

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA — CT
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA

DANIEL CORDEIRO DÜRMAIER

**ESTUDO DOS EFEITOS DO AGENTE MICROENCAPSULANTE NO PÓ OBTIDO
POR SECAGEM DE ATOMIZAÇÃO DO LEITE CAPRINO *IN NATURA***

JOÃO PESSOA–PB

2023

DANIEL CORDEIRO DÜRMAIER

**ESTUDO DOS EFEITOS DO AGENTE MICROENCAPSULANTE NO PÓ OBTIDO
POR SECAGEM DE ATOMIZAÇÃO DO LEITE CAPRINO *IN NATURA***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento aos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Veruscka Araújo Silva

JOÃO PESSOA–PB

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D963e Dürmaier, Daniel Cordeiro.

Estudo dos efeitos do agente microencapsulante no pó
obtido por secagem de atomização do leite caprino in
natura / Daniel Cordeiro Dürmaier. - João Pessoa, 2023.
63 f. : il.

Orientação: Veruscka Araújo Silva.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Microencapsulação. 2. Secagem de alimentos. 3.
Leite de cabra em pó. I. Silva, Veruscka Araújo. II.
Título.

UFPB/CT

CDU 66.01(043.2)

DANIEL CORDEIRO DÜRMAIER

**ESTUDO DOS EFEITOS DO AGENTE MICROENCAPSULANTE NO PÓ OBTIDO
POR SECAGEM DE ATOMIZAÇÃO DO LEITE CAPRINO *IN NATURA***

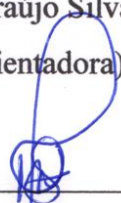
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal da
Paraíba, em cumprimento aos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Química.

Aprovado em 25 de outubro de 2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a. Dr.^a. Veruscka Araújo Silva (UFPB/CT/DEQ)
(Orientadora)



Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva (UFPB/CT/DEQ)
(Examinador)



Prof. Dr. Genaro Zenaide Clericuzi (UFPB/CT/DEQ)
(Examinador)

À vida e à obra, *in memoriam*, do médico
pediatra Dr. Hamilton Cordeiro (1926–2000)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao corpo docente do Departamento de Engenharia Química da UFPB e ao corpo técnico de seus laboratórios por todas as contribuições oferecidas ao meu crescimento científico e intelectual.

Agradeço muito à minha orientadora e professora, Dr^a. Veruscka Araújo Silva, pela confiança em mim depositada, pelo zelo e pelas observações pacientemente prestadas que acompanharam minuciosamente a redação e as etapas de experimentação deste estudo.

Agradeço particularmente ao professor Dr. Heber Sivini Ferreira pela gentileza e atenção em viabilizar procedimentos experimentais essenciais à elaboração desta monografia.

Agradeço especialmente, pela disposição em participar da avaliação deste trabalho, aos membros que compuseram a banca examinadora: o professor Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva e o professor Dr. Genaro Zenaide Clericuzi.

RESUMO

O leite de cabra é um dos principais produtos laticínios consumidos em todo o mundo e é continuamente sugerido para populações infantojuvenis e aos portadores de enfermidades gastrointestinais em função de seu teor reduzido de lactose. No Brasil, o leite caprino complementa a alimentação de populações do Sudeste e do semiárido do Nordeste, em especial, no estado da Paraíba, líder nacional da sua produção. A secagem por atomização é um método de redução de volumes líquidos de alimentos a pós e de aumento de estabilidade bioquímica de produtos e emprega agentes microencapsulantes — acrescentados como uma cota sólida em fração de massas — que atuam sobre os aspectos sensoriais, físico-químicos e granulométricos dos pulverizados. O presente trabalho visou estudar os impactos individuais de três configurações distintas de agentes carreantes sobre o pó de leite de cabra *in natura*: maltodextrina com grau de dextrose 20, uma mistura de goma arábica e da referida maltodextrina, e amido modificado. Os resultados revelaram que os três arranjos são eficazes na obtenção de pulverizados dotados de uma ampla gama de qualidades no interior das faixas de referência estabelecidas pela literatura e pela legislação brasileira. A mistura maltodextrina-goma arábica gerou um pulverizado mais prontamente solúvel e granulometricamente mais fino. O amido modificado foi inequivocamente mais eficaz em produzir um pó de leite com superior preservabilidade, menor atividade de água frente ao carreante maltodextrina e, segundo o estudo colorimétrico, de coloração mais avermelhada e amarelada; foi observado adicionalmente deste agente um leite reconstituído mais ácido. As configurações tiveram impacto estatisticamente idêntico no teor de cinza, na umidade e no índice refractométrico do leite reconstituído.

Palavras-chave: Microencapsulação. Secagem de alimentos. Leite de cabra em pó.

ABSTRACT

Goat's milk is one of the most popular dairy products consumed worldwide and is frequently suggested for children and for those affected by general digestive diseases due to its low lactose content. In Brazil, it complements the diet of populations in the Southeastern region and in the Northeastern semi-arid region, especially in the state of Paraíba, the national leader in its production. Spray drying is a method by which liquid volumes of food products are reduced to powders higher in biochemical stability, employing for that technique additives known as microencapsulating agents — added beforehand as solid quotas of mass fraction — which act on the sensorial, physicochemical, and morphologic behaviors of the resulting food powders. The present study has focused on evaluating the impact individually generated by three different defined configurations of carrying agents on powdered *in natura* goat's milk: maltodextrin with a dextrose equivalent (DE) of 20, a mixture of gum arabic and the aforesaid maltodextrin, and modified starch. The result of the analysis revealed that the three distinct setups of spray drying carrier agents were effective in its goal of obtaining milk powders with a wide range of characteristics within the references ranges established by drying and food science literature and by Brazilian legislation. The maltodextrin-gum arabic mixture produced a goat's milk powder more readily soluble in water and of finer granulometric properties. The modified starch was unequivocally more efficient in producing a milk powder with superior preservability, lower water activity when compared to the maltodextrin as the sole microencapsulating agent and, as determined by the colorimetric study, a redder and more yellow powder; in addition, the reconstituted (liquid) milk was measured slightly more acidic. The three setups had identical statistical impact (95% confidence interval) on the ashes content measurements, on water content, and on the refractometric index of the reconstitutions.

Keywords: Microencapsulation. Food drying. Goat milk powder.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de secador atomizador	20
Figura 2 – Fluxograma simplificado de etapas de secagem por atomização	21
Figura 3 – Granulometria eletrônica dos pulverizados (1), (2) e (3).....	45
Figura 4 – Fotografias em triplicata para caracterização colorimétrica de leite de cabra em pó por atomização adicionada (a), (b) e (c) Maltodextrina 20DE; (d), (e) e (f) Maltodextrina 20DE e goma arábica; (g), (h) e (i) Amido modificado	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Informação nutricional do leite de cabra.....	17
Tabela 2 – Proporção em massa entre leite caprino e agentes carreadores em soluções.....	34
Tabela 3 – pH e °Brix de leite caprino <i>in natura</i>	42
Tabela 4 – Percentual de sólidos totais	43
Tabela 5 – pH e °Brix das três configurações de solução de leite e agentes carreadores.....	44
Tabela 6 – Diâmetro dos pulverizados aos valores de 10%, 50% e 90% de acúmulo.....	46
Tabela 7 – Atividade de água dos pós obtidos por atomização.....	47
Tabela 8 – Umidade (%) em leite em pó pulverizado após 24 horas.....	48
Tabela 9 – Cinzas em configurações de pó de leite de cabra <i>in natura</i>	49
Tabela 10 – Solubilidade (%) de pó de leite de cabra <i>in natura</i> e agentes carreadores	50
Tabela 11 – Acidez e refractometria de leite caprino reconstituído	50
Tabela 12 – Atividade de água e umidade após o 30º dia de armazenamento.....	51
Tabela 13 – Colorimetria das configurações encapsulantes de pó de leite de cabra.....	53

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ_p — Massa específica de partícula, unidades de massa.unidades de volume⁻¹

a_w — Atividade de água, adimensional

a^* — Grau de intensidade verde-vermelho, adimensional

b^* — Grau de intensidade azul-amarela, adimensional

$^{\circ}\text{Bx}$ — Graus Brix, adimensional

c_i — Concentração inicial, unidades de massa.unidades de volume⁻¹

%C — Conteúdo de cinzas, Percentual em massa

d_p — Diâmetro final de partícula, unidades de comprimento

d_d — Diâmetro final de gota, unidades de comprimento

ISA% — Índice de solubilidade em água, Percentual em massa

L^* — Grau de luminosidade, adimensional

m_{seca} — Massa seca, unidades de massa

$m_{\text{suspensão}}$ — Massa de suspensão, unidades de massa

$m_{\text{alíquota}}$ — Massa de pó em alíquota de solução, unidades de massa

m_f — Massa de sólido incrustado, unidades de massa

m — Massa de leite em pó, unidades de massa

pH — Potencial hidrogeniônico, adimensional

%ST — Percentual de sólidos totais, Percentual em massa

V_{solvente} — Volume de solvente, unidades de volume

$V_{\text{alíquota}}$ — Volume de alíquota, unidades de volume

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. OBJETIVO GERAL.....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
3.1. LEITE DE CABRA	16
3.2. LEITE EM PÓ	18
3.3. SECAGEM VIA ATOMIZAÇÃO	19
3.4. MICROENCAPSULAÇÃO	21
3.5. CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO E LIBERAÇÃO DE ATIVOS	24
3.6. AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE PULVERIZADO	26
3.6.1. pH e °Brix do leite caprino <i>in natura</i>	27
3.6.2. Sólidos totais.....	27
3.6.3. Granulometria	28
3.6.4. Atividade de água.....	29
3.6.5. Umidade.....	30
3.6.6. Cinzas.....	30
3.6.7. Índice de solubilidade em água.....	31
3.6.8. Reidratação do leite.....	31
3.6.9. Armazenamento	31
3.6.10. Colorimetria.....	32
4. MATERIAIS E METODOLOGIA.....	33
4.1. MATÉRIA-PRIMA.....	33
4.2. REALIZAÇÃO DAS CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS	33
4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	33

4.4.	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	34
4.5.	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA SECAGEM VIA ATOMIZAÇÃO	34
4.6.	TECNOLOGIA DAS ANÁLISES.....	35
4.6.1.	pH e °Brix do leite caprino <i>in natura</i>	35
4.6.2.	Sólidos totais	35
4.6.3.	Granulometria.....	36
4.6.4.	Atividade de Água.....	37
4.6.5.	Umidade	37
4.6.6.	Cinzas.....	38
4.6.7.	Índice de solubilidade em água	38
4.6.8.	Reidratação do leite.....	39
4.6.9.	Armazenamento	40
4.6.10.	Colorimetria	40
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1.	PH E °BRIX DO LEITE CAPRINO <i>IN NATURA</i>	42
5.2.	SÓLIDOS TOTAIS.....	42
5.3.	CARACTERIZAÇÃO DE SOLUÇÕES.....	43
5.4.	GRANULOMETRIA	44
5.5.	ATIVIDADE DE ÁGUA.....	46
5.6.	UMIDADE.....	47
5.7.	CINZAS	48
5.8.	ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA	49
5.9.	REIDRATAÇÃO DO LEITE	50
5.10.	CONSERVAÇÃO	51
5.11.	COLORIMETRIA	52
6.	CONCLUSÕES.....	55
	APÊNDICES	13

1. INTRODUÇÃO

O consumo humano do leite de espécies distintas de mamíferos é um hábito multimilenar. A *Capra hircus*, popularmente cabra ou cabra-doméstica, estimada por ser um dos primeiros animais que foram domesticados, é historicamente uma das principais provisoras de alimentos laticínios ao homem não obstante à sua reduzida participação atual no mercado global de alimentos frente ao leite de vaca e aos leites livres de lactose, como o de soja e o de amêndoas. Constata-se que a sua aceitação no mercado alimentar tem residido especialmente em regiões geográficas pertencentes aos países levantinos e mediterrâneos, no Médio Oriente e na Ásia Meridional¹.

No contexto brasileiro, a caprinocultura e a coleta dos seus derivados se dão largamente nos estados pertencentes às regiões do Nordeste e Sudeste, sendo a Paraíba a maior responsável individual pela produção nacional. No semiárido nordestino, incumbe à produção privada em pequena escala de leite e de outros bens oriundos da criação de cabras a função de proporcionar aos criadores rendimentos financeiros, além de gerar postos de trabalho e suprir demandas alimentares locais. Para tanto, são desenvolvidas ações governamentais de introdução do leite de cabra às populações².

Como consequência da estratégia de pulverização de alimentos, tecnologia universalmente empregada na indústria de laticínios, pode ser observada uma alteração na vida útil do leite *in natura*, que se estende em múltiplas ordens de magnitude de tempo. Uma das principais tecnologias utilizadas para, entre outros, reduzir a atividade de água, é a secagem por atomização, que emprega como aditivo ao material originário quantidades em composições adaptadas de agentes microencapsulantes³.

De modo a atender demandas de consumo na utilização de ingredientes de origem não sintética, a indústria de processamento de alimentos tem dado ênfase na utilização de compostos como maltodextrinas de diversos graus de dextrose equivalente — polissacarídeos oriundos da hidrólise ácida ou enzimática de amido de milho, bioquimicamente constituídas de D-glicose

¹ PARK, Y. W.; HAENLEIN, G. F. W. **Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals**. [s.l.: s.n.].

² COSTA, R. G. *et al.* Características físico-químicas do leite de cabra comercializado no estado da Paraíba, Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. p. 136–141, 30 julho 2007.

³ SANTANA, A. A. *et al.* Influence of Process Conditions on the Physicochemical Properties of Pequi Powder Produced by Spray Drying. **Drying Technology**, v. 31, n. 7, p. 825–836, 19 maio 2013.

com ligações (1-4) na forma alfa — e o extrato polimérico da leguminosa *Acacia Senegal* (goma arábica)⁴.

A goma arábica apresenta capacidade de emulsão e baixa viscosidade em soluções aquosas, de composição bioquímica de ácido D-glucurônico, L-ramnose, D-galactose, L-arabinose e, ainda, aproximadamente cinco por cento de conteúdo proteico⁵. A tecnologia da encapsulação também vem sendo extensivamente empregada através do uso de amidos modificados de modo a atribuir aos produtos estabilidade e proteção⁶. Essa categoria de agente carreante, dotada de componentes ou lipofílicos ou hidrofílicos incorporados, em muitas publicações científicas, apresentou excelentes resultados sob a ótica da retenção de compostos voláteis durante processos de secagem pelo método de *spray drying*. A escolha de um método de otimização da secagem por atomização e a adequada escolha de agente carreante são alguns dos fatores críticos no controle das propriedades sensoriais, físico-químicas, nutricionais e de rendimento do pulverizado resultante⁷.

