

Universidade Federal de Juiz De Fora
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados
Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados

Sabrina Vargas Monteiro

**EFEITO DO USO DA EMBALAGEM
ATIVA E PALETIZAÇÃO NA MATURAÇÃO DO QUEIJO PARMESÃO DE USO INDUSTRIAL**

Juiz de Fora
2025

SABRINA VARGAS MONTEIRO

**EFEITO DO USO DA EMBALAGEM
ATIVA E PALETIZAÇÃO NA MATURAÇÃO DO QUEIJO PARMESÃO DE USO INDUSTRIAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre. Área de concentração: Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados.

Orientadora: Dra. Renata Golin Bueno Costa

Juiz de Fora
2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática
da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Vargas Monteiro , Sabrina .

Efeito do uso da embalagem ativa e paletização na maturação do
queijo Parmesão de uso industrial / Sabrina Vargas Monteiro . --
2025.

86 p. : il.

Orientadora: Renata Golin Bueno Costa

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Juiz de Fora, Faculdade de Farmácia e Bioquímica. Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia do Leite e Derivados, 2025.

1. Queijo Parmesão . 2. Embalagem ativa . 3. Maturação
controlada . 4. Paletização. I. Golin Bueno Costa , Renata , orient. II
Título.

Sabrina Vargas Monteiro

Efeito do uso da embalagem ativa e paletização na maturação do queijo Parmesão de uso industrial

Dissertação
apresentada ao
Programa de Pós-
graduação em
Ciência e Tecnologia
do Leite e Derivados
da Universidade
Federal de Juiz de
Fora como requisito
parcial à obtenção do
título de Mestre
em Ciência e
Tecnologia do Leite e
Derivados. Área de
concentração: Ciência e
Tecnologia do Leite e
Derivados.

Aprovada em 29 de maio de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Renata Golin Bueno Costa - Orientadora
EPAMIG/ILCT

Profa. Dra. Gisela de Magalhães Machado Moreira
EPAMIG/ILCT

Profa. Dra. Denise Sobral
EPAMIG/ILCT

Juiz de Fora, 09/05/2025.



Documento assinado eletronicamente por Renata Golin Bueno Costa, Usuário Externo, em 28/08/2025, às 14:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por GISELA DE MAGALHAES MACHADO MOREIRA, Usuário Externo, em 02/09/2025, às 10:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por Denise Sobral, Usuário Externo, em 04/09/2025, às 15:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador 2386884 e o código CRC C10FEED1.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio, carinho e incentivo de pessoas que, de diferentes formas, contribuíram para essa conquista. Agradeço, em primeiro lugar, ao meu noivo, Vitor Pedroso, por ser meu porto seguro em todos os momentos. Sua paciência, compreensão e apoio incondicional me deram forças para continuar mesmo diante dos maiores desafios.

Aos meus pais e irmãos, minha eterna gratidão pelo amor, pela base sólida que construíram e por sempre acreditarem em mim. Cada passo que dou carrega o reflexo do que aprendi com vocês. Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado ao longo dessa caminhada, oferecendo palavras de apoio e presença constante, deixo aqui meu carinho. Um agradecimento especial ao meu amigo Gian Nascimento, que sonhou este sonho comigo e esteve presente com entusiasmo, inspiração e parceria ao longo da jornada.

À minha orientadora, Dra. Renata Golin Bueno Costa, minha sincera gratidão pela orientação firme, pelas contribuições técnicas, pela paciência e por confiar no meu trabalho desde o início. Sua condução foi essencial para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos novos amigos que a vida acadêmica me presenteou, obrigada por tornarem essa trajetória mais leve, divertida e significativa. Em especial, à Thamires Ribeiro, Amanda Cirilo e Eva Mendes, pelos laços construídos, pelas risadas compartilhadas e pelo apoio nos momentos difíceis.

Por fim, agradeço à empresa Lactalis do Brasil pelo suporte à pesquisa e pelo financiamento deste projeto. O apoio da empresa foi fundamental para que este estudo se concretizasse em escala industrial, contribuindo para o desenvolvimento técnico e científico do setor de laticínios. A todos que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada, meu mais sincero e carinhoso obrigado.

RESUMO

O queijo Parmesão, conhecido por sua textura firme e longa maturação, exige cuidados intensivos durante o processo tradicional em prateleiras. Como alternativa, as embalagens ativas surgem como solução promissora, pois permitem a continuidade das reações bioquímicas essenciais à maturação, ao mesmo tempo em que protegem o produto de fatores ambientais e preservam sua qualidade. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto da embalagem ativa Pack-Age®, associada à paletização, na qualidade de queijos Parmesão de uso industrial, em comparação ao método convencional de maturação em prateleiras, sem embalagem. Foram analisados parâmetros físico-químicos, microbiológicos, perfil de textura, cor instrumental, índices de proteólise e aceitação sensorial ao longo de 210 dias de maturação. Os queijos com embalagem e paletizados (QCEPL) apresentaram mais maior teor de umidade e apresentaram menor teor de cloretos do que os queijos sem embalagem maturados em prateleira (QSEPT). Em compensação, o teor de gordura foi maior para o tratamento QSPET. Para os demais parâmetros físico-químicos, observou-se efeito significativo apenas do tempo, com aumento dos índices de extensão e de profundidade da proteólise, em ambos os tratamentos. Os queijos com embalagem (QCEPL) apresentaram maior elasticidade (0,59 mm), menor dureza (52,46 N) e menor perda de peso ao final da maturação (3,60%) em comparação com os queijos sem embalagem (QSEPT), demonstrando que a embalagem ativa contribui para a preservação da textura e integridade do produto. A embalagem ativa preservou a cor do queijo durante a maturação, protegendo contra perda de umidade e crescimento de mofo, enquanto os testes sensoriais mostraram que aparência, aroma, textura e sabor foram semelhantes entre os tratamentos, evidenciando a manutenção dos atributos sensoriais do Parmesão. A embalagem ativa Pack-Age® associada à paletização se mostrou uma estratégia eficiente e inovadora para a indústria de queijos duros, como uma alternativa de maturação.

Palavras-chave: Parmesão; Maturação controlada; Embalagem ativa; Qualidade tecnológica; Otimização industrial.

ABSTRACT

Parmesan cheese, renowned for its firm texture and lengthy maturation period, requires meticulous care during the traditional shelf maturation process. As an alternative, active packaging emerges as a promising solution, as it allows the biochemical reactions essential to maturation to continue, while protecting the product from environmental factors and preserving its quality. This study aimed to evaluate the impact of Pack-Age® active packaging, associated with palletisation, on the quality of Parmesan cheese for industrial use, compared to the conventional method of maturation on shelves, without packaging. Physical-chemical and microbiological parameters, texture profile, instrumental colour, proteolysis indices and sensory acceptance were analysed over 210 days of maturation. The packaged and palletised cheeses (QCEPL) had higher moisture content and lower chloride content than the unpackaged cheeses matured on shelves (QSEPT). On the other hand, the fat content was higher for the QSPET treatment. For the other physical-chemical parameters, only time had a significant effect, with an increase in the extension and depth indices of proteolysis in both treatments. The packaged cheeses (QCEPL) exhibited greater elasticity (0.59 mm), lower hardness (52.46 N), and lower weight loss at the end of maturation (3.60%) compared to the unpackaged cheeses (QSEPT), demonstrating that active packaging contributes to the preservation of the texture and integrity of the product. Active packaging preserved the colour of the cheese during maturation, protecting it against moisture loss and mould growth. Meanwhile, sensory tests showed that the appearance, aroma, texture, and flavour were similar between treatments, demonstrating the maintenance of the sensory attributes of Parmesan. Pack-Age® active packaging combined with palletisation proved to be an efficient and innovative strategy for the hard cheese industry as an alternative ripening method.

