deixando-as em suspensão, as quais são secas individualmente quando em contato com um meio de secagem gasoso quente, geralmente ar. Espontaneamente, a diferença de temperatura e pressão parcial da água entre o produto e o ar, resulta na transferência de energia na forma de calor do ar para o produto e na transferência de umidade do produto para o ar (MUJUMDAR, 2006).

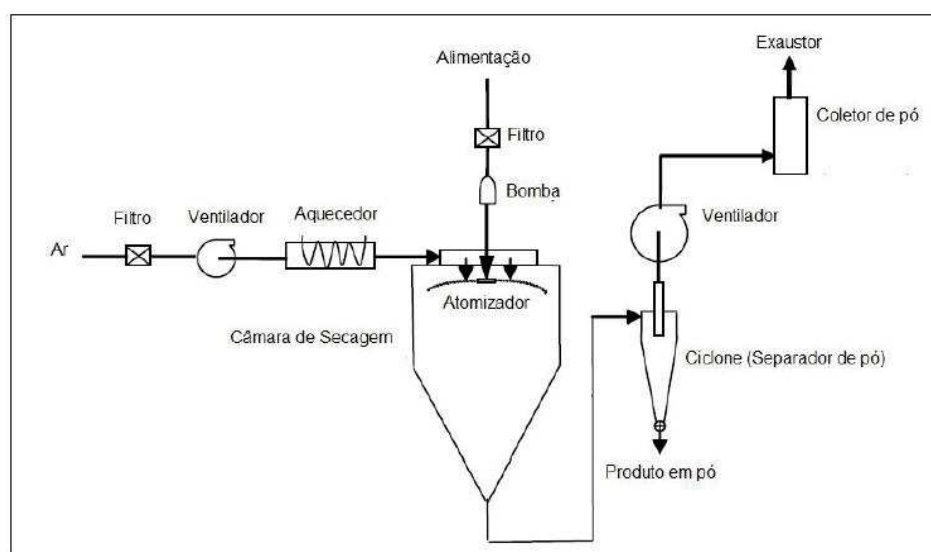
A evaporação da água é muito rápida e geralmente ocorre a uma temperatura relativamente baixa, graças à alta relação área de superfície/volume das gotículas, como o tempo de exposição das partículas ao calor é curto (geralmente poucos segundos), e a temperatura do núcleo não ultrapassa os 100 °C, os danos térmicos ao produto são minimizados (MASTERS, 1985). Além disso, esta secagem é uma operação relativamente rápida e contínua, sendo possível adaptar um controle automático total permitindo o domínio das condições de secagem, podendo dessa maneira, manter constantes as características do pó no final do processo de secagem (MASTERS, 1985). Esse sistema de secagem também possibilita adaptações quanto às temperaturas de entrada, vazão de ar e tamanho do bico atomizador, influenciando diretamente na temperatura de saída do pó, bem como nas características do produto final (PAULA, 2015).

Porém essa tecnologia apresenta algumas desvantagens, tais como os altos custos de instalação; pode favorecer perdas de voláteis; além disso, pode ocorrer aderência de produtos ricos em açúcar à superfície do secador (MÜLLER, 2011).

O funcionamento de um modelo de *spray dryer* pode ser explicado conforme esquematizado na Figura 5. Por um sistema de bombeamento, a suspensão é alimentada na parte

superior do atomizador, sendo injetada ao mesmo tempo com o gás (ar ou N₂) através de um bico atomizador. O processo de pulverização acontece quando a mistura líquida, sob efeito de compressão do gás, é gotejada pelo pequeno orifício do bico, cuja função é produzir gotas com menor tamanho possível e consequentemente maximizar a transferência de calor e a taxa de vaporização do solvente. Sendo assim, a secagem das gotículas ocorre ao entrar em contato com ar aquecido à temperatura de secagem e continua até se obter as características de partícula desejadas. Através de um sistema de sucção, o pó atomizado passa por um ciclone, no qual o gás se movimenta de forma circular, as partículas por sua vez descrevem uma trajetória helicoidal sob a ação do arraste, da gravidade e do atrito com as paredes do equipamento, as mais pesadas escoam em direção ao coletor de sólidos, as finas ficam retidas no coletor de pó e o ar sai no exaustor (OLIVEIRA, 2008; SILVA; JUNIOR BOGDAN; VISENTAINER, 2014).

Figura 5 - Esquema de um sistema de secagem por atomização de um estágio



Fonte: Paula, 2015.

3.3.2. Encapsulação por atomização

A encapsulação é um processo de empacotamento de partículas, como por exemplo compostos de sabor, pigmentos, acidulantes, nutrientes, enzimas e conservantes por meio de cápsulas comestíveis. Estas partículas apresentam um núcleo interno, constituído pelo composto a encapsular, e por uma membrana de revestimento, geralmente de natureza

polimérica com espessura variável. As cápsulas podem ser classificadas pelo tamanho em 3 categorias: macro ($> 5.000 \mu\text{m}$), micro ($0,2 - 5.000 \mu\text{m}$) e nanocápsulas ($< 0,2 \mu\text{m}$); além disso, estas podem ser de duas formas, aquelas nas quais o núcleo é concentrado na região central, rodeado por um material de parede contínuo, denominadas de microcápsulas, e aquelas nas quais o núcleo é uniformemente disperso em uma matriz, sendo classificadas como microesferas (AZEREDO, 2005; BRASILEIRO, 2011).

O material encapsulante é dissolvido no material a ser encapsulado, geralmente hidrofóbico, e a mistura resultante é bombeada através de um atomizador para uma câmara em alta temperatura, como a fase oleosa está encapsulada na fase aquosa, quando as cápsulas entram em contato com o ar aquecido, a água se evapora rapidamente (DZIEZAK, 1988).

Existem vários métodos que podem ser utilizados para encapsulação, entre os métodos físicos destacam-se o *spray drying*, o *spray cooling*, o *spray chilling*, o leite fluidizado, a extrusão centrífuga com múltiplos orifícios, a cocristalização e a liofilização. Entre os métodos químicos listam-se a inclusão molecular e a polimerização interfacial. Nos métodos físico-químicos encontram-se a coacervação simples ou complexa, a separação por fase orgânica e a emulsificação seguida de evaporação do solvente, pulverização em agente formador de reticulação e envolvimento lipossômico (SANTOS; FERREIRA; GROSSO, 2000).

Segundo Azeredo (2005) a encapsulação permite a redução de alterações que podem resultar em perda de aroma, alteração de cor ou perda do valor nutricional; separação de componentes reativos ou incompatíveis, bem como mascarar compostos de sabor indesejável; além da melhoria na solubilidade do núcleo e a incorporação em sistemas secos. Isso tudo contribui para prolongamento da estabilidade do produto e, consequentemente, o *shelf life* deste.

O processo oferece a possibilidade de se trabalhar com materiais termolábeis e diversas variedades de matrizes encapsulantes; há boa retenção de compostos voláteis e boa estabilidade dos encapsulados; além de baixo custo de produção que permite a realização do processo em larga escala de modo contínuo (DZIEZAK, 1988).

Vários aspectos devem ser levados em consideração para otimização do processo de secagem, permitindo a obtenção de um produto com boas características e bom rendimento. Segundo Tonon (2009) a qualidade dos produtos formados pela atomização depende das características do atomizador, da transferência de calor e massa entre o ar aquecido e as gotículas formadas na câmara de secagem, da velocidade de secagem, da pressão operacional e das temperaturas de entrada e saída do ar. As propriedades físico-químicas do pó produzido dependem das características do líquido alimentado (viscosidade, tamanho das partículas, concentração de sólidos e vazão), assim como do ar de secagem (temperatura e pressão) e do

tipo de atomizador. A distribuição do tamanho das partículas varia com a geometria do bico utilizado, com a velocidade de alimentação e a temperatura de ar de entrada.

Durante a secagem, à medida que a umidade é retirada, a solução fica mais concentrada e ocorre aumento proporcional de sua viscosidade, podendo ocorrer aderência entre as partículas (coesão) ou na parede (adesão), diminuindo o rendimento. Essa aderência é provocada pela transição vítrea do material e a geração de cargas eletrostáticas (TONON, 2009; SCHUCK et al., 2004).

Na temperatura de transição vítrea (T_g) ocorre transição de uma estrutura vítrea para um estado gomoso. Durante a secagem por *spray drying* como ocorre uma rápida remoção de umidade das gotículas do material, o produto obtido apresentará caráter amorfo, ou ainda, com algumas regiões microcristalinas dispersas. Este é um estado metaestável em não equilíbrio que apresenta moléculas desalinhadas/emaranhadas, com a estrutura mais aberta e porosa com alto grau de higroscopicidade, influenciando sobre as características do material desidratado, principalmente em sua tendência a tornar-se pegajoso, acentuando-se mais à medida que este absorve pequenas quantidades de água (BARBOSA, 2010).

Como consequências, pode haver comprometimento da estabilidade do produto; aumento do tempo de processo; redução do rendimento (devido adesão às paredes do secador) com aumento das atividades microbiológicas, podendo causar até mesmo problemas operacionais ao equipamento gerando parada da instalação, além do extenso tempo de limpeza (SCHUCK et al., 2004).