Cumprida, nesses termos, a formulação da pesquisa e estabelecidas as ferramentas instrumentais de avaliação quantitativa do presente projeto, fica justificada a importância do presente trabalho em definir o processo físico da encapsulação e de explicar os seus efeitos na obtenção de pó de leite caprino, bem como realizar uma análise comparativa sobre os efeitos da adição de diferentes configurações de agente carreante, dos materiais que sejam, na prática, viáveis na obtenção de características finais que atendam demandas atuais e futuras de consumo e de qualidade.

⁴ FINOTELLI, P. V.; ROCHA-LEÃO, M. H. M. MICROENCAPSULATION OF ASCORBIC ACID IN MALTODEXTRIN AND CAPSUL USING SPRAY-DRYING. [s.d.].

⁵ ARAÚJO, M. V. R. L. MICROENCAPSULAÇÃO POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DE COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE CIRIGUELA UTILIZANDO DIFERENTES FORMULAÇÕES DE AGENTES ENCAPSULANTES E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE. Monografia—Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2022.

⁶ OLIVEIRA, M. I. S. *et al.* Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 4, p. 310–318, dez. 2013.

⁷ PUI, L. P.; SALEENA, L. A. K. Effects of spray-drying parameters on physicochemical properties of powdered fruits. **Foods and Raw Materials**, p. 235–251, 23 set. 2022.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi o de observar os impactos quantitativos, individualmente gerados, por diferentes agentes carregadores (ou microencapsulantes) de secagem por *spray dryer* sobre as características físico-químicas de amostras pulverizadas de leite caprino.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do método experimental empregado neste trabalho foram, sequencialmente:

- i. Determinação dos sólidos totais do leite de cabra através da secagem em triplicata das amostras;
- ii. Planejamento da composição e preparo das soluções homogêneas de leite e agentes microencapsulantes a serem utilizadas em cada secagem por *spray dryer*;
- iii. Desenvolvimento de avaliações físico-químicas com amostras de pó obtidas mediante secagem com cada uma das composições de agentes preestabelecidas e tratar os dados estatisticamente como forma de possibilitar comparações;
- iv. Efetuar uma comparação dos resultados obtidos entre as análises físicas e químicas realizadas em laboratório referentes às espécies dos agentes carregadores e os dados registrados na literatura de engenharia de secagem.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. LEITE DE CABRA

A produção de leite caprino busca atender às demandas por laticínios derivados deste animal, como iogurtes e queijos dos tipos frescal, *Boursin*, *Moleson*, *Chevrotin*, *Chabichou* e *Feta*, especificamente no caso de países desenvolvidos, que contam com elevadas proporções de consumidores dotados de médio a alto rendimento disponível⁸. O leite de cabra, menos rico em lactose, é apontado como particularmente digestível pelo homem frente ao leite bovino e, assim, tradicionalmente apresentado como seu substituto sobretudo para as populações infantojuvenis, para alérgicos à lactose e para portadores de enfermidades gastrointestinais diversas. Além disso, sob o ponto de vista econômico tem como origem um animal inicialmente menos oneroso, para o seu domesticador. Neste sentido, se deve considerar que afora a extração do leite, a *Capra hircus* pode ser explorada para a obtenção de lã de *cashmere*, de carne e de couro de bode. Ressalte-se que a ocorrência da espécie é abundante e não goza de proteção ambiental específica por organismos nacionais ou internacionais de conservação.

A exploração econômica dos caprinos no território brasileiro remonta às primeiras fases do período colonial, no séc. XVI⁹. Fazendo frente à importação marítima de alimentos da Europa, foi conferido ao leite caprino a distinção de compor a transformação dos hábitos alimentares dos habitantes do Brasil, por meio da pecuária introduzida pelos povoamentos coloniais. A fisiologia da *Capra hircus* é apontada como responsável pela adaptabilidade da espécie a variadas condições climáticas, sendo o semiárido nordestino, mais especificamente a mesorregião do Cariri paraibano, um dos espaços historicamente eleitos. Atualmente, a reprodução de cabras possui uma importância sócio-econômica relevante na economia da região: 22% do volume de leite caprino comercializado no Brasil é oriundo de produtores do Estado da Paraíba, que deteve uma população de aproximadamente 550 mil animais no ano de 2017, conforme o Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A produção foi impulsionada pelo sucesso de programas interestaduais e do governo

⁸ HAENLEIN, G. F. W. Goat milk in human nutrition. **Small Ruminant Research**, v. 51, n. 2, p. 155–163, fev. 2004.

⁹ DINIZ SOBRINHO, F. D. A. *et al.* Capra hircus outliers markers in Brazil: Searching for genomic regions under the action of natural selection. **Genetics and Molecular Biology**, v. 46, n. 3, p. e20230084, 2023.

do Estado da Paraíba como o Projeto Cooperar/PB (Lei nº 6.523, de 10 de setembro de 1997)¹⁰ e o Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável do Cariri Paraibano (Pacto Novo Cariri), que envolve, além do poder público, a sociedade civil e a iniciativa privada.

Do ponto de vista nutricional, o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA) refere a uma porção de leite integral de cabra de 100 g como detentora dos valores dietéticos conforme a Tabela 1¹¹, atestando algumas de suas qualidades mais fundamentais como alimento:

Tabela 1 – Informação nutricional do leite de cabra

Nutriente	Quantidade	Unidade
Água	87,0	gramas
Proteínas	3,56	gramas
Açúcares	4,45	gramas
Gorduras	4,14	gramas
Energia	69,0	quilocalorias
Cálcio, Ca	134	miligramas
Potássio, K	204	miligramas
Fósforo, P	111	miligramas

Fonte: USDA (adaptado), 2023.

O leite de cabra é comercialmente introduzido e seu consumo doméstico se dá sob variadas apresentações, sendo elas: *in natura* e as industriais longa vida (UHT) integral, desnatada ou semidesnatada, ou ainda, por último, integral ou desnatado em pó que são posteriormente reconstituídos pelo consumidor a leite líquido. As características benéficas do consumo do leite em cabra, tais como a facilidade de digestão e absorção de suas proteínas (quando comparado ao leite bovino) e o auxílio no controle de colesterol, sendo fonte de cálcio, potássio, fósforo, magnésio e de vitamina A¹² (que previne doenças do sistema ocular e o desenvolvimento de tipos de cancro), são perdidas através da gradual deterioração do alimento. Desta maneira, técnicas de acometimento da perecibilidade, como a pulverização, são

¹⁰ DOS SANTOS, J. V. I. Avaliação da qualidade do leite de cabra na Fazenda Padre Cícero no Município de Monteiro - PB. Sumé: Universidade Federal de Campina Grande, 11 dez. 2020.

¹¹ Adaptado da tabela disponibilizada no endereço eletrônico <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1097531/nutrients>>.

¹² ZENEBE, T. *et al.* Review on Medicinal and Nutritional Values of Goat Milk. 2014.

especialmente úteis como forma de preservação das qualidades alimentares do produto através da extensão do prazo de validade por redução do crescimento de agentes microbiológicos no material pós ordenha. Métodos desta tecnologia eficientes na prevenção da perda de material alimentar incluem a secagem natural, por estufa, *refractance window*, atomização, liofilização (*freeze-drying*, por sublimação), entre diversos outros consolidados laboratorialmente, conforme disposto na literatura, e industrialmente¹³.

Endósporos bacterianos possuem fator de sobrevivência consideravelmente elevado frente a tratamentos térmicos, podendo permanecer vivos mesmo diante de processamentos de temperatura ultra alta (UHT) e pasteurizações. Esta sobrevivência se relaciona à categoria da cepa do microrganismo, às condições ambientais de seu desenvolvimento e à idade dos esporos¹⁴. A introdução de produtos no mercado de alimentos depende da aplicação de uma metodologia de controle microbiológico eficaz que tanto forneça aos consumidores alimentos seguros, de acordo com os critérios sanitários previamente estabelecidos, como à vida estendida prevista de armazenamento na prateleira.

3.2. LEITE EM PÓ

O leite em pó é um pulverizado complexo, com um amplo conjunto de atributos funcionais, físicos e bioquímicos preditivos relevantes na futura performance comercial do lote e na avaliação de seus parâmetros de produção, especificamente estabelecidos nas organizações principalmente por avaliações empíricas¹⁵. A aceitabilidade do produto depende, largamente, de sua funcionalidade nutricional e da velocidade de reconstituição de suas aplicações diretas, como o pó solúvel de leite e a formulação infantil¹⁶. O seu principal atributo, entretanto, reside no extenso tempo de prateleira.

¹³ BAEGHBALI, V.; NIAKOUSARI, M.; FARAHNAKY, A. Refractance Window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, p. 34–40, mar. 2016.

¹⁴ ANJOS, T. R. D. *et al.* Unsatisfactory microbiological aspects of UHT goat milk, soymilk and dairy beverage of goat milk and soy protein: A public health issue. **Food Science and Technology**, v. 40, n. suppl 1, p. 349–354, jun. 2020.

¹⁵ BOIARKINA, I. *et al.* Using Big Data in Industrial Milk Powder Process Systems. Em: **Computer Aided Chemical Engineering**. [s.l.] Elsevier, 2018. v. 44p. 2293–2298.

¹⁶ REDDY, R. S. *et al.* Influence of processing conditions on functional and reconstitution properties of milk powder made from Osmanabadi goat milk by spray drying. **Small Ruminant Research**, v. 119, n. 1–3, p. 130–137, jun. 2014.

3.3. SECAGEM VIA ATOMIZAÇÃO

O método *spray drying*, ou secagem por atomização, é uma tecnologia registrada na literatura da secagem, isto é, a operação unitária que trata de separar — sob condições físicas controladas — o conteúdo líquido volátil, em suspensões e soluções aquosas, dos sólidos não voláteis a elas respectivos, sendo promovida fisicamente por fenômenos simultâneos de transferências de calor e de massa¹⁷. O processo foi desenvolvido em resposta, dos engenheiros, à demanda, em meados do século XX, por alimentos e diversos outros materiais que apresentassem menor massa e volume, tornando conveniente o transporte de grandes quantidades de bens a trajetos de alcance global¹⁸.

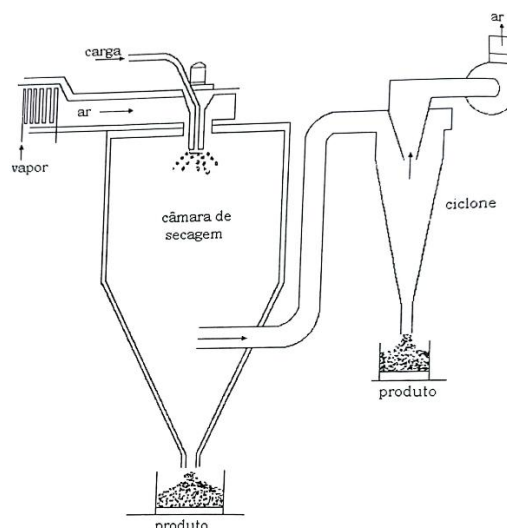
Atualmente, a secagem por atomização é uma operação fundamental em aplicações laboratoriais e industriais, sendo empregada na pesquisa, sobretudo em engenharia química, e no processo produtivo de um campo vasto de bens, primordialmente nas áreas farmacêutica (mormente como estratégia de erguer a biodisponibilidade de formulações medicamentosas), na fabricação de produtos cosméticos, e na de alimentos, bem como, em menor grau, nos ramos industriais dos produtos químicos em geral, de fertilizantes, de papelaria, de produtos cerâmicos, têxteis, da biotecnologia¹⁹ e potencialmente em quaisquer outras que empreguem substâncias sensíveis à troca de energia térmica. Apesar de na prática consistir em uma operação unitária notavelmente perdulária sob o ponto de vista energético, analogamente à destilação, o *spray drying* é o processo ideal na obtenção de produtos pulverizados com um grau alto de precisão e exatidão por critérios como a uniformidade do tamanho particular, do teor de umidade, da alta capacidade de solubilização, da densidade aparente, de morfologia e ainda de estabilidade química²⁰. Particularmente interessante aos alimentos pulverizados, é o aumento expressivo da vida útil de alimentos categorizados como perecíveis, residindo no baixo teor de água livre esse atributo, sendo inibida a atividade microbiana, a oxidação lipídica, a decomposição de nutrientes e vitaminas, entre outras reações biodegradativas.

¹⁷ TRIBOLI, E. P. D. R. **Estudo e otimização de processo de secagem de iogurte por atomização com secador em escala piloto**. Doutorado em Engenharia Química—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2 fev. 2016.

¹⁸ PATEL, R. P.; PATEL, M. P.; SUTHAR, A. M. Spray drying technology: an overview. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 2, n. 10, p. 44–47, 20 out. 2009.

¹⁹ TRIBOLI, E. P. D. R., op. cit.

²⁰ PATEL, R. P.; PATEL, M. P.; SUTHAR, A. M., op. cit.

Figura 1 – Esquema de secador atomizador

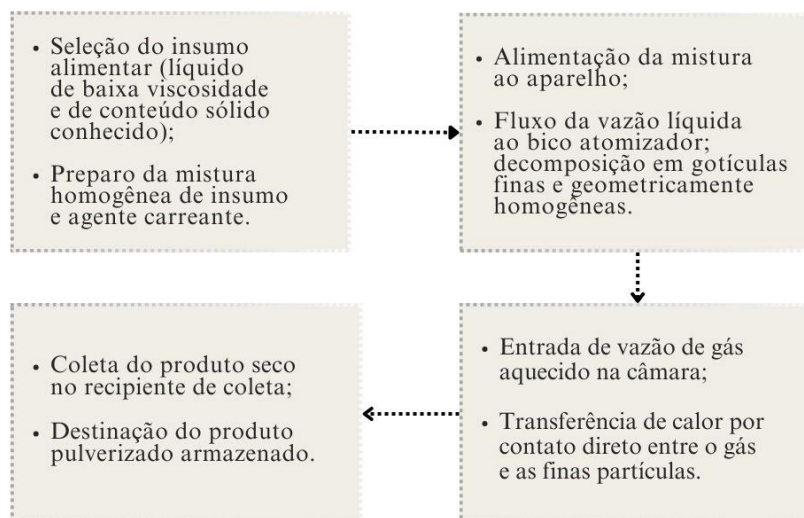
Fonte: Fioreze (2004)

A operação global da secagem, quando empregado especificamente o maquinário secador pulverizador, compreende praticamente uma série sequencial de fases físicas: o líquido é alimentado ao aparelho, em princípio, e é atomizado, isto é, decomposto de uma vazão no estado líquido em finas gotículas aproximadamente homogêneas pelo critério geométrico, no interior de uma câmara de jato em *spray*. As finas partículas que a fase dispersa apresenta são então submetidas ao contato direto a um gás sob temperatura superior em relação a ela, que por sua vez provoca a remoção por evaporação da totalidade ou da maior parte do conteúdo líquido presente no jato, remanescendo no produto, em um tanque de coleta, as partículas secas desejadas²¹. Uma redução do tamanho de partícula teria como resultado a aceleração da desidratação, consequência do aumento dos coeficientes de transferência de calor e de massa²².