Keywords: Parmesan; Controlled ripening; Active packaging; Technological quality; Industrial optimization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma do processamento do queijo Parmesão.	19
Figura 2 - Proteína hidrolisada em compostos mais solúveis durante a fase de maturação do queijo.	24
Figura 3 - Representação esquemática dos conceitos de extensão e profundidade de proteólise.	25
Figura 4 - Representação da amostragem de cor instrumental.	36
Figura 5 - Formulário para preenchimento dos dados de umidade e temperatura das câmaras de maturação.	39
Figura 6 - Modelo da ficha-resposta do teste de aceitação (escala hedônica de nove pontos) para o queijo Parmesão.	40
Figura 7 - Teor de gordura (%) dos queijos Parmesão em cada tratamento (QSEPT e QCEPL).	45
Figura 8 - Teor de gordura (%) dos queijos Parmesão ao longo da maturação (QSEPT e QCEPL).	46
Figura 9 - GES (% m/v) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e com embalagem ativa e paletização (QCEPL) ao longo tempo de maturação.	47
Figura 10 - Luminosidade (L*) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL).	60
Figura 11 - Luminosidade (L*) ao longo do tempo dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL).	61
Figura 12 - Umidade da Câmara durante a maturação.	69
Figura 13 – Temperatura da câmara durante a maturação.	70
Figura 14 - Contagem de fungos filamentosos e leveduras da câmara durante a maturação.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de umidade (% m/m) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).....	42
Tabela 2 - Teor de cloretos (% m/m) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).....	43
Tabela 3 - Teor de proteína (%m/m) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijo com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	49
Tabela 4 - Atividade de água dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	50
Tabela 5 - pH dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	51
Tabela 6 - Índice de extensão de proteólise (%) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	53
Tabela 7 - Índice de profundidade de proteólise (%) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e Queijo com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	55
Tabela 8 - Coesividade (adimensional)) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e Queijo com embalagem e maturado em palete	56
Tabela 9 - Elasticidade dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	57
Tabela 10 – Mastigabilidade (N) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).....	58

Tabela 11 - Dureza (N) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	59
Tabela 12 - Coordenada cromática b* do interior (Lado 5) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijo com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	64
Tabela 13 - Perda de peso dos queijos Parmesão sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	65
Tabela 14 – Análises microbiológicas dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).	67
Tabela 15 - Análise sensorial dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL).	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Queijo.....	16
3.2 Queijo Parmesão.....	17
3.3 Maturação	21
3.3.1 Glicólise.....	22
3.3.2 Proteólise	24
3.3.3 Lipólise	26
3.4 Controle durante a maturação	26
3.5 Embalagens ativas.....	27
3.6 Paletização na indústria	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 Desenho experimental.....	32
4.2 Análises físico-químicas do queijo Parmesão	33
4.2.1 Teores percentuais de Umidade (g/100g) e Extrato Seco Total (g/100g)	33
4.2.2 pH.....	33
4.2.3 Teor percentual de gordura	33
4.2.4 Determinação da Gordura no Extrato Seco (GES).....	34
4.2.5 Teor percentual de resíduo mineral fixo (g/100g)	34
4.2.6 Teor percentual de cloretos (% m/m NaCl).....	34
4.2.7 Atividade de água	34

4.2.8 Frações nitrogenadas e índices de proteólise	35
4.3 Análise do perfil de textura do queijo	35
4.4 Análise de cor instrumental	36
4.5 Análises de perda de peso	37
4.6 Análises microbiológicas dos queijos	37
4.6.1 Fungos Filamentosos e Leveduras	37
4.6.2 Coliformes totais e termotolerantes.....	38
4.6.3 Contagem de <i>Staphylococcus aureus</i>	38
4.6.4 <i>Salmonella sp.</i>	38
4.6.5 <i>Listeria monocytogenes</i>	38
4.7 Análise do ambiente de maturação	39
4.8 Análise sensorial.....	40
4.9 Análises estatísticas	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Análises físico-químicas do queijo Parmesão	42
5.1.1 Teor de umidade	42
5.1.2 Teor de cloretos	43
5.1.3 Teor de gordura	44
5.1.4 Gordura no extrato seco (GES)	46
5.1.5 Proteína	48
5.1.6 Atividade de água	50
5.1.7 pH	51
5.1.8 Índice de extensão da proteólise.....	52
5.1.9 Índice de profundidade da proteólise	54
5.2 Análises do perfil de textura	55
5.2.1 Coesividade.....	55
5.2.2 Elasticidade	56

5.2.3 Mastigabilidade	57
5.2.4 Dureza	58
5.3 Análises de cor instrumental	60
5.3.1 Análise de cor instrumental da superfície do queijo Parmesão	60
5.3.2 Análise de cor instrumental do interior do queijo Parmesão	63
5.4 Perda de peso.....	65
5.5 Análises microbiológicas	66
5.6 Análise sensorial.....	67
5.7 Análises de controle do ambiente	68
5.8 Análise de Impacto Industrial	72
6 CONCLUSÃO	73
REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

O queijo Parmesão, de origem italiana, é amplamente reconhecido por sua qualidade sensorial e características tecnológicas, sendo um dos queijos mais consumidos e exportados mundialmente. No Brasil, figura entre os queijos especiais mais vendidos, principalmente na forma ralada, com ampla aplicação doméstica e industrial. Trata-se de um queijo de baixa umidade, semigordo a gordo, de massa cozida e prensada, com consistência dura, textura compacta e granulosa, crosta firme e lisa, coloração amarelada, sabor levemente picante e salgado, além de odor suave e agradável. Conforme a Portaria nº 353, de 4 de setembro de 1997, o Parmesão é classificado como queijo de média a longa maturação, com teor de umidade máximo de 35,9% e teor de gordura no extrato seco mínimo de 32% a 59,9%, enquadrando-se na categoria de queijos de semigordos a gordos.

A maturação é uma etapa essencial na produção de queijos duros como o Parmesão. Este processo ocorre em câmaras com temperatura e umidade controladas, ao longo de, no mínimo, 180 dias, conforme preconizado pela legislação brasileira (BRASIL, 1997). Durante esse período, ocorrem diversas transformações bioquímicas e microbiológicas, como a proteólise e a lipólise, que contribuem para o desenvolvimento da textura firme, sabor característico e complexidade aromática do produto. Enzimas endógenas e microbianas degradam proteínas e lipídios, gerando peptídeos, aminoácidos livres e ácidos graxos, fundamentais para o perfil sensorial do Parmesão.

Tradicionalmente, no Brasil, a maturação do queijo Parmesão é realizada de forma convencional, com as peças dispostas "nuas", sem proteção, sobre prateleiras de madeira ou fibra de vidro, exigindo cuidados constantes com viragem e limpeza da casca. Esse método demanda alta ocupação de espaço físico e resulta em perdas significativas devido a defeitos como mofo, trincas e formação de crosta irregular, impactando negativamente o rendimento e a padronização industrial.

Frente a essas limitações, surgem alternativas tecnológicas voltadas à eficiência industrial, como o uso de embalagens ativas como Pack-Age® associadas à paletização. As embalagens ativas são aquelas que interagem com o alimento ou com o ambiente ao redor, com o objetivo de manter ou estender sua qualidade e segurança (BRASIL, 2021). No caso de queijos maturados, essas embalagens criam uma atmosfera modificada ou controlada, limitando a troca de gases, reduzindo o

crescimento microbiano indesejado e minimizando a perda de umidade. Ainda permitem que ocorram as reações bioquímicas desejadas da maturação, como a ação contínua de enzimas sobre proteínas e lipídios, o que justifica sua classificação como embalagem ativa.

O uso dessas embalagens permite a maturação de queijos em blocos, com posterior paletização. Essa consiste na organização racional de cargas sobre paletes (estrados padronizados), o que facilita a movimentação por empilhadeiras, reduz a necessidade de intervenção manual e permite melhor aproveitamento de espaço vertical e rastreabilidade de lotes. A paletização nos queijos maturados com embalagem ativa pode ser realizada pelo acondicionamento em caixas plásticas empilháveis e paletizadas, otimizando o armazenamento vertical em câmaras frias tipo *drive-in*.

A aplicação dessas tecnologias tem o potencial de reduzir perdas, aumentar o rendimento e otimizar recursos logísticos e operacionais, além de padronizar os lotes e reduzir a variabilidade entre as peças. Contudo, é necessário compreender os impactos dessas mudanças sobre a qualidade final do produto, comparando os efeitos da maturação em embalagem ativa e paletizado com o método convencional sem embalagem e em prateleiras.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de queijos Parmesão de uso industrial maturados pelo método convencional e pelo método alternativo, utilizando embalagem ativa Pack-Age® e paletização.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a qualidade de queijo Parmesão de uso industrial maturado pelo método convencional (em prateleiras e sem embalagem) e pelo método alternativo (embalagem ativa Pack-Age® e paletização).