A temperatura em que ocorre a aderência do pó do soro de queijo durante a secagem depende basicamente da composição deste, principalmente os açúcares, como por exemplo a lactose, especialmente a lactose amorfa; umidade; além da natureza de outros açúcares presentes, bem como as suas propriedades físicas (higroscopicidade, solubilidade e T_g) (SCHUCK et al., 2004).

Alguns fatores a serem controlados para evitar tal fenômeno são: redução da temperatura e umidade do ar de entrada, uma vez que a temperatura do ar de saída deve ser mantida abaixo de 100 °C para evitar a formação de lactose no estado amorfo; aumento do teor de sólidos do soro e utilização do sistema de secagem com 2 ou 3 estágios; adição de agentes encapsulantes, que são carboidratos de alto peso molecular cuja função é aumentar a T_g do material, entre outros (SCHUCK et al., 2004; OLIVEIRA, 2008).

3.3.3. Agentes encapsulantes

Os agentes encapsulantes podem apresentar diferentes origens, como natural, semissintética ou sintética, incluindo materiais poliméricos, hidrófilos ou hidrófobos, ou uma associação de ambos (BRASILEIRO, 2011).

A escolha do material a ser utilizado é um dos principais fatores que influencia a estabilidade do composto encapsulado, para isso deve-se levar em consideração vários fatores, como: propriedades físico-químicas do núcleo (porosidade e solubilidade) e da parede (viscosidade, propriedades mecânicas, transição vítrea e capacidade de formação de filme), compatibilidade do núcleo com a parede, mecanismo de controle, fatores econômicos, tipo de aplicação pretendido (fármaco, aditivo alimentar, fragrância, ou pesticida) e método de encapsulação selecionado (BRAZEL, 1999; BRASILEIRO, 2011).

O agente encapsulante que possui capacidade emulsificante, isto é, possui grupamentos hidrofílicos e hidrofóbicos, melhora a retenção de compostos. Além disso, para o encapsulante ideal, este deve atender aos seguintes requisitos: boas propriedades de formação de filme; baixa higroscopicidade para impedir a aglomeração e ajudar a sua manipulação; baixa viscosidade a altas concentrações de sólidos; ser fácil de manusear durante a encapsulação; proteger o material a encapsular de circunstâncias adversas, como o oxigênio, luz e pH e não deve ser reativo com o composto a encapsular, além de ser insolúvel; apresentar sabor e odor suaves e baixo custo. Como na prática um mesmo composto não engloba todas essas propriedades, geralmente usam-se misturas (SHAHIDI; HAN, 1993).

Segundo Teriet Júnior (2012) os materiais mais utilizados como agentes encapsulantes incluem: gomas (goma arábica, alginato de sódio e carragena); carboidratos (amido, dextrina, açúcar e xarope de milho); celuloses (carboximetilcelulose, etilcelulose, metilcelulose, acetilcelulose e nitrocelulose); lipídeos (cera, parafina, triestearina, ácido esteárico, monoglicerídeos e diglicerídeos, óleos e gorduras); proteínas (glúten, caseína, gelatina e albumina).

Os agentes que normalmente são mais utilizados no processo de secagem por atomização são a maltodextrina e goma arábica, principalmente devido à alta solubilidade e baixa viscosidade (SOUZA, 2013).

Alguns estudos indicam que a goma arábica tem valores de T_g maiores que as de maltodextrinas, sugerindo que a primeira é provavelmente mais eficiente do que a última, entretanto, como a goma arábica geralmente é produzida em áreas com imprevisíveis variações

climáticas e turbulência política, seu custo alto e oferta limitada restringem o uso devido ao risco de interrupção na produção (McNAMEE; O'RIORDAN; O'SULLIVAN, 1998).

3.3.3.1. Maltodextrina

A maltodextrina $[(C_6H_{10}O_5)_n H_2O]$ é um polímero de unidades D-glicose ligadas por cadeia α -1,4 com peso molecular variado. É um produto obtido pela hidrólise controlada do amido por via físico-química (calor, pressão e ácidos), enzimática (amilases), ou ambas vias. O amido utilizado pode ser de diferentes fontes, como o milho, a batata e o arroz, bem como de outros materiais amiláceos tais quais a mandioca, o trigo e o sorgo, dependendo da disponibilidade e do preço da matéria-prima produzida em cada país (SANTOS, 2013; SILVA; JUNIOR BOGDAN; VISENTAINER, 2014). São definidas também como produtos com valores de dextrose equivalente (DE) menores que 20.

A DE é relacionada ao grau de polimerização de acordo com a Equação 1:

$$DE = \frac{100}{DP} \quad (1)$$

Em que DE é dextrose equivalente (grau de hidrólise) e DP é o grau de polimerização. Ambos se referem a valores médios para uma população de moléculas.

Assim, a DE de um produto de hidrólise equivale ao seu poder redutor com relação a dextrose pura (D-glicose), indicando deste modo sua estabilidade e funcionalidade (BEMILLER; WHISTLER, 1996).

O papel das maltodextrinas como veículo de secagem justifica-se pelo auxílio da dispersão, evitando a aglomeração do produto nas tubulações do *spray*; além disso, confere ao produto seco granulação homogênea e garantia de boa dispersão do produto em água ou solvente. Este agente também é utilizado na forma de gelificantes e espessantes, previne a cristalização, auxilia na dispersibilidade e controla o congelamento. De modo geral, a maltodextrina é solúvel em água, possui baixa densidade e baixa viscosidade em altas concentrações, é menos higroscópica, não apresenta sabor adocicado ou de amido, além de apresentar baixo custo relativo. O maior problema da utilização desse material de parede é que ele tem pouca capacidade emulsificante e baixa retenção de compostos voláteis. Características como a solubilidade, higroscopicidade, sabor doce e compressibilidade aumentam com o valor de DE (ALEXANDER, 1996).

3.3.3.2. Goma arábica

A goma arábica ou goma acácia, é o exsudado gomoso dessecado dos troncos e dos ramos da *Acacia senegal* ou de outras espécies africanas de acácia, como a *Acacia seyal*. É um polímero que consiste principalmente de ácido D-glucurônico, L-ramnose, D-galactose e L-arabinose com cerca de 5% de proteína e é composta de duas frações: a primeira, composta de cadeias de polissacarídeos com pouco ou nenhum material nitrogenado, correspondendo aproximadamente a 70% da molécula; e a segunda, de moléculas de elevado peso molecular, com proteínas integrantes de sua estrutura. Tem em média um peso molecular entre 300 e 800 kDa (CARNEIRO, 2011; ADITIVOS E INGREDIENTES, 2010).

É produzida por meio de um processo físico, cuja primeira etapa é a purificação na forma líquida para remoção de qualquer material estranho, então a solução é pasteurizada e secada através de *spray dryer* ou *drum dryer* (ADITIVOS E INGREDIENTES, 2010).

É um dos agentes encapsulantes mais utilizados atualmente, principalmente devido a sua solubilidade em água, baixa viscosidade quando comparada a outros polissacarídeos de massa molecular similar, boas propriedades emulsificantes, sabor suave e alta estabilidade oxidativa, além disso é inodora e quase insípida (CARNEIRO, 2011).

4. METODOLOGIA

4.1. Material

O soro de queijo mussarela utilizado nos experimentos foi doado pela empresa Coopatos situada em Patos de Minas – MG no mês de setembro. As amostras foram coletadas após a dessoragem do queijo mussarela, utilizando recipientes de vidro previamente esterilizados e então transportadas em caixas isotérmicas e posteriormente congeladas. A secagem foi feita em triplicata após descongelamento das amostras em temperatura refrigerada, e as análises dos pós ocorreu após a obtenção destes, em triplicata.

Os agentes encapsulantes utilizados foram maltodextrina da empresa NeoNutri com dextrose equivalente mínima de 17,0 e máxima de 19,9; e goma arábica (INSTANTGUM BB®) doada pela empresa Nexira Brasil (São Paulo, Brasil).

4.2. Métodos

Para a determinação dos parâmetros utilizados no estudo, foram realizados testes preliminares avaliando a temperatura (faixa testada entre 60 a 100 °C) e concentração de maltodextrina (nas concentrações de 5, 10, 20 e 30 %).

As condições de secagem escolhidas a partir dos testes preliminares foram 10 % e 20 % de maltodextrina e goma arábica e temperaturas do ar de secagem de 80 °C e 100 °C, devido observação na diminuição dos problemas de aderência do produto na câmara de secagem. Os parâmetros adotados no atomizador foram escolhidos devido as recomendações do fabricante sobre as melhores faixas de operação do equipamento. São estes: fluxo do ar 1,65 m³/min, vazão do ar 40 L/min, vazão da bomba peristáltica 0,60 L/h e bico injetor com abertura de 1,0 mm.

4.2.1. Preparação das soluções

O agente de encapsulação foi adicionado ao soro nas concentrações pré-determinadas de 10 % (p/p) e 20 % (p/p). A mistura foi homogeneizada em homogeneizador (Ultra Turrax IKA T25) em temperatura ambiente até dissolução completa.