²¹ CAL, K.; SOLLOHUB, K. Spray Drying Technique. I: Hardware and Process Parameters. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 99, n. 2, p. 575–586, fev. 2010.

²² TRIBOLI, E. P. D. R., op. cit.

Figura 2 – Fluxograma simplificado de etapas de secagem por atomização



Fonte: Elaboração própria (2023)

3.4. MICROENCAPSULAÇÃO

O *spray drying*, além de possuir a reputação de ser um método de desidratação de soluções e suspensões, é empregada como uma técnica de microencapsulação de materiais alimentícios e farmacêuticos, quando é capaz de ‘envolver’, com um envoltório inerte a este material envolto, por meio de uma matriz protetiva²³. As microcápsulas, dotadas do envoltório polimérico ao redor de líquidos, gases, ou sólidos, adquirem novas características desejáveis (sob o ponto de vista comercial ou científico) em diversas aplicações, em relação aos materiais desprovidos dos revestimentos desta natureza²⁴.

“Em geral, a microencapsulação é aplicada para transformar um líquido em um sólido, além de separar materiais com possibilidade de reagirem entre si, reduzir a toxicidade de um determinado composto, mascarar gostos amargos,

²³ RÉ, M. MICROENCAPSULATION BY SPRAY DRYING. **Drying Technology**, v. 16, n. 6, p. 1195–1236, jan. 1998.

²⁴ GHARSALLAOUI, A. *et al.* Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. **Food Research International**, v. 40, n. 9, p. 1107–1121, nov. 2007.

reduzir a volatilidade de substâncias e proporcionar liberação controlada das mesmas.” (Carmo; Fernandes; Borges, 2015, p. 1).

Os agentes microencapsulantes dotados de aplicabilidade industrial na fabricação ao redor do globo de alimentos pulverizados, fármacos, cosméticos, entre outros produtos, apresentam natureza bioquímica diversa. Pelo critério da disponibilidade comercial, os tipos de agentes mais frequentemente aproveitados são: carboidratos (em forma de amidos, maltodextrinas, xaropes de milho sólido, ciclodextrinas), ésteres e éteres de celulose (como carboximetilcelulose, metilcelulose, etilcelulose), gomas (goma acácia, goma agar e alginato de sódio), lipídios (como as ceras, as parafinas, as gorduras e os óleos) e um conjunto de proteínas, sendo as principais as gelatinas, proteínas de soja ou de ervilha e *whey protein*²⁵.

A importância da microencapsulação na indústria alimentícia não reside apenas em fatores de acentuação de características de conservação, como, por exemplo, inibição do desenvolvimento de organismos como *Aspergillus niger* em queijo feta desenvolvido a partir de encapsulação por alginato de sódio. A microencapsulação é defendida como um método de definir a liberação de ácidos graxos, associados à saúde como resultado da elevação da concentração de lipoproteínas de alta densidade (HDL, “colesterol bom”), como os essenciais ômega 3-6-9. Em termos de propriedades sensoriais, certas configurações encapsulantes em carnes aumenta a concentração de aldeídos, ésteres, fenóis e terpenos voláteis e de características aromatizantes agradáveis; em leites e seus derivados, a operação a certos parâmetros evita degradações na aparência colorimétrica decorrentes de fermentações; em certos sucos de fruta pulverizados por *spray drying* e encapsulados por maltodextrinas, como o de noni fermentado, ácidos voláteis de propriedades aromáticas desagradáveis são evaporados²⁶.

As microcápsulas, constituídas externamente da matriz polimérica que envolvem o núcleo sólido, líquido ou gasoso, são inertes às substâncias envolvidas, sendo suficientemente tênues e resistentes a permitirem uma elevada proporção volumétrica entre núcleo e invólucro e impedirem um rompimento involuntário das paredes por meio de manipulação do material, reduzindo as possibilidades de acesso ao conteúdo das cápsulas a métodos intencionais de

²⁵ RÉ, M., op. cit.

²⁶ CALDERÓN-OLIVER, M.; PONCE-ALQUICIRA, E. The Role of Microencapsulation in Food Application. *Molecules*, v. 27, n. 5, p. 1499, 23 fev. 2022.

laboratório ou industriais de quebra ou dissolução das paredes. O processo global da microencapsulação tem como origem nos fatores físico-químicos: a polimerização, a cinética química, a ciência das superfícies e as perturbações que ocorrem no momento da formação de interfaces sobre as ligações intermoleculares²⁷.

Diante da onerosidade do método de obtenção de pulverizados por atomização em termos energéticos, de consumo operacional e de matérias-primas, na literatura e na indústria se considera o custo o elemento limitante em testes de proposições de aprimoramentos nos sistemas de microencapsulação ou em novos estudos dos efeitos do controle de variáveis adicionais sobre a operação de secagem e os seus produtos. Face a este obstáculo, a literatura registra experimentos do tipo *single droplet drying* (SDD), que reduz o problema da escala da operação unitária a uma unidade de gotícula, formada, por sua vez, através de diversos métodos. Salva-se, por conseguinte, recursos humanos e de tempo e se assegura a constância de um número maior de variáveis em comparação com o método tradicional de exame, além de reduzir a complexidade de questões que busquem explicar o mecanismo do processo físico²⁸.

As características da física de partículas mais relevantes na determinação da adequação de amostras de pulverizados em aplicações de engenharia e farmácia são a morfologia, o tamanho (diâmetro) particular médio e a distribuição de tamanho²⁹. Face ao exposto, obtém-se o diâmetro de partícula pela Equação 1:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{c_i}{\rho_p}} d_d \quad (1)$$

Partindo da suposição de uma partícula de geométrica esférica, o diâmetro da unidade goticular, em unidades de comprimento, é representado por d_d e a concentração inicial do soluto

²⁷ HAWKINS, S.; WOLF, M. *Delivery System Handbook for Personal Care and Cosmetic Products: Technology, Applications and Formulations*. 1. ed. [s.l.] Meyer Rosen, 2005.

²⁸ GAONKAR, A. *et al.* *Microencapsulation in the Food Industry: A Practical Implementation Guide*. 1. ed. [s.l.] Robert Sobel, 2014.

²⁹ BOEL, E. *et al.* *Unraveling Particle Formation: From Single Droplet Drying to Spray Drying and Electrospraying*. **Pharmaceutics**, v. 12, n. 7, p. 625, 4 jul. 2020.

na alimentação, por c_i , em unidade de concentração mássica em volume de solução. A massa específica particular é denotada pela letra grega ρ_p .

3.5. CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO E LIBERAÇÃO DE ATIVOS

Os métodos principais que compreendem a liberação dos conteúdos ativos das microcápsulas são a ruptura mecânica e a liberação controlada. A primeira tecnologia consiste na aplicação de uma força deformante geometricamente e, conseqüentemente, vetorialmente normal a um segmento que conecta um par de extremidades da cápsula aproximadamente esférica, sendo sua resistência mecânica de magnitude inversamente proporcional ao volume da cápsula, como postulado por exames laboratoriais de resistência à tração. A segunda técnica abrange o emprego de um perfil de liberação do princípio ativo da microcápsula — justificado fisicamente através do mecanismo do fenômeno de transporte de massa da difusão — espontânea para gradientes de concentração de uma espécie em uma mistura de duas ou mais espécies químicas por meio da interface polimérica que as separa³⁰.

O perfil de liberação depende, como fatores controladores, da taxa de difusão molecular, da solubilidade da fase interna, da natureza física e química da membrana polimérica, do tamanho particular do invólucro, da massa molecular do polímero (fator que, adicionalmente, incide diretamente sobre a difusividade da substância), da proporção entre as massas do conteúdo interno e da película, da solubilidade na água do material a ser envelopado, e ainda das condições térmicas de operação³¹.

Corroborado por Weissbrodt³², acerca das condições de um secagem por atomização, possivelmente em escala piloto ou fabricações em pequena escala, postula-se um processo global de secagem acelerado em decorrência da alimentação da mistura solução-agente carreante em um grau proporcional à sua temperatura e uma relação contrária em relação à

³⁰ HAWKINS, S.; WOLF, M., op. cit.

³¹ Idem.

³² Adaptado da informação verbal exposta em webinar pela Dra. Jenny Weissbrodt em 11 de fevereiro de 2021. Disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=TNyj0qJ054c>>.

umidade presente na mistura no instante prévio à secagem, sendo essas relações verdadeiras até o limite da ruptura das partículas associadas a uma energia térmica copiosamente alta, especialmente em materiais extraordinariamente sensíveis ao calor.

No concernente às condições de operação, mais especificamente da composição de entrada entre a suspensão e o agente carreante em operações de *spray drying* e os seus resultados quanto ao fator da retenção, foram registradas na literatura diversas proporções (do tipo massa/massa) entre o material encapsulador e o núcleo (referente ao conteúdo sólido ou não líquido da solução). A repercussão obtida mediante observação de tais experiências foi que, ordinariamente, uma menor retenção é gerada em proporções de maior conteúdo sólido de suspensão em relação ao encapsulante, resultado que reside no fato de que há menor material disponível a ser potencialmente encapsulado nestas circunstâncias. Em adição ao resultado acima mencionado, verificou-se que, em ocasião de grau elevado no interior da proporção entre massas, os sólidos provocariam uma desaceleração na cinética da operação de secagem e uma maior perda de materiais, havendo uma alteração nas características estruturais das partículas do pulverizado dessa maneira obtido³³.

O procedimento experimental de Oliveira *et al.*³⁴ buscou estabelecer uma relação entre os parâmetros controláveis fundamentais de operação do secador atomizador e as propriedades do produto pulverizado de leite de cabra; foi observada uma importância preponderante da magnitude da vazão de alimentação e do tamanho de partícula sobre as características do pó frente às temperaturas de entrada e saída da técnica. Ravula *et al.*³⁵ realizaram uma entrevista de aspectos sensoriais de leite de cabra reconstituído do pó desidratado pela técnica de atomização em função da temperatura de operação e do teor de lecitina adicionada. Sensorialmente, foi observada uma coloração menos esbranquiçada e mais amarelada nas amostras produzidas de concentrações mais elevadas do agente carregador (lecitina); entrevistados julgaram de zero a dez, em condições metodológicas de análise dos atributos sensoriais, o leite com concentração intermediária de carreante como contendo o melhor sabor

³³ Ibidem, 16 min 5 s.

³⁴ OLIVEIRA, A. H. *et al.* Influence of spray drying conditions on the properties of whole goat milk. **Drying Technology**, v. 39, n. 6, p. 726–737, 31 mar. 2021.

³⁵ RAVULA, S. R. *et al.* Sensory evaluation of spray dried and agglomerated goat milk powder and their comparison. *The Pharma Innovation Journal*. p. 835–838, 21 jun. 2018.

e textura. Comparativamente, tem-se sensorialmente que formulações menos concentradas em sólidos e secas a temperaturas mais elevadas apresentam maior expressão colorimétrica³⁶.

3.6. AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE PULVERIZADO

A caracterização de materiais envolve um conjunto de métodos que permitem a observação — em um instante de tempo sob o controle de variáveis interferentes em valores fixos — de aspectos escolhidos a critério do observador da física e da química de um volume ou de uma massa de matéria, para efeito de compreensão da natureza do material e da evolução desses aspectos decorrida uma ou uma série de transformações físicas e/ou processos bioquímicos. Por fim, a coleção de resultados da caracterização relacionada aos pontos do processo é utilizada para referenciar ajustes metodológicos correspondentes às variáveis controladas adotadas com o intuito de igualá-las aos *setpoints*³⁷ do sistema através de correções dinâmicas da variável manipulada, ou para obter as qualidades finais estipuladas³⁸, ou com o intuito de elevar a eficiência produtiva.

À vista do citado, os produtos comerciais da categoria alimentícia são submetidos, necessariamente, a etapas de tratamento que visam a manter qualidades no interior de faixas estipuladas de diversos parâmetros mensuráveis nos produtos, em intervalos entre as etapas dos processos ou enquanto eles decorrem. O preparo industrial de produtos lácteos envolve tratamentos que provocam mudanças bromatológicas desejadas na química dos insumos, dos intermediários, e, sobretudo, dos produtos sob os pontos de vista da conservação e da aptidão comercial³⁹.

Específico a um alimento em formato pulverizado, são possivelmente avaliadas não somente grandezas nutricionais, sensoriais e pertinentes a durabilidade, mas também aquelas

³⁶ BENTO, M. S. G. *et al.* Properties of goat milk powder obtained by different process conditions in spray dryer. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, XXXVII., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais [...]** Foz do Iguaçu, 2008.

³⁷ O *setpoint* é o valor numérico desejado a uma variável instantaneamente mensurável de um sistema.

³⁸ SU, Q. *et al.* A perspective on Quality-by-Control (QbC) in pharmaceutical continuous manufacturing. **Computers & Chemical Engineering**, v. 125, p. 216–231, jun. 2019.

³⁹ HENRIQUES, I. P. DE S. A. CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE SORO DE LEITE CAPRINO E BOVINO ATRAVÉS DE CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA (DSC) E ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS (TGA). Dissertação de Mestrado—Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018.

que definem o perfil de sólidos granulados. Birchal *et al.*⁴⁰, em um estudo de secagem de leite em atomizador, buscaram correlações entre todos os parâmetros controláveis de operação do maquinário em escala piloto utilizado e a natureza química final do produto, descrita através de uma caracterização do leite em pó. O modelo físico-matemático desenvolvido para fins de simulação levou a conclusão de que a análise morfológica do pó resultante é viável como um critério do estudo da atomização a partir do controle das variáveis operacionais.

3.6.1. pH e °Brix do leite caprino *in natura*

O pH e o índice refractométrico são grandezas adimensionais referentes a soluções líquidas e são mensurados como um método de descrição da natureza do material. Atravessado por um feixe de luz o analito e um produto de calibração de massa específica distinta e de propriedades previamente conhecidas, o feixe é refratado de forma a fornecer informações sobre o analito: o seno trigonométrico dos ângulos de incidência e de refratação do feixe, a uma dada temperatura e pressão, é constante. O índice refractométrico é característico para uma substância, e é aceitável utilizá-lo como parâmetro qualitativo de identificação de produtos químicos⁴¹.

A acidez em alimentos é normalmente advinda de ácidos orgânicos fracos, como o cítrico, o málico, tartárico ou acético. O grau de acidez do alimento governa outras propriedades, como a estabilidade microbiana, sabor e a coloração, e a própria qualidade do alimento — cujos diversos componentes químicos são sensíveis a alterações de pH⁴².