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a composição físico-química dos queijos maturados por método convencional e por método alternativo (uso de embalagem Pack-Age® e paletização) ao longo do tempo de maturação;
- Avaliar o ambiente de maturação dos queijos, por meio de medição de temperatura, umidade relativa do ar e análise microbiológica ao longo do tempo de maturação;
- Avaliar os índices de proteólise, atividade de água e pH dos queijos maturados nos diferentes métodos ao longo do tempo de maturação;
- Analisar a cor instrumental, perfil de textura dos queijos maturados nos diferentes métodos ao longo do tempo de maturação;
- Avaliar as características sensoriais dos queijos maturados nos diferentes métodos;
- Analisar a microbiologia dos queijos maturados nos diferentes métodos aos 180 dias de maturação;
- Avaliar o desempenho da embalagem ativa, associada à paletização, quanto à sua capacidade de manter as condições adequadas para a maturação do queijo Parmesão, em comparação ao método convencional em prateleiras sem embalagem, considerando a perda de peso dos queijos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Queijo

Historiadores acreditam que o queijo tenha surgido por acaso há mais de seis mil anos, onde um mercante ao levar uma bolsa feita de estômago de carneiro com leite de cabra no seu interior durante uma longa viagem percebeu ao parar para se alimentar que no lugar do leite havia um líquido fino e esbranquiçado, o soro e uma massa pastosa. O estômago do ruminante continha enzimas que coagulam o leite e, sob temperatura elevada e agitação, produziu o queijo (Monteiro *et al.*, 2011).

Outra teoria é que o queijo surgiu nos rios Tigre e Eufrates (atual Iraque) há 8.000 anos, quando as pessoas começaram a domesticar plantas e animais como fonte de alimento (Laguna *et al.*, 2010). O primeiro queijo foi fabricado na Ásia Central por tribos nômades (Scott; Robinson; Wilbey, 1998). No entanto, mais de 1.400 tipos de queijos estão listados em um registro do Centro de Pesquisa em Laticínios da Universidade de Wisconsin (CDR, 2014). Aproximadamente 30% da produção mundial de leite destina-se à fabricação de queijos. Devido ao seu alto valor nutritivo, ocupa lugar de destaque dentre os alimentos chamados de complexos. O queijo apresenta consumo elevado, vários empregos na culinária, sendo ainda muito comum na dieta populacional, abrangendo, na totalidade, todas as classes sociais (Hoffmann *et al.*, 2005).

A produção de todas as variedades de queijo envolve um protocolo geralmente semelhante, embora algumas etapas sejam modificadas para dar um produto com as características desejadas (Fox *et al.*, 2017). As principais etapas gerais são:

- a) Seleção, padronização, pasteurização do leite;
- b) Acidificação, geralmente através da produção de ácido láctico por bactérias;
- c) Coagulação do leite por acidificação ou proteólise limitada;
- d) Desidratação da coalhada para produzir queijo, por meio de uma série de técnicas, algumas das quais são específicas da variedade;
- e) Enformagem da coalhada em formas de formatos característicos;
- f) Salga, úmida ou seca, que contribui para sabor e proteção;
- g) Maturação do queijo, com desenvolvimento de sabor e textura características do queijo.

Segundo o Regulamento Técnico de identidade e qualidade dos queijo do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) o queijo é o produto fresco ou maturado

obtido por separação parcial do soro do leite ou leite reconstituído (integral, parcial ou totalmente desnatado) ou de soros lácteos, coagulados pela ação física do coalho, enzimas específicas de bactérias específicas, de ácidos orgânicos, isolados ou combinados, todos de qualidade apta para uso alimentar, com ou sem agregação de substâncias alimentícias e/ou especiarias e/ou condimentos, aditivos especificamente indicados, substâncias aromatizantes e matérias corantes. A legislação complementa essa definição, reservando o nome queijo exclusivamente para produtos, cuja base láctea não contenha gordura e/ou proteínas de outra origem (BRASIL, 1996).

3.2 Queijo Parmesão

O queijo Parmesão, conhecido como Grana Padano ou Parmegiano Reggiano, é produzido em centenas de fábricas de laticínios localizadas em uma área de produção muito extensa no Vale do Pó, na Itália. Esses queijos possuem denominação de origem protegida (DOP) devido às suas características de produção. São fabricados com leite cru, e embora sejam mantidos os métodos e critérios para a criação de gado, a microbiologia do leite destinado à fabricação dos queijos pode ser consideravelmente afetada por diferenças nas práticas de manejo agrícola e por mudanças em relação às variações sazonais, climáticas e ambientais. Os microrganismos presentes no leite cru passam então pela ação de algumas fases tecnológicas de fabricação que conferem características únicas aos queijos de origem italiana (Gobetti *et al.*, 2018).

A complexa microbiota do queijo, com a sua carga enzimática dinâmica, desempenha um papel fundamental na realização das alterações bioquímicas e estruturais que ocorrem durante sua longa maturação (até 18-24 meses) e confere suas características intrínsecas (Gatti *et al.*, 2014).

O processo de elaboração do queijo Parmesão se espalhou por meio das colônias que se estabeleceram por diversos países, devido à grande onda migratória de italianos para diferentes partes do mundo. Na América Latina, a Argentina é líder na fabricação de Parmesão, onde o queijo é conhecido por Reggianito, seguida da Venezuela, onde a produção é também expressiva (Furtado, 2017). O queijo Parmesão produzido no Brasil consiste em uma adaptação dos queijos tipo “Grana” italianos, Parmigiano Reggiano e Grana Padano, e que embora seja fabricado em grande escala no país, com raras exceções, distanciou-se do modelo original italiano,

não só quanto às características de sabor, aroma e textura, mas também no tamanho, sendo normalmente fabricado em formas de 4 a 7 kg, em contraste com os 35 kg em média, observados no original italiano (Furtado, 2011b).