4.2.2. Secagem

A secagem foi realizada em *spray dryer* (Modelo Mini Spray Dryer 1.0, LABMAQ, Ribeirão Preto, SP, Brasil) no Laboratório de Fenômenos de Transporte e Operações Unitárias pertencente à Universidade Federal de Uberlândia – Campus Patos de Minas. Durante a secagem a mistura foi constantemente homogeneizada em placa aquecedora (IKA C-MAG HS-7) para garantir completa mistura.

Foram realizados dez diferentes processos de secagem, conforme descrito abaixo.

- T1: Soro com adição de 10 % de maltodextrina a 80 °C;
- T2: Soro com adição de 20 % de maltodextrina a 80 °C;
- T3: Soro com adição de 10 % de maltodextrina a 100 °C;
- T4: Soro com adição de 20 % de maltodextrina a 100 °C;
- T5: Soro com adição de 10 % de goma arábica a 80 °C;
- T6: Soro com adição de 20 % de goma arábica a 80 °C;
- T7: Soro com adição de 10 % de goma arábica a 100 °C;
- T8: Soro com adição de 20 % de goma arábica a 100 °C;
- T9: Soro a 80 °C;
- T10: Soro a 100 °C.

4.2.3. Caracterização dos pós obtidos

4.2.3.1. *Rendimento*

O rendimento no processo de secagem foi calculado pela relação entre a massa de sólidos no pó obtido e a massa de sólidos da mistura alimentada.

$$Rendimento = \frac{M_{pó} (1 - x_{w,pó})}{M_{mistura} (1 - x_{w,mistura})} 100 \quad (2)$$

Em que M é a massa (g) e x_w é a fração de água (g/g).

4.2.3.2. *Atividade de água*

Foi determinada por leitura direta em higrômetro digital (AquaLab Lite Decagon). As amostras, de aproximadamente 1 g, foram pesadas em balança analítica (Shimadzu AUW-320)

e colocadas no fundo de uma cápsula, então as amostras foram introduzidas no equipamento para leitura.

4.2.3.3. Umidade

A umidade dos pós foi determinada segundo o método 927.05 descrito pela AOAC (2012). Uma massa de 5 g do pó foi levada em estufa a vácuo (Solab SL 104/40) por 6 horas na temperatura de 70 °C. Após resfriamento em dessecador, a massa foi pesada e o procedimento repetido até obtenção de peso constante. A umidade percentual foi calculada usando a relação mássica antes e após a secagem das amostras.

4.2.3.4. Higroscopicidade

A análise da higroscopicidade foi feita de acordo com Cai e Corke (2000), com algumas modificações. Foram pesadas cerca de 2,0 g de cada amostra em cápsulas de alumínio e posteriormente acondicionadas por uma semana em dessecador, contendo solução saturada de cloreto de sódio – NaCl (UR de 74,95 %). A higroscopicidade foi medida por meio da massa de água adsorvida pela amostra e expressa em g de água adsorvida/100 g de matéria seca.

4.2.3.5. Solubilidade

A solubilidade foi determinada de acordo com o método de Eastman e Moore (1984), com algumas modificações. O método consistiu na adição de 0,5 g de amostra a um recipiente contendo 50 mL de água destilada com posterior agitação a 700 rpm durante 5 minutos em placa aquecedora, seguido por uma centrifugação a 3000 rpm, por 5 minutos em centrífuga Quimis modelo (Q222TM208). Em seguida uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi retirada e levada à estufa (Nova Ética modelo 402-3D) a 105 °C, até peso constante. A solubilidade foi calculada com base na massa inicial de amostra solubilizada nessa alíquota de 25 mL do sobrenadante e expressa em porcentagem.

4.2.3.6. Densidade aparente

O conceito é definido como a relação de massa de partículas que ocupa determinado volume. Por isso, a análise consistiu em colocar a amostra em uma proveta graduada até

alcançar o volume equivalente a 10 mL, com batidas repetitivas em superfície reta, até volume constante, seguido de pesagem (TONON, 2009).

4.2.3.7. *Cor*

A coloração dos pós foi determinada utilizando um colorímetro portátil (modelo Chroma Meter CR-400 da marca Konica Minolta). A medição consta de uma pré-calibração do equipamento com uma placa de cerâmica de cor branca, seguida da exposição da amostra, ao visor do equipamento, o qual fornece instantaneamente os valores das coordenadas L^* , a^* e b^* .

4.2.4. Análise estatística

Os valores foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias por Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando o programa estatístico Assistat versão 7.7 beta, afim de verificar diferenças significativas entre os processos de secagem.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Rendimento

Neste estudo, o objetivo de se fazer a análise de rendimento foi o de destacar a importância do uso de agentes encapsulantes na secagem por *spray drying*, pois pode ocorrer deposição de pó no equipamento, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6 - Problema de deposição de pó no sistema que conecta a câmara de secagem ao ciclone



Tabela 5 - Rendimento do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem

Tratamentos	Rendimento (%)
T1 (80 °C e 10 % maltodextrina)	35,24 ± 0,20 ^{de}
T2 (80 °C e 20 % maltodextrina)	43,09 ± 0,79 ^c
T3 (100 °C e 10 % maltodextrina)	55,37 ± 0,26 ^b
T4 (100 °C e 20 % maltodextrina)	56,71 ± 0,58 ^a
T5 (80 °C e 10 % goma arábica)	33,54 ± 0,17 ^f
T6 (80 °C e 20 % goma arábica)	34,40 ± 0,38 ^{ef}
T7 (100 °C e 10 % goma arábica)	35,38 ± 0,17 ^{de}
T8 (100 °C e 20 % goma arábica)	36,25 ± 0,30 ^d
T9 (80 °C)	18,48 ± 0,12 ^g
T10 (100 °C)	13,68 ± 0,15 ^h

Média ± desvio padrão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na análise de rendimento do soro de queijo em pó, conforme mostrado na Tabela 5, os valores obtidos variaram de 13,68 a 56,71 %, sendo o menor valor para o tratamento sem agente encapsulante e o maior valor para o tratamento com agente (20% de maltodextrina), respectivamente, demonstrando a discrepância nos valores e como o agente foi importante para aumentar este parâmetro, uma vez que a temperatura na comparação destes dois tratamentos foi a mesma (100 °C).

Para os quatro primeiros tratamentos, isto é, com maltodextrina, foi observado diferença significativa entre todos estes valores, então houve influência tanto da temperatura quanto da concentração de agente, neste caso, no rendimento. O valor obtido no tratamento 1 foi menor que o 2, e o 3 foi menor que o 4, ou seja, quando a concentração de maltodextrina aumentou de 10 para 20 % houve aumento significativo em tal parâmetro; quando compara-se os valores do tratamento 1 com o 3 e o 2 com o 4, em que a temperatura aumentou de 80 para 100 °C também foi notado um aumento nos resultados, indicando que o incremento na temperatura de secagem favorece o aumento do rendimento do processo, além do aumento da concentração de agente encapsulante.

Segundo Souza (2013), o aumento na temperatura pode favorecer a maior eficiência de transferência de calor e massa, bem como diminuir a probabilidade das partículas que não secaram completamente, se chocarem e aderirem à superfície da câmara de secagem. Já o aumento na concentração do agente encapsulante provavelmente aumentou a T_g da solução, minimizando a aderência entre as partículas e adesão destas na parede do equipamento, aumentando por sua vez o rendimento do processo (SCHUCK et al., 2004).

Fazaeli et al. (2012) ao secarem suco de amora preta em *spray dryer* com maltodextrina em diferentes condições de temperatura, tipo e concentração de agente encapsulante e vazão do ar de secagem, também observaram aumento no rendimento com aumento da temperatura de secagem, obtendo valores em uma faixa de 45 a 82 %.

Com relação aos tratamentos usando goma arábica (5, 6, 7 e 8), o tratamento 5 não diferiu do 6 e o 7 não diferiu do 8, ou seja, o aumento da concentração deste agente não influenciou nos resultados, diferente do observado para a maltodextrina; porém, comparando o tratamento 5 com o 7 e o 6 com o 8, foi observado diferença entre estes, cuja razão está no incremento de temperatura que contribui para o aumento do rendimento.

Comparando os tratamentos 9 e 10 notou-se a diminuição no rendimento com o aumento de temperatura de soro de queijo sem agentes encapsulantes, o que neste caso, era esperado, uma vez que a lactose possui uma T_g em torno de 100 °C, favorecendo a formação de lactose

amorfa, que por ser mais instável, possui maior tendência a se tornar pegajosa e aderir nas paredes do equipamento, consequentemente diminuindo tal parâmetro.

Como ressaltado anteriormente, o uso dos agentes encapsulantes aumenta o rendimento do processo, principalmente quando é comparado os baixos valores obtidos nos tratamentos 9 e 10 com os demais. Já o melhor tratamento, isto é, aquele que se obteve o maior rendimento, neste caso foi o tratamento 4 com um valor de 56,71 %, porém este ainda não é o ideal para aplicação do processo em escala industrial, talvez com o uso de temperaturas de secagem mais altas esse valor possa aumentar relativamente, mas ainda assim, isso pode ter ocorrido devido à capacidade e o porte do equipamento utilizado, que implica em menores porcentagens de recuperação do produto.

Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014) investigaram o efeito do tipo de agente encapsulante (maltodextrina 20 DE, goma arábica e concentrado proteico de soro) sobre as propriedades físicas e microestruturais de pó de polpa de tamarindo obtido por atomização a 180 °C. Os dois primeiros agentes foram usados nas concentrações de 20, 40 e 60 %, já o terceiro nas concentrações de 10, 20 e 30 %. Todos os agentes melhoraram a recuperação do produto, tendo aumento neste parâmetro com o aumento da concentração de todos os agentes usados, sendo que o concentrado proteico de soro forneceu a maior recuperação do produto com taxas superiores a 70 %, enquanto para a maltodextrina foi maior que 46,5 %, semelhante ao deste trabalho, e goma arábica teve valores acima de 60 %, ainda assim, a goma arábica foi mais eficiente que a maltodextrina, diferente do obtido neste trabalho.

5.2. Atividade de água

A atividade de água é um valor muito importante, pois influencia consideravelmente a vida útil dos alimentos. Por meio desta podem ser previstas reações químicas, enzimáticas e microbiológicas, contribuindo para deterioração do produto seco; além disso, a atividade de água afeta a capacidade de processamento, propriedades de manuseamento e estabilidade. Um alto valor indica maior quantidade de água livre disponível para diversas reações; já alimentos com valor de atividade de água menores que 0,60 são considerados microbiologicamente estáveis, podendo ocorrer deteriorações somente por reações químicas (FELLOWS, 2000).

Os valores obtidos na análise de atividade de água de soro em pó, mostrados na Tabela 6, foram baixos, variando de 0,15 até 0,34, para as respectivas condições de 100 °C com 10 % de maltodextrina e 80 °C com 20 % do mesmo agente. Em regiões de atividade de água inferiores a 0,30, caso do presente trabalho, a água é fortemente ligada e menos móvel, chamada

de monocamada, não está disponível para atuar como solvente ou meio reativo, então há diminuição na velocidade das reações, exceto a de oxidação de lipídeos (FELLOWS, 2000).

Tabela 6 - Atividade de água do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem

Tratamentos	Atividade de água
T1 (80 °C e 10 % maltodextrina)	0,31 ± 0,02 ^{ab}
T2 (80 °C e 20 % maltodextrina)	0,34 ± 0,01 ^a
T3 (100 °C e 10 % maltodextrina)	0,15 ± 0,01 ^f
T4 (100 °C e 20 % maltodextrina)	0,24 ± 0,03 ^d
T5 (80 °C e 10 % goma arábica)	0,25 ± 0,01 ^{cd}
T6 (80 °C e 20 % goma arábica)	0,27 ± 0,02 ^{bc}
T7 (100 °C e 10 % goma arábica)	0,18 ± 0,02 ^{ef}
T8 (100 °C e 20 % goma arábica)	0,19 ± 0,02 ^e
T9 (80 °C)	0,25 ± 0,01 ^{cd}
T10 (100 °C)	0,25 ± 0,05 ^{cd}

Média ± desvio padrão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para a secagem com maltodextrina (tratamentos 1, 2, 3 e 4) não houve diferença significativa entre os tratamentos 1 e 2, ou seja, a 80 °C não houve diferença entre as concentrações de 10 e 20 %; já na temperatura de 100 °C (tratamento 3 e 4) houve diferença com o aumento da concentração, sendo o tratamento 4, com 20 % de maltodextrina, que apresentou maior atividade de água.

Pedro (2009) avaliou a influência de diferentes concentrações (60 e 65 %) e diferentes graus de dextrose equivalente (DE) de maltodextrina (10 e 20 DE) nos atributos de qualidade de polpa de maracujá em pó obtida em *spray dryer* a 140 °C. Com relação à atividade de água os valores foram inferiores a 0,20 e estes não sofreram influência com o aumento na concentração e DE das maltodextrinas.

De modo geral, ainda com relação aos quatro primeiros tratamentos, as amostras obtidas em 80 °C apresentaram atividade de água maior do que as de 100 °C, o que está de acordo com outros trabalhos publicados, em que a atividade de água diminui com o aumento de temperatura,

sugerindo que a utilização de maiores temperaturas de entrada reduz o teor de água livre no produto.

Barbosa (2010) avaliou a influência das condições de secagem sobre os parâmetros de qualidade de suco em pó de mistura de polpas de cajá, manga e mamão obtido por *spray drying* a 155 e 165 °C. Foi utilizada maltodextrina 10 e 20 DE, em concentrações de 12, 15, 18 e 21%. Observou-se que a utilização de maiores temperaturas para o ar de entrada reduziu o teor de umidade como também o teor de água livre (a_w) no produto, sendo observado valores parecidos ao deste trabalho.

Com relação a secagem com goma arábica (tratamentos 5, 6, 7 e 8) foi observado que o tratamento 5 não diferiu do 6, bem como o 7 também não diferiu do 8, então, nesse caso, a concentração de goma arábica não influenciou a atividade de água das amostras, porém, o 5 e 6 apresentaram diferença significativa do 7 e 8, indicando mais uma vez que o aumento de temperatura diminui este parâmetro.

Moraes (2014) secou polpa de caju por *spray drying* em duas temperaturas de secagem (140 °C e 150 °C) e duas concentrações de goma arábica (15 e 25 %) e então avaliaram as características físico-químicas dos pós obtidos. Com relação à atividade de água não houve diferença significativa entre os grupos experimentais, com valores parecidos ao deste trabalho, que foram na faixa de 0,245 a 0,296.

Já os tratamentos 9 e 10, que apresentaram valores de atividade de água medianos em comparação com os demais, não mostraram diferença significativa entre si, ou seja, sem a adição de agentes encapsulantes, somente a temperatura não foi capaz de influenciar a atividade de água destes tratamentos, indicando que a adição dos agentes é positiva na redução de tal valor.

Como apresentado anteriormente, os valores de atividade de água ideais são os menores possíveis, desde que haja proteção contra oxidação de lipídeos, então, neste trabalho, os melhores tratamentos foram o 3 e o 7, com maltodextrina e goma arábica, respectivamente, nas condições de 100 °C e 10 % de agente encapsulante.

5.3. Umidade

A umidade é um indicativo da eficiência do processo de secagem, ou seja, quanto menor seu valor, maior é a eficiência de remoção da água, isso ocorre, principalmente, devido ao aumento da temperatura do ar de secagem, que promove uma maior taxa de transferência de calor, fornecendo maior força motriz para a evaporação de umidade. Neste trabalho, os valores

da umidade do soro de queijo em pó, mostrados na Tabela 7, variaram de 1,33 a 3,76 %, sendo o primeiro referente ao tratamento em 100 °C com 10 % de maltodextrina e o segundo a 80 °C com 20 % de goma arábica.

Tabela 7 - Umidade do soro de queijo *in natura* e pó em diferentes condições de secagem

Tratamentos	Umidade soro <i>in natura</i> (%)	Umidade soro em pó (%)
T1 (80 °C e 10 % maltodextrina)	84,28 ± 0,12 ^b	3,21 ± 0,36 ^a
T2 (80 °C e 20 % maltodextrina)	76,39 ± 0,21 ^d	3,48 ± 0,12 ^{ab}
T3 (100 °C e 10 % maltodextrina)	84,120 ± 0,16 ^b	1,33 ± 0,19 ^e
T4 (100 °C e 20 % maltodextrina)	76,43 ± 0,38 ^d	1,88 ± 0,48 ^d
T5 (80 °C e 10 % goma arábica)	84,18 ± 0,45 ^b	3,69 ± 0,18 ^a
T6 (80 °C e 20 % goma arábica)	77,42 ± 0,21 ^d	3,76 ± 0,30 ^a
T7 (100 °C e 10 % goma arábica)	83,74 ± 0,62 ^b	1,95 ± 0,36 ^d
T8 (100 °C e 20 % goma arábica)	77,05 ± 0,33 ^d	2,71 ± 0,27 ^c
T9 (80 °C)	93,64 ± 0,01 ^a	3,24 ± 0,12 ^b
T10 (100 °C)	93,32 ± 0,01 ^a	2,03 ± 0,12 ^d

Média ± desvio padrão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O soro de queijo *in natura* possui umidade em torno de 93 %, porém, quando é adicionado agente encapsulante neste, a umidade diminui, com acréscimo de 10 % de agente encapsulante, tanto maltodextrina como goma arábica, a umidade cai para 83/84 %, quando se adiciona 20 % de qualquer um dos agentes usados neste trabalho, a umidade fica mais baixa ainda, em torno de 76/77 %.