3.6.2. Sólidos totais

O teor de sólidos totais é a cota, em percentual $m.m^{-1}$, que resiste da amostra em um recipiente de controle em decorrência de aquecimento em alta temperatura passado um período temporal suficientemente longo para que seja atingida a homogeneidade. Se trata da característica governante da capacidade de retenção de produtos voláteis constituintes e da

⁴⁰ BIRCHAL, V. *et al.* Effect of Spray-Dryer Operating Variables on the Whole Milk Powder Quality. **Drying Technology**, v. 23, n. 3, p. 611–636, 30 mar. 2005.

⁴¹ NIELSEN, S. S. (ED.). **Food Analysis**. Boston, MA: Springer US, 2010.

⁴² Idem.

viscosidade da emulsão⁴³. Sua inspeção, assim, é primordial para o controle da operação de secagem.

3.6.3. Granulometria

De acordo com a literatura, diversas técnicas são realizadas para examinar físico-quimicamente a qualidade dos produtos pulverizados por atomização de alimentos. A característica mais fundamental de um pó alimentar é o seu tamanho de partícula, determinado através de exame granulométrico, atributo governante de outros elementos subsequentes. A geometria do pulverizado é de especial importância em aplicações alimentares, sabendo que a sua granulometria influi sobre a fluidez de pó, sobre a dispersividade através de fluidos, o grau de dissolubilidade, a massa específica, as propriedades elétricas e térmicas, e sobre aspectos sensoriais⁴⁴. A importância da medição analítica de maneira apropriada dessa grandeza é tamanha em aplicações industriais que ela possui cunho eliminatório em resultados atípicos de acordo com a faixa aceitável preestabelecida em relação a um lote produzido. Isso autoriza concluir que o emprego da metodologia correta e com a menor variabilidade entre os testes reduz as perdas econômicas e as taxas de rejeição de lotes e de lotes de produtos de qualidade inferior à prevista⁴⁵. O critério de escolha de uma metodologia de granulometria depende da disponibilidade de instrumentos, da possibilidade de obtenção de amostras homogêneas e próximas fisicamente do conteúdo original, do número de análises necessárias em um determinado intervalo de tempo, da magnitude disponível de mão de obra e de automação.

Devido às diferenças nas instrumentações e seus métodos de medição, os estudos granulométricos são considerados de importância relativa, ou, em outros termos, a estratégia qualitativa de avaliação dos resultados depende da disparidade entre medições, empregados os mesmos instrumentos e a mesma técnica⁴⁶. Uma vez que medições numéricas de fenômenos naturais de amostras são realizadas em quantidade elevada de iterações, se ressalta a

⁴³ RÉ, M., op. cit.

⁴⁴ JILLAVENKATESA, A.; DAPKUNAS, S. J.; LUM, L. S. H. **Particle size characterization**. [s.l: s.n.].

⁴⁵ DODDS, J. Techniques to analyse particle size of food powders. Em: **Handbook of Food Powders**. [s.l.] Elsevier, 2013. p. 309–338.

⁴⁶ JILLAVENKATESA, A.; DAPKUNAS, S. J.; LUM, L. H., op. cit.

necessidade por análises de variância dos dados, tornando observáveis através de tratamento estatístico as conclusões analíticas finais a partir dos processos modificadores das variáveis independentes previamente fixadas. Em face a esse conhecimento, se exprime, usualmente, incertezas em grandezas em termos de desvio padrão e, constatadas discrepâncias entre médias aritméticas entre dados, dados podem ser testados quando definido um limite de significância⁴⁷.

3.6.4. Atividade de água

A forma de água livre — capaz de promover a biologia de microrganismos — reside nos poros moleculares presentes no lote. Considerando a categoria a que o pulverizado de leite de cabra é pertencente, isto é, a alimentar em pó, a atividade de água é uma das propriedades funcionais mais fundamentais de avaliação, reside na análise humana deste fator a previsibilidade das condições atual e futura de crescimento de população microbiológica contaminante no lote da amostra testada, se constituindo como de primordial importância à segurança do conteúdo alimentar⁴⁸. Formalmente a proporção entre a pressão de vapor da água dentro de um sistema e a medição registrada de pressão de saturação para a substância pura na temperatura do sistema⁴⁹, a grandeza termodinâmica da atividade de água também tem o poder de prenunciar características sensoriais, reações bioquímicas em cadeia, a atividade enzimática e vitamínica, e o tempo de validade na prateleira do produto⁵⁰. A tendência mercadologicamente indesejada de adesão de partículas individuais em aglomerados granulados é fisicamente controlada por uma composição de fatores que inclui a_w , que a essa aptidão possui uma relação de inversa proporcionalidade.

⁴⁷ CALVO, P. *et al.* Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 256–261, jan. 2012.

⁴⁸ REH, C.; BHAT, S. N.; BERRUT, S. Determination of water content in powdered milk. **Food Chemistry**, v. 86, n. 3, p. 457–464, jul. 2004.

⁴⁹ RAHMAN, S. (ED.). **Food properties handbook**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

⁵⁰ DIRIM, S. N.; ÇALIŞKAN, G. DETERMINATION OF THE EFFECT OF FREEZE DRYING PROCESS ON THE PRODUCTION OF PUMPKIN (*CUCURBITA MOSCHATA*) PUREE POWDER AND THE POWDER PROPERTIES. [s.d.].

3.6.5. Umidade

O conteúdo aquoso de um lote de pulverizado alimentar é uma das propriedades motrizes em relação à estabilidade física e química de um pó armazenado em estoque e da sua capacidade de fluidez. Comparativamente, não é uma medida adequada para prever a segurança de um alimento como a medida da atividade de água: dois materiais de idêntico conteúdo em água podem possuir vidas de prateleira distintas. Medida enquanto percentual de conteúdo líquido ou de forma fracional como volume ou como massa de material volátil em massa do analito, o tratamento específico da secagem em um material comumente, mas não exclusivamente, biológico, onde o teor líquido é composto por uma mistura de compostos fisicamente diferentes pelo critério da volatilidade, se adota como base de cálculo para a grandeza a massa constante de matéria higroscópica que remanesce fisicamente inerte frente ao processo de evaporação; do conhecimento das características iniciais dos insumos, a obtenção da massa seca provê, conseqüentemente, o balanço de massa global da secagem⁵¹.

3.6.6. Cinzas

A cinza de um alimento é o resíduo inorgânico remanescente findada a completa oxidação ou ignição de uma amostra cuidadosamente escolhida e manipulada de modo a evitar quaisquer contaminações. O teor de cinzas de um material granulado corresponde à sua qualidade mineral total, e sua medição pode ser utilizada como uma análise prévia do conteúdo elementar iônico específico deste alimento, a ser apresentado como um atrativo que agrega à saúde do seu consumidor⁵².

⁵¹ KEEY, R. B. **Drying of Loose and Particulate Materials**. Nova Iorque, NY, Hemisphere, 1992.

⁵² NIELSEN, S. S., op. cit.

3.6.7. Índice de solubilidade em água

O índice de solubilidade em água de um pulverizado é importante no que concerne ao seu comportamento de reconstituição a líquido. Na ótica do consumidor, os autores afirmam, a precipitação e total reidratação do conteúdo são alguns dos principais parâmetros de qualidade de um produto em formato de pó. Essa grandeza, por sua vez, é dominada por indicadores como a concentração do material antes da operação de secagem, a espécie e a composição de agentes microencapsulantes, a magnitude da vazão de ar comprimido do pulverizador do aparelho de *spray dry*, e da vazão de alimentação do mesmo aparelho⁵³.

3.6.8. Reidratação do leite

Sob a ótica do consumidor de leite em pó, de fórmula infantil, de formulações proteicas e de outros alimentos solúveis, as características reconstitutivas do material são de crucial importância para a aceitabilidade sensorial⁵⁴ e para medir a viabilidade do método e a capacidade de preservação das propriedades entre o leite previamente desidratado e as do produto.

3.6.9. Armazenamento

O estudo da conservação e da estabilidade química e física das propriedades do leite em pó busca examinar os efeitos do armazenamento sobre as características de um material, processado ou não, passado um tempo estipulado a condições constantes de temperatura e de umidade do ambiente. Como um produto alimentar, as propriedades físico-químicas do conteúdo aquoso e da atividade de água devem ser estudadas em intervalos fixos de tempo,

⁵³ JAFARI, S. M.; GHALEGI GHALENOEI, M. DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, v. 311, p. 59–65, abr. 2017.

⁵⁴ FANG, Y.; SELOMULYA, C.; CHEN, X. D. On Measurement of Food Powder Reconstitution Properties. **Drying Technology**, v. 26, n. 1, p. 3–14, 28 dez. 2007.

para, em função de variáveis complementares, capacitar o cálculo, por extrapolação, do prazo de validade. A conservação consiste na prevenção de efeitos das intempéries ambientais danosas aos atributos dos alimentos e aos recipientes que contém os produtos. A contenção se dá sob condições de temperaturas iguais ou inferiores a 0 °C e reduzida umidade relativa, desfavorável à multiplicação microbiana por ser retardante de funções biológicas; sob refrigeração, em condições térmicas na faixa de temperatura de até 10 °C, e a temperatura ambiente para alimentos menos acometíveis ou de menor umidade característica⁵⁵.

O desenvolvimento metabólico de contaminantes é largamente associado a presença de água e, excetuados os seres anaeróbios, a pressão parcial de O₂ em sistemas de armazenamento, por sua vez a força motriz dos processos oxidativos⁵⁶.

3.6.10. Colorimetria

A investigação colorimétrica é um dos parâmetros sensoriais mercadologicamente mais fundamentais de produtos alimentares, e a representação formal do aspecto visível das cores de materiais é tridimensional. Os diferentes sistemas padronizados que visam descrever o espaço colorimétrico, como o Munsell, de 1913, e o CIELAB, concebido em 1931 pela Comissão Internacional de Iluminação, sob uma série de grandezas, medem ao menos um trio composto pelo matiz, pela magnitude (valor) e pela saturação ou pelo grau de luminosidade, de zero (preta) a 100 (branca) e duas cromaticidades referentes a duas das quatro cores primárias cada: de vermelho a verde e de amarelo a azul⁵⁷.

A cor é um fator decisivo na seleção de alimentos por parte dos consumidores em função de ser percebido como indicador do estado geral de qualidade de um produto alimentício⁵⁸.

⁵⁵ NUNES, I. S. ESTUDO DO ARMAZENAMENTO DO SUCO DO TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) EM PÓ OBTIDO POR SPRAY DRYER. João Pessoa: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, 2019.

⁵⁶ Ibidem, p. 21.

⁵⁷ TRIBOLI, E. P. D. R., op. cit.

⁵⁸ Idem.

4. MATERIAIS E METODOLOGIA

4.1. MATÉRIA-PRIMA

O leite de cabra, matéria-prima utilizada na obtenção do pó de estudo desta monografia, teve como fonte a ordenha de uma população saudável de cabras do Sítio Barriguda, localizado no município Barra de Santa Rosa, região do Curimataú do Estado da Paraíba, Brasil. A alimentação do rebanho de cabra em questão foi, regularmente, de pasto ao ar livre, complementada por palma forrageira e por caroço de algodão. A amostra *in natura* a ser pulverizada não foi submetida a fervuras e foi congelada sem o incremento de conservantes alimentícios ou quaisquer outros possíveis aditivos.

Os agentes carreadores utilizados foram a maltodextrina 20DE (sem sabor), oriunda da hidrólise do amido, e goma arábica, foi a loja Pryme Foods, de Sorocaba, São Paulo, Brasil. O amido modificado Capsul, encapsulador de gorduras extraído do milho, foi adquirido na loja GastronomyLab, localizada em Brasília, Distrito Federal, Brasil.

4.2. REALIZAÇÃO DAS CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS

Os doravante procedimentos experimentais foram efetuados nos laboratórios LAPAMA — Laboratório de Aspersão e Purificação de Minerais Argilosos, LAMAM — Laboratório de Materiais Metálicos, Laboratório de Termodinâmica e no Laboratório de Operações Unitárias, lotados no Departamento de Engenharia de Materiais e no Departamento de Engenharia Química do Campus I da Universidade Federal da Paraíba, em João Pessoa, Brasil.

4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para calcular a importância estatística das informações coletadas laboratorialmente (referente às análises de pH, índice refractométrico, atividade de água, umidade, cinzas e colorimetria), os parâmetros independentes (no universo de uma triplicata) foram examinados pelo teste de hipótese por meio do *software* proprietário de análise de dados e elaboração de gráficos *OriginPro® 2022*, exceto para as caracterizações físico-químicas dos sólidos totais, da granulometria e do índice de solubilidade. O número de níveis selecionados foi configurado a corresponder aos dados, com nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$). O processo foi realizado da

análise de variância e a comparação de médias por Teste de Tukey. Qualitativamente dos resultados, se afirma ou se descarta a influência (sob a perspectiva da relevância estatística) dos agentes microencapsulantes em cada configuração de solução.

4.4. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Estabeleceu-se para o desenvolvimento das soluções a serem examinadas as composições de três agentes carreadores, previstos na literatura e disponíveis no mercado, para resultar a adição de uma cota de 11% de sólidos totais cada (em proporção de massas), acima da base de cálculo obtida por média aritmética do experimento em triplicata, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Proporção em massa entre leite caprino e agentes carreadores em soluções

Solução	Maltodextrina	Goma arábica	Amido mod.
1	11%	Zero	Zero
2	6%	5%	Zero
3	Zero	Zero	11%

Fonte: Elaboração própria, 2023.

As três soluções foram preparadas através de medições utilizando vidraria de laboratório e foram independentemente e sequencialmente homogeneizadas através do uso de agitador mecânico de bancada da fabricante Fisatom, modelo 713D.

Dadas as soluções de leite caprino *in natura* acrescidas de diferentes configurações de agentes carreadores, foram medidas em triplicata, através de metodologia idêntica, ao leite puro a magnitude da acidez e o índice refractométrico das misturas mecanicamente homogeneizadas em misturador de bancada. A medição refractométrica foi ajustada automaticamente mediante a correção eletrônica a 23,1 °C.

4.5. CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA SECAGEM VIA ATOMIZAÇÃO

As operações de *spray drying* foram realizadas por manipulação da aparelhagem laboratorial da fabricante Labmaq do Brasil (Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil), modelo SD 5.0 (adequado para produções em escala piloto e para pesquisa laboratorial), para secar um total de

aproximadamente 3000 g de leite de cabra (três alíquotas principais de 1000 g) imediatamente antes descongeladas e acrescidas de composições distintas de agentes carreantes. As condições operativas relevantes praticadas e antecipadamente estipuladas foram as seguintes: temperatura de ar igual a 150 °C; pressão de operação de aproximadamente 4 bar; vazão de alimentação equivalente a 2 L.h⁻¹; vazão de soprador igual a 2 m³.min⁻¹; vazão de ar comprimido do pulverizador igual a 30 L.min⁻¹. A temperatura de saída da operação foi de aproximadamente 94,0 °C, medida pelo termopar da aparelhagem e transmitida eletronicamente ao display dela.