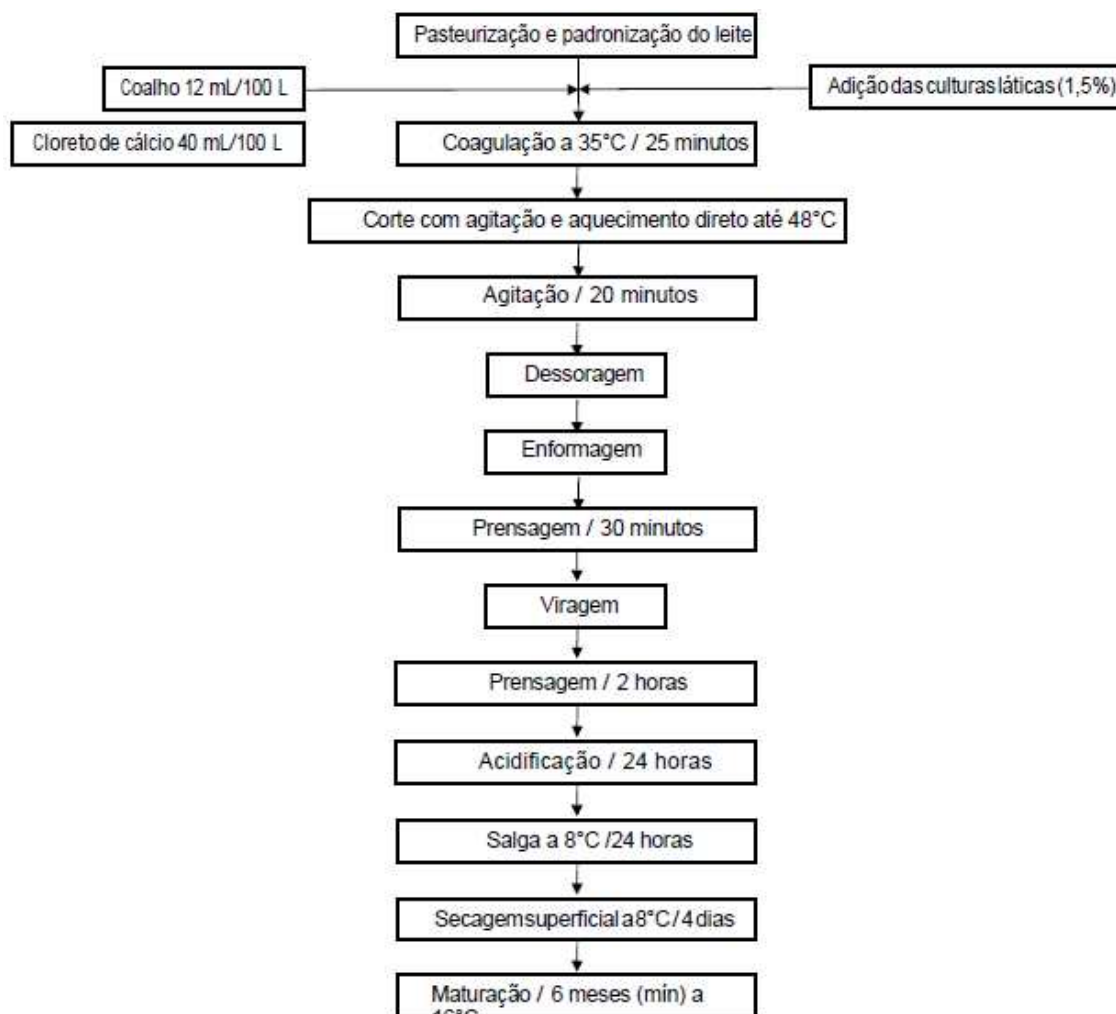
A utilização de leite cru é outra diferença importante que se encontra na tecnologia de fabricação, em que o leite cru é empregado na produção dos queijos italianos, e para o Parmesão brasileiro utiliza-se o leite pasteurizado. Além disso, no Brasil, faz-se a padronização da gordura do leite, enquanto para a fabricação de Grana Padano e Parmigiano Reggiano se faz o desnate natural, conhecido como processo de *affioramento*. Nesse processo o leite passa por um prolongado repouso, e a gordura em suspensão tende a separar-se, devido à sua menor densidade em relação aos demais componentes, formando uma camada espessa de creme na parte superior do leite, que é retirada (Furtado, 2011a; Neviani *et al.*, 2013).

O processo de fabricação do queijo Parmesão brasileiro envolve desde o preparo do leite, como a padronização, pasteurização e adição de culturas lácticas e ingredientes específicos, como as etapas de coagulação, corte, cozimento, dessoragem, enformagem, prensagem, salga, secagem e maturação, como apresentado no fluxograma da Figura 1.

Em 2011, no Brasil, a produção total de queijo atingiu 867.100 toneladas, aumentando a produção em 9,4% com relação a 2010 (Scot Consultoria, 2013). Desta produção total, o queijo Parmesão representa mais de 32 mil toneladas (Barros *et al.*, 2011b), representando 5,5% do consumo per capita de 4 kg/ano, o que ainda é baixo se comparado com o da vizinha Argentina cujo consumo per capita é de 11,2 kg/ano (Castañeda *et al.*, 2010). Este queijo duro é o mais popular entre os chamados queijos "especiais" que estão disponíveis no mercado brasileiro, e está disponível em formas que variam de 5 a 14 kg, sendo vendido em pedaços, em forma de cunha ou ralado (Barros *et al.*, 2011b).

No Brasil, além do queijo Parmesão industrial, tem-se o queijo artesanal que, nos últimos anos, tem se destacado no cenário internacional, recebendo prêmios renomados e atraindo o interesse de especialistas e apreciadores de diversos países. O queijo Parmesão Serra das Antas, de Bueno Brandão (MG), ganhou medalha de bronze na World Cheese Awards 2021/2022, uma das mais prestigiosas competições do setor (Casa do Produtor, 2023).

Figura 1 - Fluxograma do processamento do queijo Parmesão.



Fonte: Santos (2015).

O impacto do reconhecimento internacional está diretamente relacionado com o aumento de demanda para os produtores e elevação do padrão de qualidade e incentivo à inovação para o setor queijeiro (Casa do Produtor, 2023).

Devido à falta de controle de qualidade adequado no Brasil, pelas agências governamentais, o processamento do queijo Parmesão não segue um protocolo padronizado, o que resulta em muitos produtos diferentes disponíveis no mercado nacional, incluindo aqueles com baixa qualidade, mas que, no entanto, são vendidos em grandes quantidades devido aos preços baixos. Considerando que uma grande porcentagem deste tipo de queijo duro está disponível em forma ralada no mercado brasileiro, o problema é ainda mais complexo, em que há relatos de misturas de diferentes tipos de queijos mais baratos no produto, até mesmo a presença de amido

em algumas amostras comerciais (Ribeiro *et al.*, 2012). No caso do queijo Parmesão ralado, a adição de até 25% (m/m) de outros tipos de queijos secos é permitida no Brasil (BRASIL, 1997; Trombete *et al.*, 2012).

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos queijos (BRASIL, 1997), descreve o queijo Parmesão, Queijo Parmesano, Queijo Reggiano, Queijo Reggianito e Queijo Sbrinz, os queijos que se obtêm por coagulação do leite por meio do coalho e/ou outras enzimas coagulantes apropriadas, complementadas pela ação de bactérias lácteas específicas. Sua composição deve conter obrigatoriamente os seguintes ingredientes: leite integral ou padronizado em seu conteúdo de matéria gorda, cultivos de bactérias lácticas específicas, coalho e/ou outras enzimas coagulantes apropriadas, cloreto de sódio. E ingredientes opcionais como creme e concentrado de proteínas lácteas (BRASIL, 1997). Como suas principais características sensoriais podem ser citadas:

1. Consistência: dura;
2. Textura: compacta, quebradiça e granulosa;
3. Cor: branca amarelada e ligeiramente amarelada;
4. Sabor: salgado, levemente picante;
5. Odor: característico;
6. Crosta: lisa, consistente, bem formada, recoberta com revestimentos apropriados, aderidos ou não;
7. Olhos: não possui, eventualmente poderá apresentar alguns olhos pequenos e algumas olhaduras mecânicas.

Algumas características distintivas são determinadas na legislação, cujo processo de elaboração do queijo Parmesão leva à obtenção de uma massa cozida, dessorada, prensada, salgada e maturada. Sua composição é caracterizada por baixa umidade (< 35,9 g/100g), alto teor de gordura, obrigatoriamente deve conter no mínimo 32 g/100g de matéria gorda no extrato seco. Em relação ao período de maturação, esse é definido pelo peso do queijo, de 4 kg a 10 kg: 6 meses de maturação, 8 meses para queijos com peso compreendido entre 10 kg e 20 kg e 12 meses para os queijos de mais de 20 kg (BRASIL, 1997).

O acondicionamento após a maturação poderá ser sem embalagem ou em envoltórios plásticos com ou sem vácuo ou envoltórios bromatologicamente aptos, eventualmente, parafinados e/ou acondicionados com cobertura bromatologicamente apta. É autorizado o uso de corantes e coberturas das superfícies para queijos

previstos no item 5 do Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos e, ainda, óleo de linhaça ou outros óleos vegetais isolados ou em combinações com carvão vegetal, carbonato de cálcio, óxido de ferro, alumínio, prata, ouro e litolrubina. Quanto às condições de conservação e comercialização do queijo Parmesão, deverá manter-se a uma temperatura não superior a 25°C com o objetivo de manter suas características (BRASIL, 1997).

As práticas de higiene para a elaboração do produto deverão estar de acordo com o Regulamento Técnico sobre as condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Elaboradores/Industrializadores de Alimento, poderá utilizar-se Leite Cru ou Pasteurizado, o qual deverá ser higienizado por meios mecânicos adequados. O produto não deverá conter substâncias estranhas de quaisquer naturezas e deverá cumprir os requisitos microbiológicos estabelecidos no "Regulamento Técnico Geral de Requisitos Microbiológicos para Queijos", para Queijos de Baixa Umidade (BRASIL, 1996).