Analisando os tratamentos em que foi usada a maltodextrina (1, 2, 3 e 4) não houve diferença significativa entre o 1 e 2, ou seja, a 80 °C o aumento na concentração de maltodextrina não influenciou a umidade, porém, houve diferença entre os valores do 3 e 4, então a 100 °C, o aumento na concentração de 10 para 20 % favoreceu o aumento do valor da umidade. Segundo Costa (2013) o aumento da viscosidade da mistura, em alguns casos, a partir de uma certa concentração de agente encapsulante pode reduzir a difusão da água, resultando em pó com teor de umidade mais elevado, por isso, essa variável deve ser mais investigada afim de promover melhor interpretação. Este autor obteve tal comportamento na avaliação da

umidade de bioaroma de queijo suíço microencapsulado em *spray dryer* com uma mistura de amido modificado e maltodextrina 20 DE, os valores da umidade variaram de 1,11 a 4,39 %, próximos ao deste trabalho.

Souza (2013) ao secar subprodutos de vinificação da uva tinta, variedade Bordô (*Vitis labrusca*), utilizando *spray dryer* com maltodextrina 10 DE, observou que para a menor temperatura utilizada (130 °C) o teor de umidade das amostras se manteve constante com o aumento da concentração do agente (10, 20 e 30 %). Para as outras temperaturas (150 e 170 °C) houve um aumento no teor de umidade com o aumento na concentração do carreador. Os valores apresentados estavam numa faixa de 2,96 a 4,54 %.

Comparando os tratamentos 1 e 3 houve uma grande diferença entre estes, sendo o menor valor para o tratamento 3, a 100 °C, o mesmo foi verificado quando se comparou os tratamentos 2 e 4, com o menor valor para o 4, a 100 °C. Como já apresentado, quando há aumento da temperatura ocorre maior remoção da umidade, diminuindo o valor deste parâmetro.

Barbosa (2010) ao avaliar a umidade de suco em pó de mistura de polpas de cajá, manga e mamão observou diminuição deste parâmetro ao aumentar a temperatura de secagem de 155 para 165 °C. Os valores relacionados também foram parecidos aos obtidos neste trabalho.

Paula (2015) avaliou a influência dos métodos de secagem: liofilização, leito de espuma (nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 e 80 °C) e *spray dryer* (nas temperaturas de 55, 60, 65, 70 e 75 °C), sobre as características do soro de queijo concentrado por osmose inversa em um teor de sólidos solúveis de 17 °Brix. Para o processo de secagem em *spray dryer* a temperatura não influenciou no teor de umidade do soro em pó, já os valores obtidos foram superiores a 5 %, maiores que os deste trabalho.

Os tratamentos utilizando goma arábica (5, 6, 7 e 8) apresentaram interpretações semelhantes à maltodextrina. O tratamento 5 não apresentou diferença significativa do 6, porém o 7 apresentou diferença do 8, ou seja, em 80 °C não houve diferença na umidade com o aumento da concentração de goma arábica, porém em 100 °C, o aumento da concentração levou ao aumento do valor da umidade. Quando se compara o tratamento 5 com o 7 e o 6 com o 8, houve diferença entre estes pares, sendo os menores valores na temperatura de 100 °C, pois esta temperatura é mais eficiente na remoção da umidade do que em 80 °C.

Moraes (2014) ao avaliar a umidade de polpa de caju não observou diferença significativa com a variação de temperatura de secagem (140 °C e 150 °C) nem com as concentrações de goma arábica (15 e 25 %). Os valores obtidos foram parecidos ao deste trabalho, cuja faixa foi de 1,84 a 2,66 %.

Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014) ao analisarem a umidade de polpa de tamarindo em pó, para os agentes encapsulantes utilizados (maltodextrina 20 DE, goma arábica e concentrado proteico de soro), observaram diminuição da umidade com aumento da concentração destes, além disso, os valores obtidos foram relativamente superiores ao deste trabalho.

Os tratamentos 9 e 10 apresentaram valores intermediários entre os demais, sendo observado que o tratamento 10 possui menor valor de umidade quando comparado ao 9, o que já era esperado, devido ao aumento da temperatura.

As maiores eficiências de remoção da umidade foram obtidas em condição de trabalho de 100 °C com 10% de concentração de agente encapsulante, então, nesse caso, os tratamentos mais eficientes foram o 3 e o 7, para maltodextrina e goma arábica, respectivamente. Assim como para a atividade de água, a melhor condição é aquela que permite obter o menor valor de umidade, pois a estabilidade do produto final depende também do teor de umidade, deste modo, o tratamento 3, com um valor de 1,33 % foi o melhor dentre os demais.

5.4. Higroscopicidade

A higroscopicidade está relacionada com a absorção de umidade do ambiente. Em alimentos desidratados esta é uma das propriedades mais importantes, pois além de estar associada a estabilidade química, física e microbiológica, ela também influencia o setor de embalagens, uma vez que se ocorrer aglomeração dos pós há perda de fluidez destes durante o armazenamento (PEDRO, 2009).

Os valores da higroscopicidade do soro de queijo em pó variaram entre 11,87 e 16,57 (g/100g), nas respectivas condições de 80 °C com 20 % de maltodextrina e 100 °C sem agentes, conforme mostrado na Tabela 8. Segundo classificação da GEA Niro Research Laboratory (2015), a primeira condição se refere a um pó ligeiramente higroscópico (10,1 - 15,0 %) e a segunda é de um pó higroscópico (15,1 - 20,0 %).

Tabela 8 - Higroscopicidade do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem

Tratamentos	Higroscopicidade (g/100g)
T1 (80 °C e 10 % maltodextrina)	13,77 ± 0,57 ^d
T2 (80 °C e 20 % maltodextrina)	11,87 ± 0,61 ^f
T3 (100 °C e 10 % maltodextrina)	15,84 ± 0,46 ^b
T4 (100 °C e 20 % maltodextrina)	15,16 ± 0,28 ^c
T5 (80 °C e 10 % goma arábica)	14,75 ± 0,29 ^c
T6 (80 °C e 20 % goma arábica)	12,85 ± 0,15 ^e
T7 (100 °C e 10 % goma arábica)	14,77 ± 0,49 ^c
T8 (100 °C e 20 % goma arábica)	13,72 ± 0,38 ^d
T9 (80 °C)	15,19 ± 0,31 ^c
T10 (100 °C)	16,57 ± 0,24 ^a

Média ± desvio padrão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para os quatro primeiros tratamentos, isto é, com maltodextrina, foi observado que todos apresentaram diferença significativa entre si. Comparando os valores do tratamento 1 com o 2 e 3 com o 4, houve diminuição da higroscopicidade com o aumento da concentração de maltodextrina de 10 para 20 %. Isso provavelmente ocorreu porque o agente encapsulante proporciona ao pó maior temperatura de transição vítrea (T_g) e, conseqüentemente, menores valores de higroscopicidade (BARBOSA, 2010). Por sua vez, a comparação entre os pares 1 e 3 e 2 e 4 permitem observar o aumento da higroscopicidade com o aumento na temperatura de 80 para 100 °C, uma vez que em temperaturas mais elevadas, partículas mais porosas são produzidas, aumentando a superfície de exposição destas à umidade do ambiente (SOUZA, 2013).

Resultados similares foram encontrados por Tonon (2009) pesquisando a influência das condições de secagem sobre o suco em pó de açaí com maltodextrina ($9 \leq DE \leq 12$), obtido por *spray drying* em diferentes temperaturas e concentrações de agente encapsulante. Houve efeito significativo da temperatura de secagem sobre as propriedades do produto, em que a redução da temperatura levou à obtenção de partículas menos higroscópicas. Além disso, a concentração de agente encapsulante afetou negativamente tal parâmetro, ou seja, o aumento na concentração

de maltodextrina diminui a higroscopicidade dos pós. Os valores obtidos também foram similares ao deste trabalho.

Barbosa (2010) também obteve resultados similares com relação ao suco em pó de polpas de cajá, manga e mamão, sendo observado menor higroscopicidade de pós obtidos com maltodextrina 20 DE quando se utilizou menor temperatura de secagem; além disso a higroscopicidade das partículas diminuiu com o acréscimo na concentração do agente encapsulante.

Com relação aos tratamentos com goma arábica (5, 6, 7 e 8), o 5 diferiu do 6 e o 7 diferiu do 8, apresentando diminuição da higroscopicidade com o aumento na concentração de goma, devido à propriedade anteriormente explicada a respeito do agente encapsulante. Já os tratamentos 5 e 7 não apresentaram diferença significativa com o aumento de temperatura na concentração de 10 %, porém o 6 e 8 apresentaram, sendo o 8 maior que o 6 devido ao aumento de temperatura.

Com relação à higroscopicidade de polpa de caju em pó de Moraes (2014), os valores apresentados foram inferiores ao deste trabalho, tal faixa foi de 5,83 a 7,68 %, também foi observado a diminuição da higroscopicidade com o aumento da concentração de goma arábica de 15 para 25%.

Bhusari, Muzaffar e Kumar (2014) ao investigarem a higroscopicidade dos pós de polpa de tamarindo observaram a diminuição dos valores com o aumento da concentração dos agentes encapsulantes (maltodextrina 20 DE, goma arábica e concentrado proteico de soro) e estavam numa faixa relativamente superior a deste trabalho (16,61 – 28,96 %), provavelmente devido ao maior conteúdo de açúcares da polpa obtida.