4.6. TECNOLOGIA DAS ANÁLISES

4.6.1. pH e °Brix do leite caprino *in natura*

Três amostras homogêneas de 20 mL cada de leite de cabra puro *in natura* foram submetidas aos exames de pH e de °Brix como triplicata. O potencial hidrogeniônico foi medido através do medidor digital de pH de soluções da fábrica Testo, modelo 206-pH1, calibrado manualmente através do uso de soluções tampão de pH = 4,0 e de pH = 7,0, conforme a descrição do método eletrométrico de medição do Instituto Adolfo Lutz⁵⁹. A quantificação do material seco solúvel contido na tripla amostra de leite — o índice refractométrico — foi realizada através do emprego do refractômetro de bancada fabricado pela Nova Instruments, modelo WYA-2S, aplicada a correção eletrônica de °Brix sob temperatura de operação registrada a 26,8 °C.

4.6.2. Sólidos totais

Uma análise de sólidos totais de uma amostra em laboratório visa aferir a massa de resíduo sólido remanescente de uma suspensão, esclarecido um período previamente fixado a uma temperatura contínua de aquecimento em uma estufa de laboratório ou em banho-maria.

Com o propósito expresso de se determinar a quantidade em massa de cada agente carreador utilizado em cada um dos três processos de secagem relevantes a este trabalho, foi

⁵⁹ INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. 2008. 1000 p.

aplicado o método para o cálculo dos teores de sólidos totais de três amostras de leite de cabra, vagarosamente descongeladas em refrigerador doméstico, de 10 g cada, em três béqueres anteriormente zerados, massa esta medida por meio da balança analítica laboratorial da fábrica Marte, modelo AD2000.

Os béqueres foram pesados após desumidificação por trinta minutos — de modo a promover a remoção de qualquer possível resquício de umidade restante — antes da adição de material e, depois, contendo as amostras de leite, na balança analítica Shimadzu, modelo ATY224. As três amostras foram submetidas ao aquecimento constante de 105 °C conforme a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz⁶⁰, segundo o controle de temperatura da estufa da fábrica Lucadema, modelo Luca-80/150, por um período contínuo e total de 24 h.

A Equação 2 foi utilizada para o cálculo de %ST, onde m_{seca} e $m_{suspensão}$ representam, respectivamente, as medidas de massa seca, após 24 h, e de massa da amostra de suspensão coloidal (leite de cabra) contida em cada béquer:

$$\%ST = \frac{m_{seca}}{m_{suspensão}} \times 100\% \quad (2)$$

4.6.3. Granulometria

O estudo granulométrico dos pulverizados, definido como uma metodologia de classificação entre porções de pós representativos de um lote a partir do critério de tamanho de partícula, é processado inicialmente da coleta de amostras armazenadas em tubos *Eppendorf* de volume igual a 1,5 mililitro de amostras fisicamente representativas de cada configuração de pó, imediatamente após as suas respectivas obtenções através da técnica de secagem *spray drying*. O estudo é realizado eletronicamente por meio de um aparelho analisador de tamanho de partículas.

O método de distribuição granulométrica ocorreu por via seca, com ausência de dispersante químico, através do aparelho analisador eletrônico de tamanho de partículas da fábrica CILAS, modelo 1090. A análise teve como princípio de medição a difração à incidência

⁶⁰ Ibidem, p. 379.

das partículas por duas fontes de feixes de raios laser baseada nas teorias de Mie e Fraunhofer, inclusa ainda uma etapa de agitação mecânica.

Obtidas as planilhas de dados relevantes de diâmetro em micrômetros, os valores cumulativos em unidades percentuais e a densidade variável, foram geradas, para cada uma das três amostras de pó analisadas, três matrizes linha correspondendo aos grupos de dados de cada uma das variáveis em colunas no *software* de programação e de solução de problemas numéricos *MATLAB® R2023a*, de modo a exprimir visualmente os resultados em uma curva e torná-los comparáveis.

4.6.4. Atividade de Água

O cálculo da atividade de água, adotado o padrão de 30 °C como temperatura fixa, empregou o analisador eletrônico de laboratório modelo Labmaster- a_w , da empresa suíça Novasina AG, capaz de quantificar atividade dentro do alcance entre 0,03 a 1,0 de a_w . Três amostras representativas de cada uma das configurações de pó foram dispostas em células de medição e as leituras foram disponibilizadas eletronicamente através do display do aparelho.

4.6.5. Umidade

Conforme a metodologia do Instituto Adolfo Lutz⁶¹, nove cadinhos de porcelana, desumidificados por um total de trinta minutos a 105 °C na estufa Luca-80/150, da fábrica Lucadema, foram pesados em balança analítica AD200, da fabricante Marte. 1 g de cada amostra foi individualmente pesado e adicionado a cada um dos cadinhos, que seguiram para a estufa de mesmo modelo, às mesmas condições térmicas, por um prazo de 24 h.

A coleta de dados da determinação da umidade de cada uma das amostras de leite de cabra em pó partiu de método em triplicata. A média aritmética entre os membros do trio de dados da subtração entre a massa do cadinho acrescido de pó antes e depois do aquecimento em estufa, multiplicada por cem por cento, produziu o conteúdo de líquido, em percentual, de cada configuração de pó.

⁶¹ Ibidem, p. 98.

4.6.6. Cinzas

A metodologia de Araújo *et al.*⁶² foi ajustada com finalidade de calcular as cinzas presentes em amostras homogêneas de leite em pó sintetizadas por diferentes configurações. Um cadinho de porcelana previamente desumidificado é pesado (através de manipulação por tenaz) e utilizado para armazenar uma massa de 1 g de amostra de leite. A incineração ocorre mediante emprego da mufla laboratorial a 550 °C por 24 h. A Equação 3 elucida a determinação do parâmetro finalizada a etapa prática:

$$\%C = \frac{m_{cinzas}}{m} * 100\% \quad (3)$$

Onde a massa de calcinado restante e a massa de pó da amostra são representadas pelas notações m_{cinzas} e m .

Passado o exame de umidade, o mesmo conjunto de nove cadinhos fora novamente aproveitado sendo submetido ao aquecimento em forno mufla de modo a reduzir sólidos secos remanescentes a cinzas. Após 24 horas, uma nova medição de massa foi realizada a fim de tornar comparável a massa de cada cadinho e a massa de cinza respectivamente contida.

4.6.7. Índice de solubilidade em água

A caracterização da solubilidade de leites em pó — em termos percentuais — pode ser realizada em ambiente de laboratório através de adaptação da tecnologia apresentada por Cone e Ashworth⁶³. Adiciona-se, com auxílio de balança analítica zerada, 2 g de soluto em 200 g de água destilada. A dissolução é homogeneizada à solução por método como a agitação magnética em agitador de bancada. Uma alíquota representativa de cada iteração de cinquenta mililitros é retirada em tubo de centrifugação de plástico, através do qual os componentes da mistura são divididos em duas fases. Um novo volume é retirado como alíquota e é pipetado a um béquer de vidro (de massa conhecida) previamente desumidificado e enviado ao aquecimento em estufa

⁶² ARAÚJO, A. A. D. S. *et al.* Determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 2, jun. 2006.

⁶³ FRANK CONE, J.; ASHWORTH, U. S. A New Quantitative Method for Determining the Solubility of Milk Powders. **Journal of Dairy Science**, v. 30, n. 7, p. 463–472, jul. 1947.

a 105 °C por 24 h. Findado este prazo, o béquer acrescido de sedimento sólido deve repousar em recipiente dessecador até resfriar a temperatura ambiente e ter a sua massa novamente medida. A Equação 4 representa, em termos percentuais, a solubilidade do pó de leite:

$$ISA\% = \frac{m_f}{m_{aliquota}} * 100\% \quad (4)$$

Onde $m_{aliquota}$ e m_f representam, respectivamente, a massa de amostra na alíquota e a massa de sólido incrustada no fundo do béquer de vidro terminado o aquecimento. Considerando os volumes da alíquota retirada e o da dissolução inicial, escreve-se a Equação 4 alternativamente, onde m representa a massa de leite em pó inicial:

$$ISA\% = \frac{m_f * V_{solvente}}{m * V_{aliquota}} * 100\% \quad (5)$$

As soluções homogeneizadas por agitação magnética pelo aparelho Q261-2, da fabricante Quimis (Diadema, São Paulo, Brasil), utilizando barra magnética como auxiliadora na dissolução, foram centrifugadas, a 2600 rpm por um período de 5 min a 30 °C, alíquotas de 50 mL, processo que ocorreu no aparelho de centrifugação refrigerada de bancada, modelo NT815 da fabricante Novatecnica.

12 mL de sobrenadante foram retirados e enviados à estufa por 24 h, sendo a nova medição de massa utilizada na efetuação do cálculo da solubilidade em termos percentuais. Os béqueres usados nas medições foram previamente desumidificados na estufa; as massas antes e depois da adição de leite sobrenadante foram os parâmetros utilizados na determinação.

4.6.8. Reidratação do leite

Conforme a metodologia de Almeida, Silva e Ferreira⁶⁴, o material pulverizado mediante adição de agentes microencapsulantes é retomado a sua apresentação líquida original por meio da dissolução em água, possibilitando, por meio de caracterizações de soluções, avaliar qualitativamente e quantitativamente o leite em pó reconstituído. Fixada uma massa de

⁶⁴ ALMEIDA, T. C. D.; SILVA, V. A.; FERREIRA, H. S. Efeito do agente carreador na obtenção e caracterização do suco da laranja (*Citrus sinensis*) por atomização. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 25 fev. 2021.

leite em pó de 2 g a ser reconstituída a leite, obtém-se o volume de água necessário à dissolução por meio da Equação 6:

$$V_{\text{água}} = \frac{m * (1 - ST)}{ST} \quad (6)$$

Onde ST representa a fração de sólidos totais.

4.6.9. Armazenamento

A conservação físico-química das três amostras distintas foi avaliada a partir de nova mensuração do conteúdo de água e de atividade de água do material sólido, empregada idêntica metodologia, passados trinta dias de armazenamento no *freezer* doméstico associado ao refrigerador da marca Samsung (Seul, Coreia do Sul), modelo RT46K6361SL, a -15 °C, conforme elucidado por Nunes⁶⁵.

4.6.10. Colorimetria

A análise foi realizada a partir da obtenção dos fatores L^* , a^* e b^* através do *software* proprietário Adobe® Photoshop® 2019, de fotografias em condições livres de interferências luminosas, e do modelo de ajuste matemático proposto por Afshari-Jouybari e Farahnaky⁶⁶. As amostras sólidas de leite em pó foram contidas homogeneamente em superfície branca opaca e fotografadas por câmera digital Sony, modelo A99 (Japão), com lente 28-70mm F2.8, abertura 5.6, flash externo com controle de luz pelo método TTL. A distância entre a lente e as amostras foi mantida constante, e as imagens foram transferidas para o computador onde foram extraídos por meio do *software* supracitado as coordenadas do espaço de cores posto o ajuste de balanço de brancos. Empregada a média aritmética das variáveis colorimétricas detectadas em três pontos distintos da amostra pelo programa de computador, calculadas a partir de pontos diferentes da amostra, se corrigem os fatores pela calibração por regressão linear através das Equações 7, 8 e 9:

⁶⁵ NUNES, I. S., op. cit.

⁶⁶ AFSHARI-JOUYBARI, H.; FARAHNAKY, A. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 2, p. 170–175, set. 2011.

$$L_i^* = A * L_{pi}^* + B; A = 1,168 \text{ e } B = -1,167 \quad (7)$$

$$a_i^* = A * a_{pi}^* + B; A = 1,152 \text{ e } B = -3,225 \quad (8)$$

$$b_i^* = A * b_{pi}^* + B; A = 1,012 \text{ e } B = 4,041 \quad (9)$$

E, adicionalmente, pelo modelo de regressão polinomial de segunda ordem por meio das Equações 10, 11 e 12:

$$L_i^* = A * L_{pi}^{*2} + B * L_{pi}^* + C; A = 0,002, B = 0,991 \text{ e } C = 1,7219 \quad (10)$$

$$a_i^* = A * a_{pi}^{*2} + B * a_{pi}^* + C; A = 0,007, B = 1,386 \text{ e } C = -1,441 \quad (11)$$

$$b_i^* = A * b_{pi}^{*2} + B * b_{pi}^* + C; A = 0,003, B = 1,049 \text{ e } C = 2,592 \quad (12)$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. PH E °BRIX DO LEITE CAPRINO *IN NATURA*

Os resultados obtidos referentes à matéria-prima como originalmente adquirida estão dispostos conforme a Tabela 3:

Tabela 3 – pH e °Brix de leite caprino in natura

Iteração	pH	°Bx
1	6,49	10,7
2	6,49	11,3
3	6,50	11,5

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

Tais resultados produzem médias aritméticas aproximadas de $6,49 \pm 0,00577$ de pH, vagamente ácida, e $11,2 \pm 0,416$ °Bx, mantendo a continuidade do número de casas decimais. A magnitude da acidez foi aproximada à média obtida por Chornobai *et al.*⁶⁷ de 6,69. O estudo de Razali *et al.*⁶⁸ mediu um °Brix de aproximadamente 10,2 em amostra pura de leite de cabra livre de processamento térmico ou químico.

5.2. SÓLIDOS TOTAIS

Considerando o número total de casas decimais medidas pela balança analítica, as medidas obtidas de leite de cabra *in natura* foram: 10,00 g; 10,04 g e 10,05 g.

Transcorrido o tempo mencionado do método e diante de uma nova pesagem por meio da mesma balança analítica, foram calculados os sólidos totais a partir dos dados de massa. A posse desses dados faculta a medição do percentual de sólidos totais, sendo a massa medida após um período igual a 30 min de esfriamento das amostras de leite de cabra em vidro

⁶⁷ CHORNOBAI, C. A. M. *et al.* Physical-chemical composition of in natura goat milk from cross Saanen throughout lactation period. **Archivos Latinoamericano de Nutrición**, v. 49, n. 3, p. 283–286, 20 maio 1999.

⁶⁸ RAZALI, M. F. *et al.* Minimal processing for goat milk preservation: Effect of high-pressure processing on its quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 7, jul. 2021.

dessecador. Os cálculos algébricos de percentual de sólidos totais foram efetuados através da Equação 2 utilizando o software *Microsoft® Excel®* e o máximo número de algarismos significativos, segundo a Tabela 4:

Tabela 4 – Percentual de sólidos totais

Iteração	Massa de suspensão	Massa de sólido	%ST
1	10,00 g	1,29 g	12,86 %
2	10,04 g	1,30 g	12,95 %
3	10,05 g	1,30 g	12,93 %

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

Este resultado produziu uma média aritmética aproximada de $12,91 \pm 0,0473$ % de sólidos totais, correspondendo precisamente aos dados registrados pela literatura⁶⁹ de teor de cerca de 87,03 g de água em uma amostra de 100 g de leite. Albanell *et al.*⁷⁰ encontraram, em uma análise espectroscópica de leite de cabra, um teor médio de 14,06 % de sólidos em uma população de 131 amostras de leite de cabra.