3.3 Maturação

A maturação do queijo é um processo muito complexo que envolve alterações microbiológicas e bioquímicas que levam ao desenvolvimento das características de sabor e textura. A maturação inclui a autólise das células das bactérias lácticas e o crescimento de uma microbiota de bactérias lácticas não originadas no fermento (*Non starter lactic acid bacteria* - NSLAB) (McSweeney, 2004). A maturação depende de fatores como pH, temperatura de maturação, atividade de água, concentração de sal, potencial de redução da oxidação, presença de nitrato e de outros compostos (bacteriocinas) (Fonseca *et al.*, 2023).

A fermentação da lactose, principalmente em ácido láctico, é causada por microrganismos iniciadores, as bactérias lácticas. A fermentação láctica é responsável pelo estágio inicial dos compostos de sabor formados e desempenha um papel importante na maturação do queijo (Fox *et al.*, 2017). O teor de cloreto também é importante para o sabor e a qualidade do queijo (Pastorino *et al.*, 2003; Awad, 2002). No entanto, muitos estudos descobriram que a maioria dos componentes do sabor é gerada durante a maturação do queijo (Fox *et al.*, 2000; McSweeney, 2004; Walstra *et al.*, 2006).

As reações bioquímicas que ocorrem durante a maturação são classificadas em eventos bioquímicos primários e secundários. Os eventos primários são o metabolismo da lactose residual, lactato e citrato, lipólise e proteólise. As reações bioquímicas secundárias ocorrem em sequência após os eventos primários (Fox *et al.*, 2017; McSweeney, 2004) e consistem nas reações em que compostos aromáticos são formados por vários processos que atuam de maneira concertada e/ou sequencial, a partir da conversão de ácidos graxos e aminoácidos (McSweeney, 2004). As reações primárias, como o aumento do pH e a hidrólise da matriz proteica, são as principais responsáveis pelas alterações na textura do queijo, mas apresentam uma contribuição menor para o sabor do queijo (Awad, 2002).

Desta forma, a maturação refere-se ao tempo de espera que se dá ao queijo para que ocorram essas transformações microbiológicas e bioquímicas, que impactarão diretamente no sabor, palatabilidade e conservação destes produtos. De todos os processos que ocorrem na maturação, os principais fenômenos bioquímicos são: glicólise, proteólise e lipólise (Perry, 2004).

3.3.1 Glicólise

Como o queijo é um produto lácteo fermentado, uma característica fundamental de sua fabricação é o metabolismo da lactose em lactato por culturas selecionadas de bactérias lácticas, conhecidas como *starters*. A taxa e a extensão da acidificação influenciam a textura inicial da coalhada (Fox *et al.*, 2004). O pH da coalhada de queijo é determinado pela extensão da acidificação durante a fabricação, pela capacidade tampão da coalhada e, em alguns casos, pela desacidificação durante a maturação. (Furtado, 2019).

O pH também afeta indiretamente a textura e o sabor, afetando a atividade de enzimas importantes para a maturação e, no caso do coagulante, a retenção da enzima na coalhada durante a fabricação (Holmes *et al.*, 1977; Stadhouders *et al.*, 1977; Visser, 1977). A maior parte da lactose do leite é perdida no soro como lactose ou lactato durante a fabricação do queijo, no entanto, baixos níveis de lactose permanecem na coalhada no final da fabricação da coalhada (Huffman, 1996).

O evento glicolítico primário se dá pela conversão da lactose em lactato, normalmente pela cultura láctica durante a preparação da coalhada e nos primeiros estágios de maturação. A fermentação da lactose pelo fermento produz

principalmente o ácido láctico. Parte do ácido láctico reage com os radicais básicos presentes no queijo, formando sais, como lactato de cálcio. O principal composto que se forma a partir da lactose é o ácido láctico, mas não é o único. Os microrganismos heterofermentativos produzem também ácido acético, etanol e gás carbônico. As leveduras produzem álcool e diversos produtos secundários (ácidos orgânicos, acetaldeídos) (Parente; Cogan, 2004; Machado, 2010).

A fermentação completa da lactose é importante no queijo para evitar o desenvolvimento de uma microbiota secundária indesejável. A lactose residual é metabolizada rapidamente em L (+) lactato durante os estágios iniciais de maturação, a uma taxa amplamente determinada pela temperatura e pelos níveis de sal na umidade da coalhada pela ação de bactérias *starter* (Parente; Cogan, 2004).

O lactato produzido a partir da lactose pelo crescimento do fermento láctico é um substrato importante para uma série de reações que ocorrem no queijo durante a maturação. O D (-) lactato pode ser formado diretamente a partir da lactose por lactobacilos iniciais ou NSLAB (Fox *et al.*, 2017) ou por racemização do L (+) lactato. A taxa na qual o L (+) lactato é racemizado depende da composição da microbiota, por exemplo, os *pediococos* racemizam o lactato mais rapidamente do que os lactobacilos (Thomas; Crow, 1983). A racemização é provavelmente mais rápida no queijo de leite cru do que no queijo feito de leite pasteurizado (McSweeney, 2004). A via para a racemização do lactato provavelmente envolve a oxidação do L(+)-lactato pela L(+)-lactato desidrogenase para formar piruvato, que é então reduzido a D(-)-lactato pela ação da D(-)-lactato desidrogenase (Perry, 2004; McSweeney, Fox, Ciocia, 2017).

A racemização do lactato é significativa porque a solubilidade do Ca-D(-)lactato é menor que a do Ca-L(+)-lactato (Thomas; Crow, 1983) e, portanto, a racemização favorece a formação de cristais de Ca-DL-lactato, que se manifestam no queijo como manchas brancas, inofensivas, principalmente nas superfícies cortadas. Níveis aumentados de lactose favorecem o crescimento de NSLAB e, portanto, a formação de cristais (Lunardi *et al.*, 2021), assim como fatores que aumentam a liberação de Ca ligado à caseína (por exemplo, pH baixo ou NaCl alto) ou reduzem a solubilidade de Ca-D(-)lactato (por exemplo, baixas temperaturas de maturação) (McSweeney, 2004).

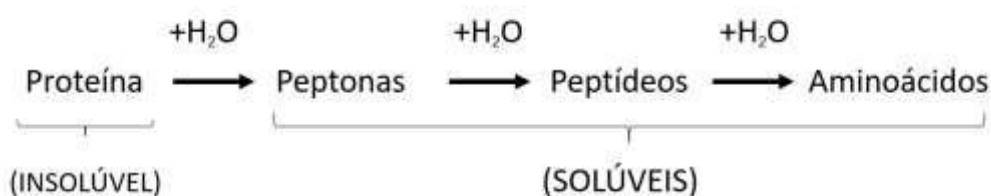
3.3.2 Proteólise

A proteólise se dá pela hidrólise das proteínas (caseína), sendo a via bioquímica mais importante para a formação do sabor em queijos duros e semiduros (Gan *et al.*, 2016). As proteinases e peptidases catalisam a clivagem das cadeias polipeptídicas para produzir aminoácidos livres, alguns dos quais atuam como precursores de compostos aromáticos durante a produção e maturação do queijo (McSweeney, 2004).

A proteólise também contribui para o amolecimento do queijo durante a maturação devido à hidrólise da matriz de paracaseína, também diminui a atividade de água (a_w) através da ligação da água pelos ácidos carboxílicos liberados, formando os grupos amino por hidrólise (McSweeney, 2004).

A partir da ação da transaminase, desaminase, descarboxilase e outras enzimas, os aminoácidos livres no queijo são transformados em uma série de substâncias aromatizantes voláteis e não voláteis (por exemplo, cetonas, aldeídos, ácidos e álcoois) via desaminação, aminação e descarboxilação. As concentrações de metionina, leucina e ácido glutâmico são normalmente consideradas indicadores do grau de hidrólise de proteínas no queijo (Suzuki-Iwashima *et al.*, 2020). A Figura 2 adaptada por Robinson (1987) apresenta a hidrólise da proteína na fase insolúvel em peptonas, peptídeos e aminoácidos em fase solúvel.

Figura 2 - Proteína hidrolisada em compostos mais solúveis durante a fase de maturação do queijo.