O tratamento 10 apresentou o maior valor comparado com os demais, demonstrando a importância do uso dos agentes encapsulantes na diminuição da higroscopicidade. Foi verificado também o aumento nos valores deste parâmetro com o aumento da temperatura.

Para a higroscopicidade, o melhor tratamento é aquele que possui um menor valor, pois assim, a absorção de umidade será menor, mantendo a estabilidade do produto, bem como evitando a aglomeração do pó, por isso, o tratamento 2, referente a temperatura de 80 °C com 20 % de maltodextrina foi o mais adequado.

5.5. Solubilidade

A solubilidade é um dos parâmetros utilizados para verificar a capacidade de o pó manter-se em mistura homogênea com a água. É função da composição do alimento e da

temperatura (PEDRO, 2009). Os valores da solubilidade do soro de queijo em pó variaram de 95,39 a 99,50 %, relativos ao tratamento de 100 °C com 10 % de goma arábica e 20 % de maltodextrina, respectivamente, ou seja, foram obtidos pós altamente solúveis com valores maiores que 90%, como observado na Tabela 9. Cano-Chauca et al. (2005) secaram suco de manga em *spray dryer* a 160 °C, utilizando maltodextrina 20 DE, goma arábica e amido ceroso na concentração de 12 % cada, e também encontraram valores de solubilidade superiores a 90% tanto para secagem com maltodextrina, quanto para goma arábica.

Tabela 9 - Solubilidade em água do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem

Tratamentos	Solubilidade (%)
T1 (80 °C e 10 % maltodextrina)	99,22 ± 0,32 ^{ab}
T2 (80 °C e 20 % maltodextrina)	98,79 ± 0,50 ^{bc}
T3 (100 °C e 10 % maltodextrina)	99,41 ± 0,27 ^a
T4 (100 °C e 20 % maltodextrina)	99,50 ± 0,18 ^a
T5 (80 °C e 10 % goma arábica)	96,17 ± 0,36 ^e
T6 (80 °C e 20 % goma arábica)	96,27 ± 0,25 ^e
T7 (100 °C e 10 % goma arábica)	95,39 ± 0,16 ^f
T8 (100 °C e 20 % goma arábica)	95,69 ± 0,33 ^f
T9 (80 °C)	98,37 ± 0,38 ^c
T10 (100 °C)	97,06 ± 0,03 ^d

Média ± desvio padrão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Com relação aos tratamentos com maltodextrina (1, 2, 3 e 4), o tratamento 1 não diferiu do 2, bem como o 3 não diferiu do 4, neste caso, o aumento na concentração de maltodextrina não influenciou os valores de solubilidade, nas respectivas temperaturas de 80 e 100 °C. O mesmo foi observado quando o tratamento 1 é comparado ao 3, não há diferença significativa com o aumento de temperatura na concentração de 10 %, porém, o tratamento 2 apresentou diferença do 4, com um valor relativamente menor de solubilidade na temperatura de 80 °C.

Souza (2013) ao secar subprodutos de vinificação da uva tinta também observou que não houve variação na solubilidade das amostras com a variação da temperatura (130, 150 e

170 °C), nem com a variação na concentração de maltodextrina (10, 20 e 30 %). Os valores apresentados foram igualmente superiores a 90 %.

Paula (2015) avaliou a influência de diferentes métodos de secagem sobre as características do soro de queijo concentrado. Com relação à secagem em *spray dryer* as temperaturas (55, 60, 65, 70 e 75 °C) não influenciaram na solubilidade do soro em pó. Assim como neste trabalho, os valores obtidos foram superiores a 90 %.

Para os tratamentos com goma arábica (5, 6, 7 e 8), o tratamento 5 não diferiu do 6 e o 7 não diferiu do 8, assim como ocorrido para a maltodextrina não houve influência da concentração nos valores de solubilidade. Porém, quando se compara os valores do 5 e 7 e o par 6 e 8, é observado uma diferença significativa entre estes, sendo os maiores valores obtidos na menor temperatura de 80 °C, ou seja, em menor temperatura foi obtida maior solubilidade, porque em altas temperaturas de secagem pode ser formada uma camada dura sobre a superfície das partículas do pó, e isso desfavorece a difusividade das moléculas de água através das partículas, reduzindo a solubilidade do pó (BARBOSA, 2010).

Moraes (2014) secou polpa de caju e obteve valores de solubilidade parecidos com este trabalho, cuja faixa foi de 94,67 a 97,95 %, também não obteve relação entre os teores de goma arábica (15 e 25 %) e este parâmetro.

Analisando os tratamentos 9 e 10, a solubilidade destes foi melhor que os tratamentos com goma arábica, porém, não superou os resultados obtidos com maltodextrina. O 9 apresentou um valor relativamente maior que o 10, indicando que o aumento de temperatura reduz a solubilidade, como apresentado anteriormente.

As maltodextrinas são os carreadores mais frequentemente usados em *spray dryer* em função de suas propriedades como a alta solubilidade em água, característica muito importante na reconstituição do pó, como pode ser observado, os valores dos tratamentos relacionados à maltodextrina (1 – 4) foram maiores e, portanto, significativamente melhores que os da goma arábica (5 – 8).

Yousefi, Emam-Djomeh e Mousavi (2011) secaram suco de romã em *spray dryer* a 140 °C com maltodextrina 20 DE, goma arábica e amido ceroso a 8 e 12 %, com posterior avaliação das características físico-químicas dos pós. Uma das características avaliadas foi a solubilidade, porém não houve diferença desta para os pós obtidos com maltodextrina e goma arábica. Os valores também foram superiores a 90 %.

5.6. Densidade aparente

A densidade é um importante fator relacionado à embalagem, ao transporte e à comercialização de pós, sendo útil em termos de peso e quantidade de material que se acomodam em um recipiente. A densidade do soro de queijo em pó variou entre 0,278 e 0,423 g/cm³, o primeiro para a condição de 100 °C sem agente encapsulante e o segundo para a mesma temperatura com 20 % de maltodextrina, conforme apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Densidade aparente do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem

Tratamentos	Densidade (g/cm ³)
T1 (80 °C e 10 % maltodextrina)	0,391 ± 0,015 ^b
T2 (80 °C e 20 % maltodextrina)	0,420 ± 0,018 ^a
T3 (100 °C e 10 % maltodextrina)	0,355 ± 0,010 ^c
T4 (100 °C e 20 % maltodextrina)	0,423 ± 0,009 ^a
T5 (80 °C e 10 % goma arábica)	0,354 ± 0,021 ^c
T6 (80 °C e 20 % goma arábica)	0,383 ± 0,009 ^b
T7 (100 °C e 10 % goma arábica)	0,355 ± 0,020 ^c
T8 (100 °C e 20 % goma arábica)	0,389 ± 0,015 ^b
T9 (80 °C)	0,336 ± 0,005 ^c
T10 (100 °C)	0,278 ± 0,015 ^d

Média ± desvio padrão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Com relação a maltodextrina (tratamento 1, 2, 3 e 4), o tratamento 1 apresentou diferença significativa em comparação com 2 e o 3 apresentou diferença com relação ao 4, ou seja, com o aumento de concentração do agente encapsulante houve aumento destes valores, nas respectivas temperaturas de 80 e 100 °C. Isso provavelmente ocorreu porque o acúmulo de material mais pesado (agente encapsulante) que se acomoda mais facilmente nos espaços entre as partículas, resulta em maior densidade, fato observado por Costa (2013) ao produzir bioaroma de queijo suíço, que também obteve aumento da densidade aparente com o aumento na concentração do agente (amido modificado com maltodextrina 20 DE), porém os valores foram superiores ao deste trabalho.

O tratamento 1 se comparado ao 3 apresentou diferença significativa, com diminuição da densidade quando se aumentou a temperatura, na concentração de 10 %, já os valores do 2 não apresentaram diferença significativa do 4, indicando que na concentração de 20% não houve influência do aumento de temperatura na densidade.

Esteves (2006) realizou testes de secagem de extrato de café em *spray dryer* com atomização por disco rotativo e fluxo concorrente variando-se a temperatura do ar de entrada (140 – 170 °C) e rotação do disco atomizador (27.000 – 33.000 rpm). Ao avaliar a densidade aparente também observou que não há influência da temperatura em tal parâmetro e os valores obtidos foram parecidos ao deste trabalho, estando numa faixa de 0,371 a 0,483 g/cm³.

Comparando os resultados da goma arábica (tratamentos 5, 6, 7 e 8), o tratamento 5 diferiu do 6, bem como o 7 diferiu do 8, ou seja, quando se aumentou a concentração de 10 para 20 % houve aumento da densidade, assim como nos tratamentos da maltodextrina, indicando que o agente encapsulante aumenta a densidade do produto final, conforme explicado acima. Porém o tratamento 5 não diferiu do 7 e o 6 também não diferiu do 8, indicando que com a concentração constante, o aumento de temperatura de 80 para 100 °C não influenciou estes resultados.