5.3. CARACTERIZAÇÃO DE SOLUÇÕES

Fazendo uso da medição em triplicata para elevar a precisão da caracterização do primeiro sistema, composto de leite caprino e maltodextrina 20DE, da segunda configuração, compreendida por uma mistura de leite e dos agentes maltodextrina 20DE e do polissacarídeo natural goma arábica, e em relação ao arranjo formado por leite de cabra *in natura* e o amido modificado, se obtiveram dados suficientes para assentar a Tabela 5 das médias aritméticas das três operações em triplicata referentes à totalidade das configurações confeccionadas:

⁶⁹ Referente ao USDA.

⁷⁰ ALBANELL, E. *et al.* Determination of Fat, Protein, Casein, Total Solids, and Somatic Cell Count in Goat's Milk by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. **Journal of AOAC INTERNATIONAL**, v. 86, n. 4, p. 746–752, 1 jul. 2003.

Tabela 5 – pH e °Brix das três configurações de solução de leite e agentes carreadores

Configuração	pH	°Bx
Maltodextrina	5,77 ± 0,0656 ^b	24,8 ± 0,289 ^b
Maltodextrina, goma arábica	5,99 ± 0,0231 ^a	25,6 ± 0,379 ^{ab}
Amido modificado	5,55 ± 0,0265 ^c	26,4 ± 0,321 ^a

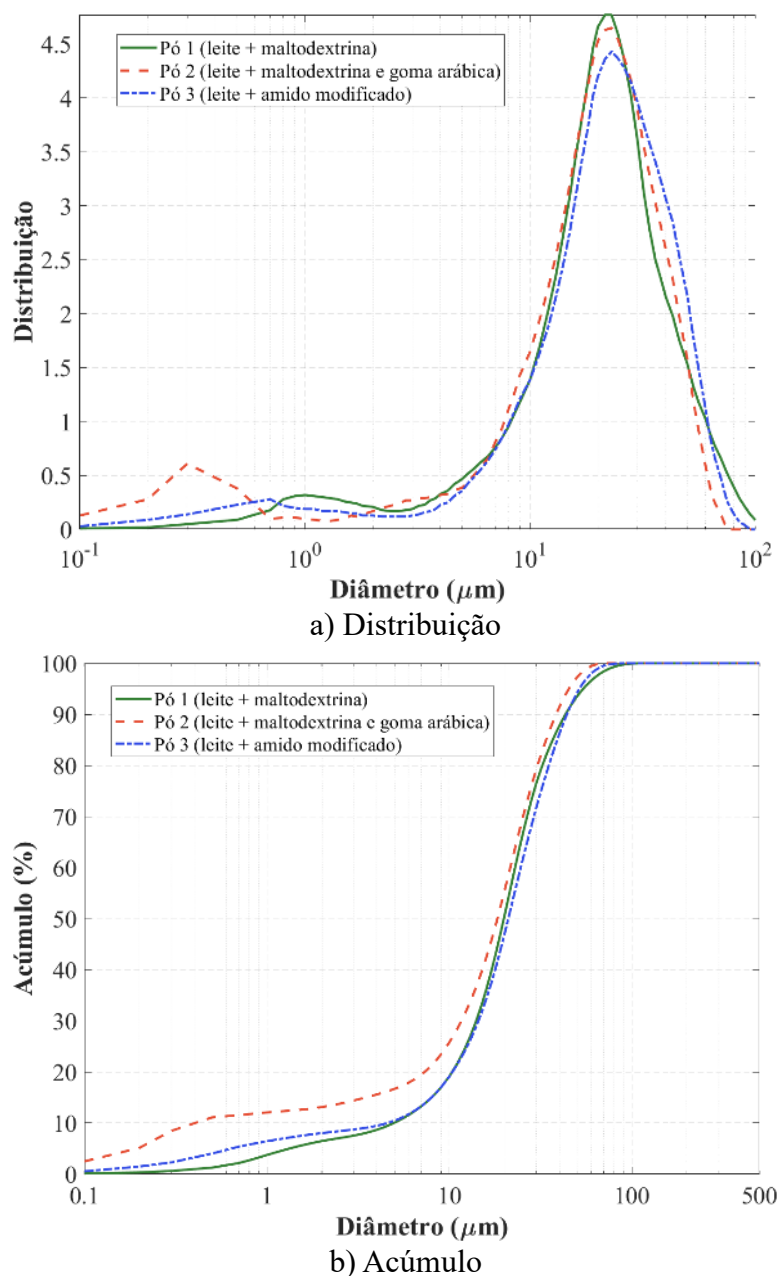
As grandezas são médias de triplicatas ± desvio padrão. Letras distintas nas mesmas colunas, referentes ao teste de Tukey, evidenciam diferenças estatisticamente não desprezíveis ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

A análise qualitativa concluiu significância nas diferenças ($p \leq 0,05$) entre os três grupos de dados de pH. Para o índice refractométrico, foram observados dois grupos distintos de dados entre as três configurações, indicando influência não desprezível da adição de dois tipos de agentes carreadores nas amostras de leite caprino em relação a alterações desta grandeza. Não houve diferença significativa entre a adição da maltodextrina como agente único em relação à sua mistura com a goma arábica. O par entre a combinação de maltodextrina e goma arábica e o amido modificado também pertenceram ao mesmo grupo estatístico ($p > 0,05$).

5.4. GRANULOMETRIA

Os gráficos referentes aos histogramas e o comportamento da distribuição bimodal e a curva acumulativa de granulometria dos pós (exprimindo visualmente a preponderância de uma quantidade de partículas de um tamanho específico em relação às demais) produzidos por leite de cabra e maltodextrina 20DE, leite de cabra acrescido de maltodextrina 20DE e goma arábica, e leite caprino acrescido de amido modificado, estão representados conforme a legenda pela Figura 3:

Figura 3 – Granulometria eletrônica dos pulverizados (1), (2) e (3)

Fonte: Elaboração própria (2023)

Os gráficos⁷¹ originais alcançados pelo *software* do granulômetro apontaram a configuração obtida a partir da mistura de maltodextrina e goma arábica uma morfologia mais fina do que as demais, e respectivamente aos pulverizados referentes às configurações de maltodextrina, maltodextrina-goma arábica e amido modificado, foram encontrados diâmetros médios de

⁷¹ Os relatórios impressos, referentes aos três tipos de pó obtidos mediante secagem por atomização, estão inclusos integralmente na seção de Apêndices do presente trabalho.

22,61 μm , 19,54 μm e 23,13 μm (isto é, cada amostra é compreendida por partículas com até esta medida de diâmetro em metade das unidades elementares), além das barras dos valores cumulativos referentes aos histogramas no eixo cartesiano positivo, coincidentes proporcionalmente aos dados e obtidas através de algoritmo prefixado pelo fabricante da aparelhagem e do programa de computador. O tamanho de partícula para cada um dos três intervalos de acúmulo foi menor para a secagem de uma mistura entre o leite de cabra *in natura* e, como aditivo, uma composição de maltodextrina 20DE e goma arábica, embora que Hammes⁷² tenha concluído de uma análise de secagem por atomização de leite de búfala concentrado e lecitina de soja como carreador a 1% em base seca, um diâmetro médio particular de aproximadamente 10,97 μm .

As medidas exatas de diâmetro encontradas aos valores de 10%, 50% e 90% de acúmulo, para todos os pulverizados, foram obtidas pelo aparelho conforme reprodução na Tabela 6:

Tabela 6 – Diâmetro dos pulverizados aos valores de 10%, 50% e 90% de acúmulo

Configuração	10%	50%	90%
Maltodextrina	4,96 μm	19,86 μm	43,25 μm
Maltodextrina, goma arábica	0,40 μm	18,31 μm	38,45 μm
Amido modificado	4,57 μm	21,02 μm	44,05 μm

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

5.5. ATIVIDADE DE ÁGUA

As medidas de atividade de água em processo triplo foram utilizadas para obter as três médias aritméticas, correspondendo a uma elevada exatidão para cada um dos pós de leite de cabra acrescidos de agente microencapsulante em configurações distintas. O resultado numérico do método reside na Tabela 7:

⁷² HAMMES, M. V. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE LECITINA DE SOJA NA MOLHABILIDADE DO LEITE DE BÚFALA EM PÓ OBTIDO POR SPRAY-DRYING**. Dissertação de Mestrado—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

Tabela 7 – Atividade de água dos pós obtidos por atomização

Configuração	a_w
Maltodextrina	0,137 ± 0,0100 ^{ab}
Maltodextrina, goma arábica	0,189 ± 0,0376 ^a
Amido modificado	0,127 ± 0,00473 ^b

As grandezas são médias de triplicatas ± desvio padrão. Letras distintas nas mesmas colunas, referentes ao teste de Tukey, evidenciam diferenças estatisticamente não desprezíveis ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

Conforme a Tabela 7, foi observada uma faixa de atividade de água entre 0,127 a 0,189. Fonseca *et al.*⁷³ encontraram, através de técnica análoga de secagem de leite de cabra, a faixa de teor de atividade de água (a_w) entre 0,12 e 0,14. O *software* de análise estatística observou, entre as medições nas amostras de configuração de maltodextrina e goma arábica e a de amido modificado, diferenças não desprezíveis de atividade de água por Tukey para $p \leq 0,05$. Um patamar de atividade de água inferior a 0,6 não admite o crescimento microbiológico de patógenos conhecidos⁷⁴: os pós de leite de cabra obtidos pelos três métodos descritos foram, portanto, insustentáveis como veículos de multiplicação de microrganismos.

5.6. UMIDADE

A Tabela 8 dispõe a seguir a umidade, em percentual, dos tipos de pulverizados adquiridos neste trabalho, finalizada a etapa de 24 h de aquecimento do método anteriormente descrito:

⁷³ FONSECA, C. R. *et al.* Physical properties of goat milk powder with soy lecithin added before spray drying: Properties of goat milk powder with lecithin. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 3, p. 608–611, mar. 2011.

⁷⁴ MOHAMMED, A. T.; ELSHEIKH, D. M.; TAWFIK, M. M. Utilization of broken rice, corn and sweet lupin flour for preparation high nutritional value and quality gluten-free basbousa. **Current Science International**, v. 07, p. 578–589, 10 dez. 2018.

Tabela 8 – Umidade (%) em leite em pó pulverizado após 24 horas

Configuração	Umidade (%)
Maltodextrina	2,61 ± 0,0950 ^a
Maltodextrina, goma arábica	4,54 ± 3,41 ^a
Amido modificado	2,08 ± 0,287 ^a

As grandezas são médias de triplicatas ± desvio padrão. Letras distintas nas mesmas colunas, referentes ao teste de Tukey, evidenciam diferenças estatisticamente não desprezíveis ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

Os conteúdos de água obtidos se encontraram no interior da faixa entre 2,08 e 4,54% de teor, com maior desvio padrão observado na mistura seca de leite de cabra *in natura* e maltodextrina-goma arábica. Fonseca *et al.*⁷⁵ encontraram, em estudo analítico, em um universo de iterações de secagem por *spray dryer* de leite de cabra em pó a diferentes concentrações de proteína de ervilha como agente carreante, uma faixa de conteúdo de água de 2,5 a 2,8% (ou g.g⁻¹). Silva⁷⁶ obteve da secagem por atomização do leite de cabra uma faixa de umidade mais elevada, de 6,5% a 7,06%. As medições obtidas neste trabalho apresentaram diferenças não significativas mantidos o método e os parâmetros de estudo estatístico, ou seja, não se observou influência do agente carreante sobre o conteúdo de água final dos pós ($p > 0,05$).

5.7. CINZAS

Diante da nova triplicata referente a cada um dos produtos secos, obtidos após etapa de aquecimento em mufla de laboratório, calcularam-se os percentuais de cinzas representativos dos totais produzidos de cada conjunto de pó através da Equação 3. Os resultados das experiências realizadas pela metodologia supracitada estão retratados na Tabela 9:

⁷⁵ FONSECA, C. R. *et al.*, op. cit.

⁷⁶ SILVA, L. M. S. **OBTENÇÃO DE LEITE DE CABRA EM PÓ MEDIANTE SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO**. Pombal, Paraíba: Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

Tabela 9 – Cinzas em configurações de pó de leite de cabra *in natura*

Configuração	Cinzas (%)
Maltodextrina	1,64 ± 0,708 ^a
Maltodextrina, goma arábica	2,63 ± 0,0531 ^a
Amido modificado	1,76 ± 0,0638 ^a

As grandezas são médias de triplicatas ± desvio padrão. Letras distintas nas mesmas colunas, referentes ao teste de Tukey, evidenciam diferenças estatisticamente não desprezíveis ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

A metodologia gerou teores de cinzas entre 1,64%, para a maltodextrina como agente único, 2,63% e 1,76% respectivamente a mistura maltodextrina-goma arábica e amido modificado. Estatisticamente, considerando $p > 0,05$, as amostras apresentaram diferença desprezível no teor de cinzas (diferença entre a massa original de amostra e o resíduo mineral inorgânico presente). O resultado de cinzas ultrapassou o mínimo exigido de 0,7% para quaisquer variedades de leite em pó instituído na Instrução Normativa nº 37⁷⁷ por secretaria lotada no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), que regula parâmetros de qualidade mínimos de lotes de leite de cabra destinados ao consumo humano. Silva⁷⁸ obteve para metodologia similar e mesmo analito um teor mais elevado de cinzas, de média 5,9%. A magnitude relativamente elevada encontrada de cinzas pode ter tido como fonte a escolha da metodologia de evaporação que, em função do conteúdo gorduroso e de açúcar de alimentos, deve empregar um método vagaroso de evaporação como o banho-maria ou através de irradiação infravermelha⁷⁹.

5.8. ÍNDICE DE SOLUBILIDADE EM ÁGUA

O resultado da análise física realizada em iteração única para cada pó de leite de cabra *in natura* obtidos por *spray drying* sob adição de agentes carregadores foi determinado pela Equação 5 e mostrado na Tabela 10:

⁷⁷ BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 37. 31 out. 2000.

⁷⁸ SILVA, L. M. S., op. cit.

⁷⁹ NIELSEN, S. S., op. cit.

Tabela 10 – Solubilidade (%) de pó de leite de cabra in natura e agentes carregadores

Configuração	Solubilidade
Maltodextrina	90,0%
Maltodextrina, goma arábica	94,1%
Amido modificado	91,5%

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

Uma média de aproximadamente 91,9% foi encontrada entre os três tipos de pó: a magnitude da solubilidade calculada neste estudo foi consistente ao observado por Yaakub, Zaini e Xiang⁸⁰ para o pó de leite de cabra, que apontou insignificância estatística da variação da temperatura nas solubilidades dentro da faixa de 85,24% a 94,09%. Estes percentuais representam os teores de sólido que se solubilizarão homogeneamente em amostra de água destilada mantida constante a temperatura de dissolução referida.