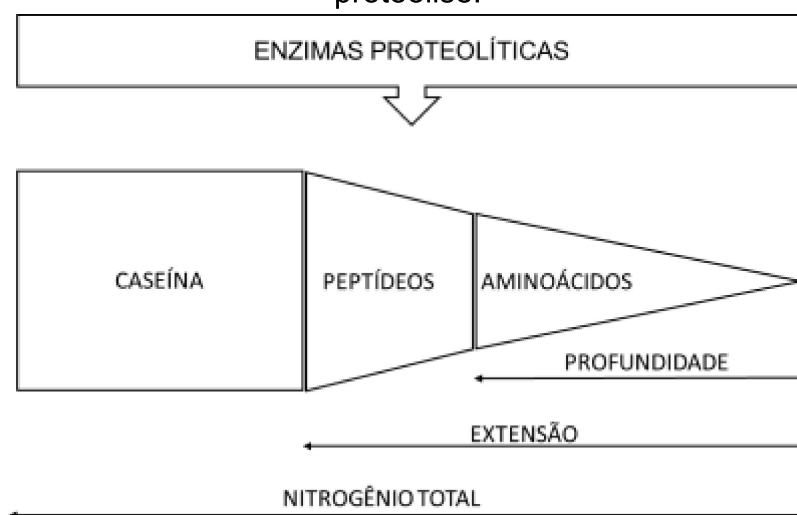
Fonte: Elaborado pela autora adaptada de Robinson (1987).

Tradicionalmente, o índice de maturação é medido pela degradação de caseína, por meio da avaliação da proporção entre nitrogênio total e nitrogênio solúvel.

Este índice deve aumentar com o avanço da maturação. Recentemente, a eletroforese capilar tem sido utilizada para acompanhar a degradação da caseína e, portanto, o avanço da maturação. A tentativa de utilizar a espectroscopia no infravermelho para determinar o grau de maturação de queijos não apresentou o resultado esperado, já que não houve alteração significativa nos padrões espectrais observados nessa região. A literatura registra ainda o acompanhamento do estágio de maturação de queijos usando o ultrassom, que tem a vantagem de ser uma técnica não destrutiva e permite detectar, simultaneamente, defeitos oriundos de fermentação anormal (Perry, 2004).

Dentre os métodos de avaliação da maturação, o índice de extensão de maturação (IEM) é resultado principalmente da ação proteolítica das enzimas do coalho sobre a caseína do queijo, liberando peptídeos de alta massa molecular. Este índice é um fator de grande importância na composição final e na qualidade do produto, caracterizando-se pela quantidade de substâncias solúveis na fase aquosa dos queijos (Wolfschoon-Pombo; Lima, 1989). O índice de profundidade de maturação (IPM) tem a finalidade de verificar a formação de substâncias de baixa massa molecular acumuladas durante o período de maturação, principalmente por causa da ação proteolítica das enzimas microbianas sobre compostos nitrogenados oriundos da degradação da caseína. Compostos característicos dessa degradação são os aminoácidos, oligopeptídeos e aminas (Silva *et al.*, 1995). A Figura 3 ilustra os conceitos de extensão e profundidade da proteólise durante a maturação.

Figura 3 - Representação esquemática dos conceitos de extensão e profundidade de proteólise.



Fonte: Wolfschoon-Pombo (1983).

3.3.3 Lipólise

A lipólise é caracterizada pela hidrólise da gordura, causada por enzimas (lipases), com importante efeito no sabor e na textura do queijo. As lipases são derivadas do leite, coalho em pasta, culturas, cultura secundária, bactérias não starter (NSLAB) e enzimas exógenas. De todas as lipases, a lipase lipoproteica é importante no desenvolvimento do sabor em queijos de leite cru, mas tem pouco efeito no sabor do queijo feito com leite pasteurizado (Santos; Salgado; Vanetti, 2021). As enzimas lipolíticas presentes nas bactérias lácticas podem hidrolisar um substrato (triacilglicerol, diacilgliceróis e monoacilgliceróis) para gerar ácidos graxos livres (Lunardi *et al.*, 2021).

A formação do sabor típico do queijo através da lipólise reflete-se principalmente no seguinte: as ligações ésteres entre triacilgliceróis e ácidos graxos se rompem sob a ação da lipase e são produzidos monoacilgliceróis, diacilgliceróis e ácidos graxos livres (Deeth; Touch, 2000). Os ácidos graxos têm uma influência importante no sabor do queijo. Durante a fermentação e maturação do queijo, uma série de ácidos graxos de cadeias médias e curtas de carbono é formada após a degradação da gordura do leite. Isto leva à formação de substâncias aromáticas características no queijo, e que são utilizadas como indicadores da maturação do queijo. A oxidação de ácidos graxos, especialmente ácidos graxos poliinsaturados, pode produzir vários aldeídos insaturados com sabores intensos. Os ácidos graxos produzidos por lipólise, especialmente os ácidos graxos livres, como os ácidos acético, octanóico e decanóico, são substâncias com sabor de queijo (Thierry *et al.*, 2017).

3.4 Controle durante a maturação

A maturação de queijos é de grande interesse na indústria queijeira, principalmente devido aos elevados custos associados aos longos períodos de armazenamento. Recursos como custos de refrigeração, mão de obra e inventário, bem como instalações de armazenamento são necessários para a produção de queijos duros (Azarnia *et al.*, 2006).

A maturação do queijo é feita, na maioria dos casos, em câmaras com controle de temperatura e umidade. O tempo varia de acordo com o tipo, podendo ir de poucas

semanas a muitos meses (McSweeney, 2004); geralmente, a maturação ocorre em temperaturas entre 7 e 14 °C e umidade relativa entre 75 e 95% (Mourão, 2017). Devido às condições de temperatura e umidade, o ambiente das câmaras de maturação é favorável para a multiplicação fúngica (César, 2019). A presença de fungos ambientais é indesejável em câmaras de maturação de queijos, pois algumas espécies são produtoras de micotoxinas, logo representam riscos à saúde (Filtenborg *et al.*, 1996). As propriedades sensoriais dos queijos podem ser alteradas pela produção de micotoxinas durante a multiplicação de fungos, provocando sabores estranhos ou defeitos de coloração na superfície (Sensidoni *et al.*, 1994). Uma casca bem formada evita diversos problemas no queijo, como presença de fungos e perda de umidade, além de proteger o produto de poeira, por isso, a casca do queijo, quando é bem formada, torna-se uma película natural e melhora o aspecto visual do produto (EPAMIG, 2019).

Problemas durante a maturação do queijo podem provocar a presença de microrganismos na superfície, que podem ocasionar uma mudança de cor do queijo. O desenvolvimento da microbiota na superfície do queijo é influenciado pela presença ou ausência de oxigênio. Se as prateleiras de maturação não forem perfuradas, há a necessidade de viragens constantes do produto para que o oxigênio não fique exposto somente de um lado do queijo (Costa Júnior; Paula, 2009). Segundo Pereira (2019), queijos tratados com umidade de 95% durante o período de maturação têm maiores variações na casca (rugosidade) devido ao crescimento de fungos filamentosos.

3.5 Embalagens ativas

De modo geral, as embalagens têm o objetivo de assegurar maior vida de prateleira aos alimentos, por servir como um obstáculo contra o meio externo que ajuda a manter o produto protegido (Souza, 2018).

A embalagem pode garantir a qualidade do produto no transporte até seu destino. Inúmeros materiais podem ser utilizados na fabricação de uma embalagem, como metal, polímeros, papel e talvez uma união destes na sua produção. A opção do material da embalagem varia de acordo com sua aplicação e o produto acondicionado (Ferreira, 2012). A escolha da embalagem adequada para o produto, tendo em vista os objetivos que se deseja atingir, é importante, pois características

bioquímicas e sensoriais de queijos sofrem interferência das embalagens utilizadas (Duval *et al.*, 2016).

Para Walstra *et al.* (2006), a embalagem é uma etapa fundamental no processo de fabricação dos alimentos e cita quatro funções importantes: contenção (separação do alimento de dentro da embalagem do ambiente externo, protegendo-o no transporte, manuseio e armazenamento); proteção do alimento contra influência externa (prevenção contra contaminação por compostos químicos e microrganismos); conveniência para o consumidor (facilidades de manuseio, abrir e fechar, diminuição de espaço, etc.) e fornecimento de informações (detalhamentos da composição do produto, valores nutritivos, manuseio da embalagem e produto, ações de marketing na embalagem e possíveis benefícios para o cliente consumidor). Porém, nos últimos anos, novidades tecnológicas para embalagens alimentares têm aparecido, assim como novas funções (Souza, 2018).