Yousefi, Emam-Djomeh e Mousavi (2011) ao secarem suco de romã observaram para a densidade aparente que não houve relação clara entre as concentrações (8 e 12 %) dos agentes encapsulantes usados (maltodextrina 20 DE, goma arábica e amido ceroso) e este parâmetro. Os valores apresentados estão na mesma faixa dos obtidos neste trabalho, tanto para a maltodextrina quanto para a goma arábica.

Os valores dos tratamentos 9 e 10 diferiram significativamente, indicando uma diminuição da densidade com o aumento da temperatura de 80 para 100 °C. Ainda assim, esses valores são os menores quando comparados com os demais tratamentos, indicando que a adição de agentes encapsulantes é favorável no aumento da densidade, reduzindo o volume da embalagem utilizada, bem como a quantidade de ar entre as partículas, desfavorecendo a oxidação do produto; porém, todos os valores, de modo geral, ainda são pequenos, isto é, menores que 1,0 g/cm³ (COSTA, 2013).

5.7. Cor

A cor é um importante atributo de qualidade, principalmente porque os aspectos visuais são decisivos na escolha de um produto pelo consumidor. Os resultados para a medida da cor

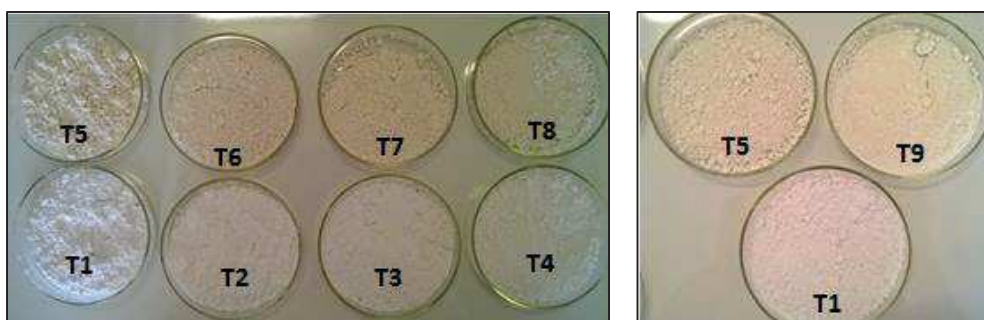
estão apresentados na Tabela 11. Os pós obtidos sob diferentes condições de secagem são mostrados na Figura 7.

Tabela 11 - Parâmetros L^* , a^* e b^* do soro de queijo em pó em diferentes condições de secagem

Tratamentos	L^*	a^*	b^*
T1 (80 °C e 10 % maltodextrina)	$90,07 \pm 0,40^a$	$-0,39 \pm 0,11^a$	$3,68 \pm 0,39^d$
T2 (80 °C e 20 % maltodextrina)	$89,81 \pm 0,31^a$	$-0,28 \pm 0,04^a$	$3,15 \pm 0,30^d$
T3 (100 °C e 10 % maltodextrina)	$90,22 \pm 0,37^a$	$-0,48 \pm 0,23^a$	$3,93 \pm 0,50^d$
T4 (100 °C e 20 % maltodextrina)	$90,46 \pm 0,20^a$	$-0,40 \pm 0,08^a$	$3,2 \pm 0,29^d$
T5 (80 °C e 10 % goma arábica)	$86,68 \pm 0,50^c$	$-0,54 \pm 0,07^a$	$6,9 \pm 0,22^b$
T6 (80 °C e 20 % goma arábica)	$87,26 \pm 0,68^{bc}$	$-0,6 \pm 0,06^a$	$8,38 \pm 0,54^a$
T7 (100 °C e 10 % goma arábica)	$87,31 \pm 0,15^{bc}$	$-0,56 \pm 0,08^a$	$7,06 \pm 0,28^b$
T8 (100 °C e 20 % goma arábica)	$86,98 \pm 0,65^{bc}$	$-0,54 \pm 0,02^a$	$7,16 \pm 0,20^b$
T9 (80 °C)	$87,94 \pm 0,30^b$	$-1,22 \pm 0,11^b$	$5,65 \pm 0,46^c$
T10 (100 °C)	$89,58 \pm 0,43^a$	$-2,04 \pm 0,09^c$	$7,74 \pm 0,28^{ab}$
Maltodextrina	$89,36 \pm 0,15$	$-0,37 \pm 0,02$	$2,53 \pm 0,04$
Goma arábica	$82,88 \pm 0,39$	$-0,59 \pm 0,01$	$16,31 \pm 0,49$

Média $\pm$ desvio padrão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Figura 7 - Amostras de soro de queijo em pó para efeito de comparação da cor



A medida L^* indica a luminosidade, varia de 0 a 100, em que o valor 0 indica o preto e 100, o branco. Para o soro de queijo em pó esta variou de 86,68 a 90,46 nas condições de 80 °C

com 10 % de goma arábica e 100 °C com 20 % de maltodextrina, sendo considerado valores altos, provavelmente porque a adição de agentes encapsulantes intensificou a luminosidade do produto.

Para os tratamentos com maltodextrina (1, 2, 3 e 4) não houve diferença significativa entre esses valores com relação a L^* , ou seja, a temperatura e a concentração não influenciaram este parâmetro. Com relação à goma arábica (tratamentos 5, 6, 7 e 8) também não houve influência da temperatura e concentração nos valores de L^* , uma vez que estes não apresentaram diferença significativa. Os valores dos tratamentos com goma arábica foram consideravelmente menores quando comparados com a maltodextrina, devido à luminosidade desta última ($89,36 \pm 0,15$) ser maior do que a goma arábica ($82,88 \pm 0,39$). Já o tratamento 9 apresentou diferença significativa do 10, proporcionando aumento do L^* com aumento da temperatura de 80 para 100 °C.

A medida a^* indica a intensidade da cor vermelha, varia do vermelho ($+a^*$) ao verde ($-a^*$). Neste trabalho, este parâmetro variou de -0,28 a -2,04, para as respectivas condições de 100 °C sem agente encapsulante e 80 °C com 20% de maltodextrina, indicando componente de cor verde nas misturas.

Para os tratamentos com maltodextrina e goma arábica não houve diferença significativa entre os valores de a^* , uma vez que tal parâmetro não é muito diferente para a maltodextrina ($-0,37 \pm 0,02$) e goma arábica ($-0,59 \pm 0,01$), porém os tratamentos com agentes encapsulantes (1 – 8) foram relativamente menores que o 9 e 10, que por sua vez, apresentaram diferença significativa entre si, ocorrendo aumento neste parâmetro com o incremento da temperatura para 100 °C, ou seja, o aumento da temperatura na mistura sem agente encapsulante intensificou a cor verde e o uso de agentes encapsulantes diminuiu a intensidade.

Os parâmetros anteriores são essenciais na avaliação da cor de um produto, porém, para o soro de queijo, cuja cor dominante é o amarelo, este é um parâmetro essencial na avaliação da cor resultante das diferentes condições de secagem deste trabalho. A medida b^* indica a intensidade da cor amarela, varia do amarelo ($+b^*$) a azul ($-b^*$). Os valores apresentados acima variaram de 3,15 a 8,38 com predomínio e aumento da intensidade da cor amarela nas condições de 80 °C com 20 % de maltodextrina e goma arábica, respectivamente.

Os tratamentos utilizando maltodextrina (1, 2, 3 e 4) não apresentaram diferença significativa entre si para b^* , além de possuírem os menores resultados quando comparados aos demais, porque além deste agente ser branco, possui valor b^* baixo ($2,53 \pm 0,04$) e também pode ter ocorrido diluição da cor característica do soro de queijo *in natura*. Já aqueles utilizando goma arábica (5, 6, 7 e 8) apresentaram maiores valores, provavelmente devido à cor amarelada

da goma arábica usada no trabalho, que possui b^* de $16,31 \pm 0,49$; destes tratamentos, somente o 6 apresentou diferença significativa entre os demais, na condição de 80 °C e 20 % de concentração. Os tratamentos 9 e 10 apresentaram diferença significativa com aumento de b^* quando houve aumento da temperatura, provavelmente porque há maior retirada de água, concentrando os componentes, e também pode ocorrer reações de escurecimento devido aos açúcares do produto (TONON, 2009).

A escolha de qual melhor tratamento depende de qual aplicação do soro em pó, se este for aplicado em algum produto em que a cor é fator determinante, o que mais se adequa é aquele tratado com maltodextrina, mas se a cor não for requisito importante, o tratamento com goma arábica também é apropriado.

Paula (2015) ao avaliar a influência de vários métodos de secagem sobre as características do soro de queijo concentrado, observou que as amostras provenientes da secagem por *spray drying* não diferiram entre si com relação aos parâmetros L^* , a^* e b^* a medida que a temperatura aumentou. Os parâmetros L^* e b^* foram relativamente diferentes dos obtidos neste trabalho, sendo o L^* superior a 90 e o b^* maior que 10, já o a^* foi similar, uma vez que estava próximo de -1,0.

6. CONCLUSÃO

A secagem por atomização de soro de queijo foi uma técnica adequada para obtenção do pó deste produto, uma vez que os resultados alcançados foram satisfatórios. Para a maioria dos parâmetros avaliados, a secagem realizada em uma temperatura de 100 °C e concentração do agente encapsulante em 20 % favoreceu a obtenção dos melhores resultados.