5.9. REIDRATAÇÃO DO LEITE

O leite em pó produzido pelo método de atomização, reconstituído em béquer a leite de cabra líquido, adicionado volume estabelecido pela Equação 6, foi examinado quanto ao seu grau de acidez e de sua refractometria, empregado idêntico método de preparação de solução e de medição. As propriedades do pH e do °Bx do leite reconstituído foram expressadas na Tabela 11:

Tabela 11 – Acidez e refractometria de leite caprino reconstituído

Configuração	pH	°Bx
Maltodextrina	6,24 ± 0,0252 ^a	11,2 ± 0,577 ^a
Maltodextrina, goma arábica	6,27 ± 0,0208 ^a	10,6 ± 0,681 ^a
Amido modificado	5,83 ± 0,0551 ^b	10,0 ± 0,100 ^a

As grandezas são médias de triplicatas ± desvio padrão. Letras distintas nas mesmas colunas, referentes ao teste de Tukey, evidenciam diferenças estatisticamente não desprezíveis ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

⁸⁰ YAAKUB, N. M.; ZAINI, H. M.; XIANG, L. J. Effect of spray drying temperature differences on the gross nutritional composition and solubility and sinkability of goat milk powder. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 17, n. 2, p. 206–210, 28 jun. 2019.

Na Tabela 11, o pH variou de 5,83 a 6,27, e o índice refractométrico de 10,0 a 11,2. Em comparação ao leite de cabra *in natura*, de pH médio de 6,49 e °Brix médio aproximadamente igual a 11,2, conforme a Tabela 3, foi possível observar um ligeiro aumento da acidez e uma aproximada manutenção do índice refractométrico. Suplementarmente, houve prontidão na etapa de dissolução dos pós nas amostras de água destilada: não foram observadas quantidades significativas de material sólido granulado residindo nas paredes internas dos béqueres de vidro.

Diante do nível de significância adotado, as amostras apresentaram indiferença estatística no índice refractométrico ($p > 0,05$). A medição de pH do leite reconstituído relativo ao amido modificado, contudo, foram ditas estatisticamente diferentes pela análise de variância das outras duas ($p \leq 0,05$): o amido modificado como carreante foi responsável por acidificar o meio em superior magnitude.

5.10. CONSERVAÇÃO

As propriedades relevantes à conservação (após passar o processo de armazenagem em *freezer* doméstico) da atividade de água (calibrada a 25,0 °C) e a umidade das três amostras de pó, medidas em novas triplicatas, foram dispostas na Tabela 12:

Tabela 12 – Atividade de água e umidade após o 30º dia de armazenamento

Configuração	a_w	Umidade (%)
Maltodextrina	$0,177 \pm 0,0151^a$	$2,93 \pm 0,164^a$
Maltodextrina, goma arábica	$0,153 \pm 0,00231^b$	$2,72 \pm 0,302^{ab}$
Amido modificado	$0,116 \pm 0,00346^c$	$2,23 \pm 0,205^b$

As grandezas são médias de triplicatas $\pm$ desvio padrão. Letras distintas nas mesmas colunas, referentes ao teste de Tukey, evidenciam diferenças estatisticamente não desprezíveis ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

Os resultados obtidos se encontraram na faixa de 0,116 a 0,177 para a atividade de água e de 2,23 a 2,93% de umidade. A Tabela 12 mostra uma modesta elevação dos valores de atividade e umidade frente aos dados obtidos imediatamente após a secagem original. Com mediação de novo tratamento estatístico, foram identificadas após 30 dias de armazenamento diferenças significativas entre cada uma das três configurações de carreantes para o parâmetro da atividade de água ($p \leq 0,05$) e dois grupos distintos para a umidade; foi constatado que a capacidade de conservação é maior quando o amido modificado é utilizado como carreante na

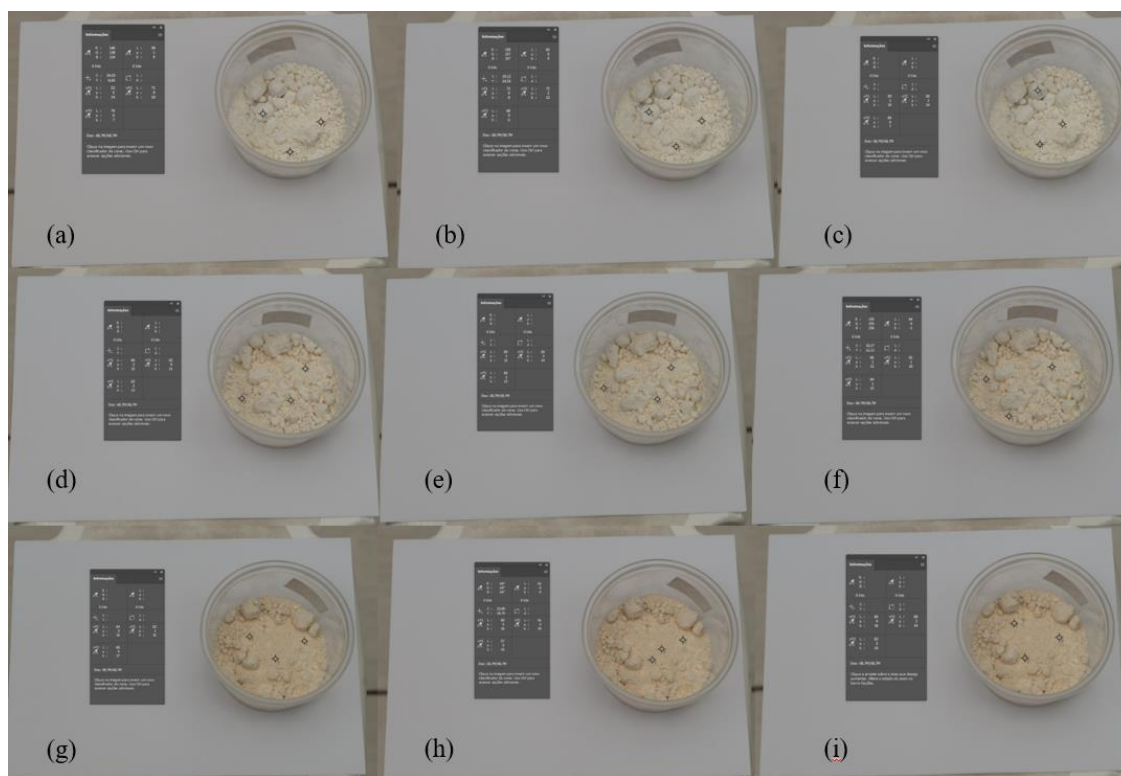
secagem do leite de cabra. Adicionalmente, foi observada indiferença estatística ($p>0,05$) entre a mistura maltodextrina 20DE-goma arábica e os outros dois agentes microencapsulantes.

Nunes⁸¹ observou do estudo do armazenamento do pó de suco do tomate, obtido por atomização, uma redução de 0,237 da atividade da água e 5,632 % de umidade aferidas imediatamente após a secagem a, respectivamente aos parâmetros, 0,170 e 4,160 %.

5.11. COLORIMETRIA

A Figura 4 representa o conjunto de fotografias obtidas em triplicata e tratadas conforme a metodologia para análise colorimétrica:

Figura 4 – Fotografias em triplicata para caracterização colorimétrica de leite de cabra em pó por atomização adicionada (a), (b) e (c) Maltodextrina 20DE; (d), (e) e (f) Maltodextrina 20DE e goma arábica; (g), (h) e (i) Amido modificado



Fonte: Elaboração própria (2023)

⁸¹ NUNES, I. S., op. cit.

Diante da metodologia de aplicação de dois ajustes distintos aos parâmetros L^* , a^* e b^* — regressão linear e regressão polinomial de 2ª ordem — foram extraídas as grandezas colorimétricas conforme a Tabela 13:

Tabela 13 – Colorimetria das configurações encapsulantes de pó de leite de cabra

Configuração	Adobe® Photoshop® 19			Regressão linear			Regressão polinomial		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
Maltodextrina	67,0 ± 3,21 ^a	1,11 ± 0,509 ^b	9,89 ± 0,770 ^c	77,1 ± 3,76 ^a	-1,94 ± 0,587 ^b	14,1 ± 0,779 ^c	77,1 ± 4,06 ^a	0,109 ± 0,714 ^b	13,3 ± 0,849 ^c
Maltodextrina, goma arábica	64,6 ± 1,26 ^a	1,56 ± 0,509 ^b	12,3 ± 0,882 ^b	74,0 ± 1,58 ^a	-1,43 ± 0,587 ^b	16,5 ± 0,888 ^b	74,0 ± 1,58 ^a	0,733 ± 0,716 ^b	16,0 ± 0,990 ^b
Amido modificado	61,3 ± 4,91 ^a	3,11 ± 0,509 ^a	15,4 ± 0,509 ^a	70,4 ± 5,73 ^a	0,359 ± 0,587 ^a	19,7 ± 0,514 ^a	70,0 ± 6,06 ^a	2,94 ± 0,728 ^a	19,5 ± 0,580 ^a

As grandezas são médias de triplicatas ± desvio padrão. Letras distintas nas mesmas colunas, referentes ao teste de Tukey, evidenciam diferenças estatisticamente não desprezíveis ($p \leq 0,05$).

Fonte: Dados experimentais (autor), 2023.

De maneira geral, se aferiu que o pó de leite de cabra possui uma luminosidade moderadamente branca e amarela como a cor prevalecente. A adição dos três tipos diferentes de agentes encapsulantes surtiu efeito sobre, especialmente, a coordenada de cor azul-amarela: o pó associado ao amido modificado teve uma coloração mais amarelada (para o nível de confiança de 95%) e a referente à mistura maltodextrina-goma arábica, um grau intermediário da escala.

A maltodextrina, como agente único, apresentou produto com o menor valor de b^* e, portanto, o menos amarelado entre os três tipos de leites em pó. A primeira e a segunda configuração diferiram estatisticamente ($p \leq 0,05$) na medição vermelho-verde da terceira, de tom mais avermelhado; variado o carreador, a microencapsulação promovida por *spray drying* não ocasionou alterações notáveis no fator luminoso do leite de cabra *in natura* pulverizado, sendo possível salientar haver indiferença entre os produtos pelo critério da escala preto-branco ($p > 0,05$).

Mahdi *et al.*⁸² concluíram através do estudo colorimétrico da *Citrus medica* em pó obtido por atomização adicionadas configurações dos encapsulantes goma arábica,

⁸² MAHDI, A. A. *et al.* Microencapsulation of fingered citron extract with gum arabic, modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 1125–1134, jun. 2020.

maltodextrina, amido modificado e proteína *whey*, uma insignificância estatística do agente carreante sobre a luminosidade do pó. Suplementarmente, foi observado que a adição de *whey* foi responsável por um acréscimo no grau de azul e uma redução do parâmetro a^* , indicando uma maior preponderância da cor verde.

6. CONCLUSÕES

A atomização de leite de cabra *in natura* é bem-sucedida utilizada na conversão física uma cota de 11% m.m⁻¹ de agente carreante maltodextrina 20DE, ou uma mistura de maltodextrina e goma arábica, ou amido modificado, acima do teor de sólidos totais natural do insumo *in natura* aferido em aproximadamente 12,91%. Tal patamar, somado ao sólido adicionado, elevou a eficiência da secagem de acordo com a capacidade do secador pulverizador em escala piloto.

O impacto individualmente gerado das três configurações de aditivos microencapsulantes sobre certas propriedades físico-químicas do pó e do leite reconstituído é significativamente diferente quando considerado um intervalo de confiança estatístico de 95%; o agente carreante, portanto, desempenha um papel crítico sobre o controle de diversos parâmetros de qualidade do produto.

O produto atomizado da mistura maltodextrina 20DE-goma arábica (Pó 2) foi mais solúvel em água destilada e apresentou morfologia mais fina; o leite em pó associado ao amido modificado teve uma reconstituição líquida de pH menor — mais ácida — impactando sobre o sabor e aceitação sensorial do consumidor, uma coloração mais avermelhada e amarelada do que as demais, e menor suscetibilidade a contaminações patogênicas, não obstante a eficácia das três configurações de encapsulação em manter a atividade de água em um patamar inferior ao índice máximo aceitável. Do teor de cinzas, da umidade e do índice refractométrico da reidratação, influências estatisticamente idênticas foram observadas.

Pode-se dizer que o presente trabalho resultou em exposições valiosas para a obtenção de laticínios caprinos em pó em propósitos acadêmicos e industriais: por meio da análise da conservação, *spray drying* de leite de cabra acrescido de carreantes apresentou bons resultados físico-químicos decorridos 30 dias de armazenamento pelos critérios da atividade de água e da umidade.

REFERÊNCIAS

- AFSHARI-JOUYBARI, H.; FARAHNAKY, A. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. **Journal of Food Engineering**, v. 106, n. 2, p. 170–175, set. 2011.
- ALBANELL, E. *et al.* Determination of Fat, Protein, Casein, Total Solids, and Somatic Cell Count in Goat's Milk by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. **Journal of AOAC INTERNATIONAL**, v. 86, n. 4, p. 746–752, 1 jul. 2003.
- ALMEIDA, T. C. D.; SILVA, V. A.; FERREIRA, H. S. Efeito do agente carreador na obtenção e caracterização do suco da laranja (*Citrus sinensis*) por atomização. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 25 fev. 2021.
- ANJOS, T. R. D. *et al.* Unsatisfactory microbiological aspects of UHT goat milk, soymilk and dairy beverage of goat milk and soy protein: A public health issue. **Food Science and Technology**, v. 40, n. suppl 1, p. 349–354, jun. 2020.
- ARAÚJO, A. A. D. S. *et al.* Determinação dos teores de umidade e cinzas de amostras comerciais de guaraná utilizando métodos convencionais e análise térmica. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 2, jun. 2006.
- ARAÚJO, M. V. R. L. **MICROENCAPSULAÇÃO POR ATOMIZAÇÃO DO EXTRATO DE COMPOSTOS FENÓLICOS DE RESÍDUO DE CIRIGUELA UTILIZANDO DIFERENTES FORMULAÇÕES DE AGENTES ENCAPSULANTES E AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE**. Monografia—Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2022.
- BAEGHBALI, V.; NIAKOUSARI, M.; FARAHNAKY, A. Refractance Window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. **LWT - Food Science and Technology**, v. 66, p. 34–40, mar. 2016.
- BENTO, M. S. G. *et al.* Properties of goat milk powder obtained by different process conditions in spray dryer. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA, XXXVII., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais [...]** Foz do Iguaçu, 2008.
- BIRCHAL, V. *et al.* Effect of Spray-Dryer Operating Variables on the Whole Milk Powder Quality. **Drying Technology**, v. 23, n. 3, p. 611–636, 30 mar. 2005.
- BOEL, E. *et al.* Unraveling Particle Formation: From Single Droplet Drying to Spray Drying and Electrospraying. **Pharmaceutics**, v. 12, n. 7, p. 625, 4 jul. 2020.
- BOIARKINA, I. *et al.* Using Big Data in Industrial Milk Powder Process Systems. Em: **Computer Aided Chemical Engineering**. [s.l.] Elsevier, 2018. v. 44p. 2293–2298.
- BRASIL. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 37. 31 out. 2000.
- CAL, K.; SOLLOHUB, K. Spray Drying Technique. I: Hardware and Process Parameters. **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 99, n. 2, p. 575–586, fev. 2010.