As embalagens ativas representam um avanço significativo em relação às embalagens tradicionais, ao interagirem de forma direta com o alimento ou seu ambiente interno. Elas são projetadas para responder às mudanças físico-químicas que ocorrem durante o armazenamento, modificando suas próprias características com o intuito de melhorar as condições internas da embalagem e preservar melhor o produto (Brody; Strupinsky; Kline, 2001). Esse conceito emergiu como uma resposta às novas exigências dos consumidores por alimentos mais seguros, saudáveis e com maior durabilidade, além de atender às tendências de sustentabilidade e conveniência no mercado alimentício (Prasad; Kocchar, 2014).

Diferentemente das embalagens tradicionais, que apenas atuam como barreiras protetoras contra contaminantes externos, as embalagens ativas têm a capacidade de controlar ou até modificar o ambiente ao redor do alimento, influenciando diretamente fatores como umidade, oxigênio, dióxido de carbono, etileno e compostos voláteis (Soares *et al.*, 2009). Essa tecnologia pode incluir a incorporação de absorvedores de oxigênio, liberadores de antimicrobianos ou antioxidantes, contribuindo significativamente para a extensão da vida útil dos alimentos, além de preservar suas propriedades nutricionais e sensoriais (Kerry; O'grady; Hogan, 2006).

Além disso, o uso de embalagens ativas pode minimizar ou até eliminar a necessidade de adição direta de conservantes químicos aos alimentos, promovendo formulações mais limpas e alinhadas às expectativas de consumidores preocupados com saúde e naturalidade (Sardarodiyani; Mahdian, 2016).

O grande desafio da indústria é o desenvolvimento de novos conceitos tecnológicos. Melhorar essas medidas que permitam trazer soluções que atuem durante o processo de produção é a força necessária para o setor (Wyrwa; Barska, 2017). As embalagens ativas e inteligentes constituem um grande avanço para a indústria de embalagens, pois atuam de forma mais completa que as convencionais, proporcionando maior segurança e confiabilidade ao consumidor, podendo, inclusive, evitar contaminações e intoxicações alimentares (Rebello, 2009).

As embalagens ativas interagem diretamente com o alimento ou com o ambiente interno da embalagem, promovendo modificações que visam prolongar a vida útil e preservar a qualidade sensorial e microbiológica do produto, por meio da liberação ou absorção de substâncias como antimicrobianos, antioxidantes ou gases (Kerry; O'grady; Hogan, 2006; Soares *et al.*, 2009). Por outro lado, as embalagens inteligentes têm como principal função monitorar e comunicar informações sobre o estado do alimento ou as condições de armazenamento, sem exercer influência direta sobre o produto, utilizando indicadores de tempo-temperatura, sensores de gases ou etiquetas que respondem a mudanças ambientais (Siracusa, 2012). Dessa forma, as embalagens ativas são voltadas à preservação ativa do alimento, enquanto as inteligentes contribuem para a rastreabilidade, segurança e tomada de decisão ao longo da cadeia produtiva e pelo consumidor final. No Brasil, estudos com embalagens ativas em alimentos ainda são escassos comparados a outros países, embora muitas empresas tenham se interessado pelo tema devido à sua importância e aplicabilidade (Braga; Silva, 2017).

Diversas modificações podem ser aplicadas às embalagens para que elas se tornem ativas, promovendo alguma melhoria ao produto embalado. Embalagens ativas podem ser enquadradas em três categorias: eliminação, liberação e "outros" (Singh *et al.*, 2011). Alguns sistemas de embalagem ativa mais usados incluem absorvedores de oxigênio (sendo o ferro, o ácido ascórbico e o zinco muito utilizados), de etileno, de umidade, absorvedores ou promotores de odor e aroma, tecnologias antimicrobianas e antioxidantes (naturais ou sintéticos), indicadores de tempo e temperatura, detectores de gases, indicadores de frescor ou de maturação (Prasad; Kocchar, 2014; Yildirim *et al.*, 2018).

Nos últimos anos, os mais variados tipos de embalagens ativas foram testados em queijos, sendo a maioria com o objetivo de prevenir o crescimento fúngico ou microbiano em sua superfície. Óleos essenciais como antimicrobianos naturais em

filme de acetato de celulose (Dannenberg *et al.*, 2017); nanofibra contendo nanopartículas de nisina, que possui efeito anti *Listeria* (Cui *et al.*, 2017); filme antimicrobiano com farinha de sêmola, nano óxido de zinco e nano caulim (Jafarzadeh *et al.*, 2019); filmes de polietileno tereftalato (PET) reaproveitado contendo quitosana e nano partículas de prata imobilizadas (Singh *et al.*, 2011) são alguns exemplos.

A Pack-Age® é uma embalagem de alta tecnologia, que consiste em uma membrana multicamada coextrusada com poliamida, produzida pela empresa DSM. Possui permeabilidade seletiva: alta permeabilidade a vapor de água e barreira de média intensidade ao oxigênio. O uso da embalagem Pack-Age® na maturação de queijos permite desenvolvimento de aroma e textura, porém com maior rendimento, devido a menor perda de água no processo (DSM, 2019).

A embalagem Pack-Age® pode reduzir o desperdício de corte de queijos de 3 a 7% e aumentar a eficiência na produção de queijos em até 4% (DSM, 2019; Zuilen, 2019). Em queijos de alta maturação, os impactos são positivos em relação à produtividade e perdas, uma vez que reduzem a mão de obra gasta para limpeza desses queijos durante o processo de maturação, e ao término da maturação, uma menor perda de produto devido à diminuição de contaminação de casca.

Estudos recentes indicam que a utilização de embalagens ativas em queijos de longa maturação pode influenciar características como perda de peso, formação da casca e desenvolvimento microbiano, sem impedir a ocorrência das reações bioquímicas características do processo, como a proteólise (Deshwal; Panjagari, 2021a).

No caso de queijos duros, como o Parmesão, a aplicação da embalagem ativa Pack-Age® foi associada à manutenção da umidade durante o período de maturação, o que contribuiu para a menor perda de peso ao longo do tempo, sem comprometer a formação da casca e a estabilidade do produto (DSM-Firmenich, 2025). A permeabilidade seletiva da embalagem permite trocas controladas com o ambiente, o que favorece a maturação sem necessidade de contato direto com o ar, podendo reduzir o crescimento de fungos indesejáveis na superfície dos queijos, especialmente quando associada a ambientes com controle de temperatura e umidade (WBCSD, 2019).

Além disso, testes realizados com embalagens ativas aplicadas a queijos duros relataram redução de perdas por corte ao final da maturação, melhor preservação da

estrutura da casca e manutenção de características sensoriais comparáveis àquelas observadas no método convencional (SP News, 2024; Kontogianni *et al.*, 2023).

Embora os efeitos possam variar conforme o tipo de queijo e as condições específicas de maturação, os estudos destacam o potencial da embalagem ativa como recurso tecnológico aplicável a diferentes sistemas de produção e conservação (Chang *et al.*, 2021).

3.6 Paletização na indústria

A paletização é uma prática amplamente utilizada em ambientes industriais com a finalidade de organizar, movimentar e armazenar cargas de maneira padronizada. No setor de alimentos, essa técnica viabiliza o aproveitamento mais eficiente do espaço, padronização dos volumes transportados e integração com sistemas logísticos automatizados, como empilhadeiras e estruturas de armazenamento vertical do tipo *drive-in*. Na indústria de laticínios, seu uso tem sido explorado em conjunto com tecnologias de embalagem, permitindo a maturação de queijos em caixas plásticas empilháveis sobre paletes, o que contribui para a organização dos lotes e facilita a gestão do estoque em câmaras frias (Blackberry Pallet, 2025; Swisslog, 2025).

A utilização de paletização no processo de maturação de queijos está associada à possibilidade de automatização parcial ou total da movimentação interna, promovendo maior eficiência na distribuição dos produtos, redução de esforço físico dos operadores e aumento da segurança operacional. Além disso, essa abordagem pode contribuir para a rastreabilidade dos lotes e para a manutenção de padrões higiênico-sanitários, uma vez que reduz o manuseio direto dos queijos durante o período de estocagem (TopTier, 2025; RP Robotic, 2024).