Dos agentes encapsulantes utilizados, a maltodextrina foi mais eficiente que a goma arábica na encapsulação por atomização do soro de queijo, e como este último agente possui uso restringido devido ao alto custo e oferta limitada, a escolha ideal é utilizar maltodextrina em tal técnica, para o produto em questão.

Para estudos futuros seria interessante avaliar a secagem por atomização variando outras condições de trabalho, como por exemplo, vazão de alimentação e do ar ou a abertura do bico injetor, bem como utilizar outros agentes encapsulantes, além disso, secar o soro de queijo utilizando outros métodos para efeito de comparação com a técnica usada neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABIQ - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE QUEIJOS. **Avanços e perspectivas da indústria brasileira de queijos**. Disponível em: <<http://www.abiq.com.br/>>. Acessado em: 14 ago. 2015.

ADITIVOS E INGREDIENTES. **Goma arábica ou goma acácia**. São Paulo: Insumos, n. 73, out. 2010.

AFONSO, W. de O. **Obtenção de hidrolisados enzimáticos do concentrado protéico do soro de leite com elevado teor de di-tripeptídeos para utilização em nutrição clínica**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ALEXANDER, R. J. Maltodextrins: production, properties, and applications. In: SCHENCK, F. W.; HEBEDA, R. E. **Starch hydrolysis products: worldwide technology, production and applications**. New York: VCH Publishers, p. 233-275, 1992.

ALVES, M. P. et al. Soro de leite: tecnologias para processamento de coprodutos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 69, n. 3, p. 212-226, mai./jun. 2014.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis**. 19. ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, 2012. v. 2.

AZEREDO, H. M. C. de. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 16, n. 1, p. 89-97, jan./mar. 2005.

AZEREDO, H. M. C. de. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2012. 326 p.

BALD, J. A. et al. Características físico-químicas de soros de queijo e ricota produzidos no Vale do Taquari, RS. **Revista Jovens Pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, v. 4, n. 1, p. 90-99, 2014.

BALDASSO, C. **Concentração, purificação e fracionamento das proteínas do soro lácteo através da tecnologia de separação por membranas**. 2008. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

BARBOSA, S. J. **Qualidade de suco em pó de mistura de frutas obtido por *spray drying***. 107 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2010.

BEMILLER, J.N.; WHISTLER, R.L. Carbohydrates. In: FENNEMA, O.R. **Food Chemistry**. 3. ed. New York: Marcel Dekker, p.157-224, 1996.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria nº 146, de 7 de março de 1996. Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade dos Produtos Lácteos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1996.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 13 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 53, de 10 de abril de 2013. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Soro de Leite. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2013.

BRASILEIRO, J. S. L. **Microencapsulação de compostos bioativos: inovação em diferentes áreas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2011.

BRAZEL, C.S. Microencapsulation: offering solutions for the food industry. **Cereal Foods World**, v. 44, n. 6, p. 388-393, 1999.

BYLUND, G. **Dairy Processing Handbook**. Sweden: LP Grafiska, 1995. 427 p.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

CALISKAN, G.; DIRIM, S. N. The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during *spray drying* of sumac extract. **Food and Bioprocess Processing**, v. 91, p. 539-548, 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**, v. 6, p. 420 – 428, 2005.

CARDOSO, G. S. P. **Avaliação físico-química e microbiológica do leite cru refrigerado e soros dos queijos minas frescal e mussarela estocados sob diferentes temperaturas**. 2014. 125 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

CARNEIRO, H. C. F. **Microencapsulação de óleo de linhaça por *spray drying***: influência da utilização de diferentes combinações de materiais de parede. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

CARVALHO, K. D. **Utilização de soro de leite doce na fabricação de sorvete de massa**. 2012. 195 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável e Qualidade de Vida) - Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino – FAE, São João da Boa Vista, 2013.

CARVALHO, M. P. de; VENTURINI, C. E. P.; GALAN, V. B. **As grandes oportunidades do mercado de queijos no Brasil**, fev. 2015. Disponível em: <<http://www.milkpoint.com.br/industria/radar-tecnico/mercado/as-grandes-oportunidades-do-mercado-de-queijos-no-brasil-93301n.aspx>>. Acesso em: 20 set. 2015.

CELESTINO, S. M. C. **Princípios de secagem de alimentos**. 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 51 p.

CORTEZ, N. M. S. **Diagnóstico da produção do soro de queijo no estado do Rio de Janeiro**. 2013. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.

COSTA, J. M. G. da. **Eficiência de diferentes encapsulantes e condições operacionais de secagem por atomização na produção e aplicação de micropartículas de bioaroma de queijo suíço**. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

DZIEZAK, J. D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. **Food Technology**, v. 42, n. 4, p. 136-151, 1988.

EASTMAN, J. E.; MOORE, C. O. **Cold water soluble granular starch for gelled food composition**. U.S. Patent 4465702, 1984.

ESTEVES, B. N. **Influência do processo de secagem por pulverização mecânica (*spray dryer*) no tamanho de partícula e densidade aparente do café solúvel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FAZAELI, M. et al. Effect of *spray drying* conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, p. 667–675, 2012.

FELLOWS, P. **Food Processing Technology: Principles and Practice**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 1. ed. São Paulo: Nobel, 1984.

GEA NIRO RESEARCH LABORATORY. **GEA Niro Analytical Methods**. Disponível em: <<http://www.niro.com/methods>>. Acesso em: 10 out. 2015.

JURCA, P. **Carta Leite - Uma análise da balança comercial de lácteos**. Disponível em: <<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/cartas/40804/carta-leite---uma-analise-da-balanca-comercial-de-lacteos.htm>>. Acesso em: 25 set. 2015.

MASTERS, K. **Spray drying Handbook**. 4. ed. London: George Godwin, 1985.

McNAMEE, B. F.; O'RIORDAN, E. D.; O'SULLIVAN, M. Emulsification and microencapsulation properties of gum arabic. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 4551-4555, 1998.

MDIC - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/sito/>>. Acesso em: 07 out. 2015.

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

MUJUMDAR, A.S. **Handbook of Industrial Drying**. 3. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2006.

MÜLLER, P. S. **Microencapsulação de óleo essencial de laranja**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

OLIVEIRA, M. A. de. **Avaliação da influência de adjuvantes de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

PAULA, R. R. de. **Estudo da cinética e influência dos métodos de secagem sobre as propriedades físico-químicas de soro de leite**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.

PEDRO, M. A. M. **Influência de encapsulantes e do método de secagem nas propriedades físico-químicas e atributos de qualidade de polpa de maracujá em pó.** 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2009.

PELEGRINI, D. H. G.; CARRASQUEIRA, R. L. Aproveitamento do soro do leite no enriquecimento nutricional de bebidas. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 62, n. 6, p. 1004-11, 2008.

PHITAN E SILVA, R. de O. et al. **Aspectos das importações de soro de leite no Brasil.** Instituto de Economia Agrícola – IEA, out. 2013. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12703>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

PINTO, F. A. **Metodologia da espectroscopia no infravermelho para análise dos soros provenientes da fabricação de queijos Minas padrão e prato.** 45 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizontes, 2010.

SANTOS, R. C. S. dos. **Microencapsulação de *Lactobacillus casei* por spray drying.** Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SANTOS, A. B.; FERREIRA, V. P.; GROSSO, C. R. F. Microcápsulas: uma alternativa viável: microencapsulação de produtos sensíveis à oxidação óleo-resina de páprica. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, v. 3, n. 16, p. 26-30, jan. 2000.

SCHUCK, P. et al. Séchage des lactosérums et dérivés: rôle du lactose et de la dynamique de l'eau. **Le Lait**, v. 84, n. 3, p. 243-268, 2004.

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

SILVA, K.; BOLINI, H. M. A.; ANTUNES, A. J. Soro de leite bovino em sorvete. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 15, n. 2, p. 187-196, 2004.

SILVA, M. V. da; JUNIOR BOGDAN, D.; VISENTAINER, J. V. Produção e caracterização de maltodextrinas e sua aplicação na microencapsulação de compostos alimentícios por *spray drying*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 16, n. 1, jan./jun. 2014.

SOUZA, V. B. de. **Aproveitamento dos subprodutos de vinificação da uva Bordô (*Vitis labrusca*) para obtenção de pigmentos com propriedades funcionais**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

SOUZA, J. R. M.; BEZERRA, J. R. M. V.; BEZERRA, A. K. N. A. Utilização de soro de queijo na elaboração de pães. **Ciências Exatas e Naturais**, v. 7, n. 1, jan./jul. 2005.

TERIET JÚNIOR, W. **Efeito das modificações no processo de encapsulação de óleo de alho por *spray drying***. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2012.

TONON, R.V. **Secagem por atomização do suco de açaí: influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto**. 2009. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 29 set. 2015.

YOUSEFI, S.; EMAM-DJOMEH, Z.; MOUSAVI, S. M. Effect of carrier type and *spray drying* on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum L.*). **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 6, p. 677 – 684, nov/dez. 2011.