CALDERÓN-OLIVER, M.; PONCE-ALQUICIRA, E. The Role of Microencapsulation in Food Application. **Molecules**, v. 27, n. 5, p. 1499, 23 fev. 2022.

CALVO, P. *et al.* Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. **Food Research International**, v. 45, n. 1, p. 256–261, jan. 2012.

CARMO, E. L. D.; FERNANDES, R. V. D. B.; BORGES, S. V. Microencapsulação por spray drying, novos biopolímeros e aplicações na tecnologia de alimentos. **Journal of Chemical Engineering and Chemistry**, v. 1, n. 2, p. 30–44, 22 dez. 2015.

CHORNOBAI, C. A. M. *et al.* Physical-chemical composition of in natura goat milk from cross Saanen throughout lactation period. **Archivos Latinoamericano de Nutrición**, v. 49, n. 3, p. 283–286, 20 maio 1999.

COSTA, R. G. *et al.* Características físico-químicas do leite de cabra comercializado no estado da Paraíba, Brasil. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. p. 136–141, 30 julho 2007.

DINIZ SOBRINHO, F. D. A. *et al.* *Capra hircus* outliers markers in Brazil: Searching for genomic regions under the action of natural selection. **Genetics and Molecular Biology**, v. 46, n. 3, p. e20230084, 2023.

DIRIM, S. N.; ÇALIŞKAN, G. DETERMINATION OF THE EFFECT OF FREEZE DRYING PROCESS ON THE PRODUCTION OF PUMPKIN (*CUCURBITA MOSCHATA*) PUREE POWDER AND THE POWDER PROPERTIES. [s.d.].

DODDS, J. Techniques to analyse particle size of food powders. Em: **Handbook of Food Powders**. [s.l.] Elsevier, 2013. p. 309–338.

DOS SANTOS, J. V. I. **Avaliação da qualidade do leite de cabra na Fazenda Padre Cícero no Município de Monteiro - PB**. Sumé: Universidade Federal de Campina Grande, 11 dez. 2020.

FANG, Y.; SELOMULYA, C.; CHEN, X. D. On Measurement of Food Powder Reconstitution Properties. **Drying Technology**, v. 26, n. 1, p. 3–14, 28 dez. 2007.

FINOTELLI, P. V.; ROCHA-LEÃO, M. H. M. MICROENCAPSULATION OF ASCORBIC ACID IN MALTODEXTRIN AND CAPSUL USING SPRAY-DRYING. [s.d.].

FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa, Paraíba: Editora Universitária, UFPB, 2004.

FONSECA, C. R. *et al.* Physical properties of goat milk powder with soy lecithin added before spray drying: Properties of goat milk powder with lecithin. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 46, n. 3, p. 608–611, mar. 2011.

FoodData Central – Goat's milk, whole. U.S. Department of Agriculture, 30 out. 2020. Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1097531/nutrients>>. Acesso em: 27 jul. 2023.

FRANK CONE, J.; ASHWORTH, U. S. A New Quantitative Method for Determining the Solubility of Milk Powders. **Journal of Dairy Science**, v. 30, n. 7, p. 463–472, jul. 1947.

GAONKAR, A. *et al.* **Microencapsulation in the Food Industry: A Practical Implementation Guide**. 1. ed. [s.l.] Robert Sobel, 2014.

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

HAENLEIN, G. F. W. Goat milk in human nutrition. **Small Ruminant Research**, v. 51, n. 2, p. 155–163, fev. 2004.

HAMMES, M. V. **ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE LECITINA DE SOJA NA MOLHABILIDADE DO LEITE DE BÚFALA EM PÓ OBTIDO POR SPRAY-DRYING**. Dissertação de Mestrado—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

HAWKINS, S.; WOLF, M. **Delivery System Handbook for Personal Care and Cosmetic Products: Technology, Applications and Formulations**. 1. ed. [s.l.] Meyer Rosen, 2005.

HENRIQUES, I. P. DE S. A. **CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE SORO DE LEITE CAPRINO E BOVINO ATRAVÉS DE CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA (DSC) E ANÁLISES TERMOGRAVIMÉTRICAS (TGA)**. Dissertação de Mestrado—Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4ª ed. 2008. 1000 p.

JAFARI, S. M.; GHALEGI GHALENOEI, M. DEHNAD, D. Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. **Powder Technology**, v. 311, p. 59–65, abr. 2017.

JILLAVENKATESA, A.; DAPKUNAS, S. J.; LUM, L. S. H. **Particle size characterization**. [s.l.: s.n.].

KEEY, R. B. **Drying of Loose and Particulate Materials**. Nova Iorque, NY, Hemisphere, 1992.

MAHDI, A. A. *et al.* Microencapsulation of fingered citron extract with gum arabic, modified starch, whey protein, and maltodextrin using spray drying. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 1125–1134, jun. 2020.

MOHAMMED, A. T.; ELSHEIKH, D. M.; TAWFIK, M. M. Utilization of broken rice, corn and sweet lupin flour for preparation high nutritional value and quality gluten-free basbousa. **Current Science International**, v. 07, p. 578–589, 10 dez. 2018.

NIELSEN, S. S. (ED.). **Food Analysis**. Boston, MA: Springer US, 2010.

NUNES, I. S. **ESTUDO DO ARMAZENAMENTO DO SUCO DO TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) EM PÓ OBTIDO POR SPRAY DRYER**. João Pessoa: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, 2019.

OLIVEIRA, A. H. *et al.* Influence of spray drying conditions on the properties of whole goat milk. **Drying Technology**, v. 39, n. 6, p. 726–737, 31 mar. 2021.

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

PARK, Y. W.; HAENLEIN, G. F. W. **Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals**. [s.l.: s.n.].

PATEL, R. P.; PATEL, M. P.; SUTHAR, A. M. Spray drying technology: an overview. **Indian Journal of Science and Technology**, v. 2, n. 10, p. 44–47, 20 out. 2009.

PUI, L. P.; SALEENA, L. A. K. Effects of spray-drying parameters on physicochemical properties of powdered fruits. **Foods and Raw Materials**, p. 235–251, 23 set. 2022.

RAHMAN, S. (ED.). **Food properties handbook**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

RAVULA, S. R. *et al.* Sensory evaluation of spray dried and agglomerated goat milk powder and their comparison. **The Pharma Innovation Journal**. p. 835–838, 21 jun. 2018.

RAZALI, M. F. *et al.* Minimal processing for goat milk preservation: Effect of high-pressure processing on its quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 7, jul. 2021.

RÉ, M. MICROENCAPSULATION BY SPRAY DRYING. **Drying Technology**, v. 16, n. 6, p. 1195–1236, jan. 1998.

REDDY, R. S. *et al.* Influence of processing conditions on functional and reconstitution properties of milk powder made from Osmanabadi goat milk by spray drying. **Small Ruminant Research**, v. 119, n. 1–3, p. 130–137, jun. 2014.

REH, C.; BHAT, S. N.; BERRUT, S. Determination of water content in powdered milk. **Food Chemistry**, v. 86, n. 3, p. 457–464, jul. 2004.

SANTANA, A. A. *et al.* Influence of Process Conditions on the Physicochemical Properties of Pequi Powder Produced by Spray Drying. **Drying Technology**, v. 31, n. 7, p. 825–836, 19 maio 2013.

SILVA, L. M. S. **OBTENÇÃO DE LEITE DE CABRA EM PÓ MEDIANTE SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO**. Pombal, Paraíba: Universidade Federal de Campina Grande, 2014.

SU, Q. *et al.* A perspective on Quality-by-Control (QbC) in pharmaceutical continuous manufacturing. **Computers & Chemical Engineering**, v. 125, p. 216–231, jun. 2019.

TRIBOLI, E. P. D. R. **Estudo e otimização de processo de secagem de iogurte por atomização com secador em escala piloto**. Doutorado em Engenharia Química—São Paulo: Universidade de São Paulo, 2 fev. 2016.

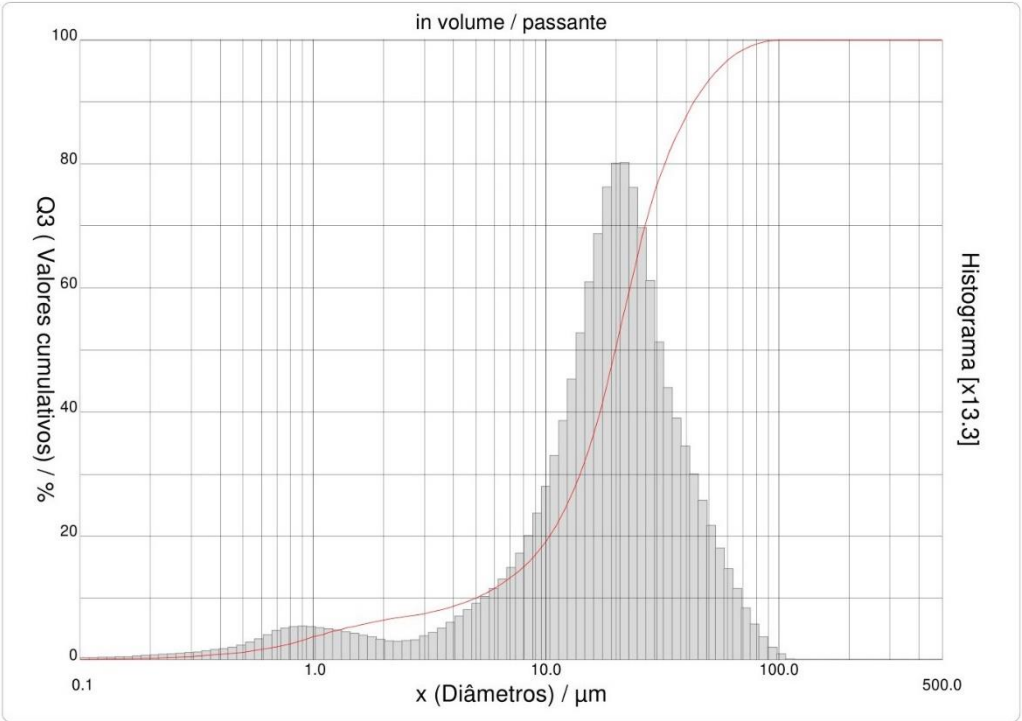
WEISSBRODT, J. **Microencapsulation using Spray drying.**, 11 fev. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=TNyj0qJ054c>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

YAAKUB, N. M.; ZAINI, H. M.; XIANG, L. J. Effect of spray drying temperature differences on the gross nutritional composition and solubility and sinkability of goat milk powder. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 17, n. 2, p. 206–210, 28 jun. 2019.

ZENEBE, T. *et al.* Review on Medicinal and Nutritional Values of Goat Milk. 2014.

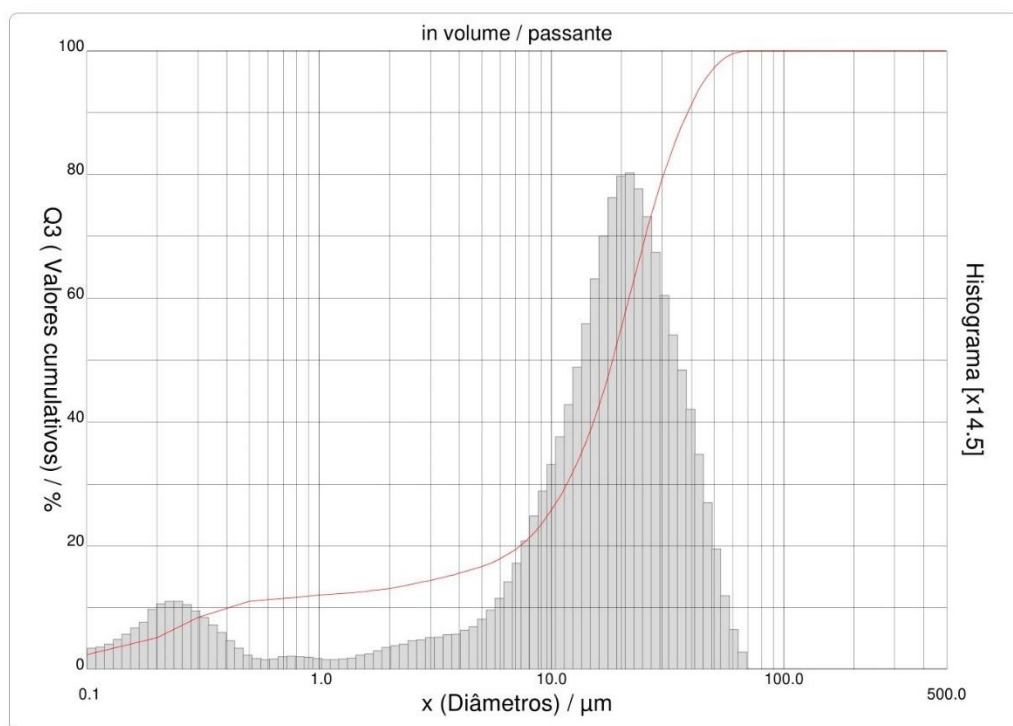
APÊNDICES

APÊNDICE A — Relatório de granulometria eletrônica por via seca do pulverizado de leite de cabra e maltodextrina como agente carreante realizado por analisador CILAS 1090



Núm. de série : 3637Ref : 2.r313.m0.88A1818/7.00/2771/m97.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-.0.0.0.0//600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V 9.48/635

APÊNDICE B — Relatório de granulometria eletrônica por via seca do pulverizado de leite de cabra e maltodextrina e goma arábica como agentes carreadores realizado por analisador CILAS 1090



Núm. de série : 3637Ref : 2.r313.m0.88A1818/7.00/2772/m97.3.0.0.1Eh.10.0.0.Dh/Q-.0.0.0.0/600.0.15.g10.0.9.10.1.10.P6500.1.10.N.0/V 9.48/635

APÊNDICE C — Relatório de granulometria eletrônica por via seca do pulverizado de leite de cabra e amido modificado como agente carreante realizado por analisador CILAS 1090