Estudos apontam que a adoção da paletização em ambientes refrigerados pode resultar na racionalização do espaço físico, na redução de perdas operacionais e na otimização dos fluxos logísticos internos. Esses efeitos são potencializados quando a prática é associada ao uso de embalagens ativas, que dispensam cuidados manuais frequentes como a viragem e a limpeza da superfície dos queijos durante a maturação (DSM-Firmenich, 2025; LPR, 2024).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O queijo Parmesão utilizado no experimento foi produzido com leite pasteurizado em um laticínio do estado de Minas Gerais e foi maturado na mesma unidade produtora. As análises microbiológicas do ambiente (câmaras de maturação) e do produto durante e após o período de maturação foram realizadas no laboratório do laticínio, assim como as análises físico-químicas de gordura, umidade, extrato seco total (EST) e gordura no extrato seco (GES), pH e proteína total. As análises de atividade de água (a_w), cor instrumental, perfil de textura, índices de proteólise e sensorial foram realizadas na Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) Instituto de Laticínios Candido Tostes (ILCT).

4.1 Desenho experimental

Os queijos Parmesão foram produzidos em escala industrial a partir de leite de vaca padronizado com 3,0 % (m/v), seguindo o processo tecnológico tradicional de queijos de massa dura. O leite foi adicionado de cloreto de cálcio e após inoculado com cultura termofílica *Streptococcus thermophilus*, adicionado de coagulante líquido e coagulado a aproximadamente 36 °C, procedendo-se ao corte da coalhada em pequenos grãos com 0,2 a 0,5 cm de aresta, seguido de cozimento até cerca de 52 °C e agitação contínua para favorecer a sinérese. Após a dessoragem, a massa foi enformada, prensada e submetida à salga em salmoura saturada a 21 °C e ~ 23% (m/v) por aproximadamente 7 dias. Posteriormente foi realizada a secagem por 24 horas em temperatura de 10 ± 1 °C. Concluídas essas etapas, os queijos foram divididos em dois tratamentos: queijos sem embalagem, maturados em prateleiras de fibra de vidro resinadas (QSEPT), e queijos embalados em embalagem ativa Pack-Age®, os quais foram dispostos em paletes de polietileno (QCEPL). Ambos os tratamentos foram conduzidos para a câmara de maturação com temperatura média de 12 ± 1 °C e umidade relativa controlada entre 80 e 85%.

O experimento foi realizado em parcelas divididas no tempo, com dois tratamentos: a) queijo maturado em prateleiras e sem embalagem ativa e b) queijos embalados na embalagem ativa Pack-Age® e maturados em paletes. Os queijos dos dois tratamentos foram avaliados em quatro tempos diferentes: 60, 120, 180 e 210 dias de maturação. Nesses tempos de maturação foram coletados, aleatoriamente, um exemplar por período para realização de análises físico-químicas, perfil de textura,

cor instrumental, índices de proteólise dos queijos. O processo de preparo de amostra dos queijos foi realizado segundo Brasil (2006).

Para as análises realizadas dentro do próprio laticínio, as amostras foram retiradas nas câmaras de maturação e levadas ao laboratório interno da unidade; as demais análises realizadas pela EPAMIG ILCT foram levadas em caixa térmica para manutenção da temperatura. Ainda, nas câmaras onde os queijos foram maturados, nos tempos de 60, 120, 180 e 210 dias de maturação dos queijos, foi realizada análise microbiológica para fungos filamentosos e leveduras, controle da temperatura e umidade do ambiente.

4.2 Análises físico-químicas do queijo Parmesão

Em cada período (60, 120, 180 e 210 dias de estocagem refrigerada), os queijos foram analisados em relação aos seguintes parâmetros descritos a seguir.

4.2.1 Teores percentuais de Umidade (g/100g) e Extrato Seco Total (g/100g)

Foram obtidos por método gravimétrico, no qual alíquotas de 5g de queijos foram dessecadas em estufa (102°C ±2°C) procedendo-se a pesagens até peso constante (BRASIL, 2006).

O extrato seco foi obtido através da Equação 1 (*Pereira et al.*, 2001).

$$\%Extrato\ Seco = 100\% - \%Umidade \quad (1)$$

4.2.2 pH

O pH dos queijos foi determinado em solução obtida pela homogeneização de alíquotas de 10 g de queijo em 20 mL de água destilada, utilizando-se medidor de pH acoplado com eletrodo de imersão (*Pereira et al.*, 2001).

4.2.3 Teor percentual de gordura

O teor de gordura das amostras foi medido pelo método de Gerber. Três gramas da amostra foram adicionados a um butirômetro. Após a adição de 10 ml de ácido

sulfúrico (20%) e 1 ml de álcool amílico, o butirômetro foi colocado em banho-maria a 65 °C por 5 minutos. O butirômetro foi então centrifugado a 136 g por 5 minutos. Em seguida, a quantidade de gordura extraída no butirômetro foi calculada em porcentagem (BRASIL, 2006).

4.2.4 Determinação da Gordura no Extrato Seco (GES)

Os teores de gordura total dos queijos foram determinados pelo método butirométrico de Gerber (BRASIL, 2006). O teor de gordura no extrato seco foi determinado de modo indireto, pela Equação 2 (Pereira *et al.*, 2001).

$$\text{Gordura no Extrato Seco (GES)} = \frac{\% \text{gordura}}{\% \text{ES}} \times 100 \quad (2)$$

4.2.5 Teor percentual de resíduo mineral fixo (g/100g)

Foi obtido por incineração de alíquotas de 5 g de queijo em forno tipo mufla a 500°C, procedendo-se às pesagens e cálculo (Pereira *et al.*, 2001).

4.2.6 Teor percentual de cloretos (% m/m NaCl)

Obtido por reação com nitrato de prata e titulação “pelo resto” com tiocianato de potássio (Pereira *et al.*, 2001) (Equação 3).

$$\% \text{NaCl} = \frac{\text{massa NaCl (g)}}{\text{massa da amostra (g)}} \times 100 \quad (3)$$

4.2.7 Atividade de água

Obtida por meio da leitura direta no equipamento Aqualab série 3, marca Decagon, seguindo as instruções do fabricante.

4.2.8 Frações nitrogenadas e índices de proteólise

A determinação dos teores de nitrogênio total (NT), de nitrogênio solúvel em pH 4,6 (NS) e de nitrogênio solúvel em TCA a 12% (NS12) foi realizada pelo método de Kjeldahl (Simax, Pyrexfan) (BRASIL, 2006). Para o cálculo do teor de proteína total do queijo, foi empregado o fator 6,38 para o queijo (Pereira *et al.*, 2001).

O índice de extensão da proteólise (IEP) foi calculado pela relação entre a porcentagem de nitrogênio solúvel em pH 4,6 e a porcentagem de nitrogênio total (Equação 4).

$$IEP = \frac{\%Nitrogênio\ solúvel\ em\ pH\ 4,6}{\%Nitrogênio\ total} \times 100 \quad (4)$$

O índice de profundidade da proteólise (IPP) foi calculado pela relação entre a porcentagem de nitrogênio solúvel em TCA 12% e a porcentagem de nitrogênio total (Equação 5) (Wolfschoon-Pombo; Lima, 1989).

$$IPP = \frac{\%Nitrogênio\ solúvel\ TCA\ 12\%}{\%Nitrogênio\ total} \times 100 \quad (5)$$

4.3 Análise do perfil de textura do queijo

A análise do perfil de textura (TPA) dos queijos foi realizada utilizando-se o Texturômetro CT3 Textura Analyzer (Brookfield, Middleboro, USA). O preparo das amostras foi realizado pela retirada de seis pedaços de 20 mm de aresta em formato de cubo, sendo que não foram utilizados o centro e as bordas das amostras. Os cubos de queijo foram acondicionados em sacos plásticos impermeáveis e mantidos a 12°C em uma BOD, por um período de 1h e 30 min, antecedentes aos testes. No decorrer dos ensaios, as amostras foram comprimidas a 30%, velocidade do teste 1 mm/s, célula de carga de 4500g, por um cone de 30 mm de altura e 60°.

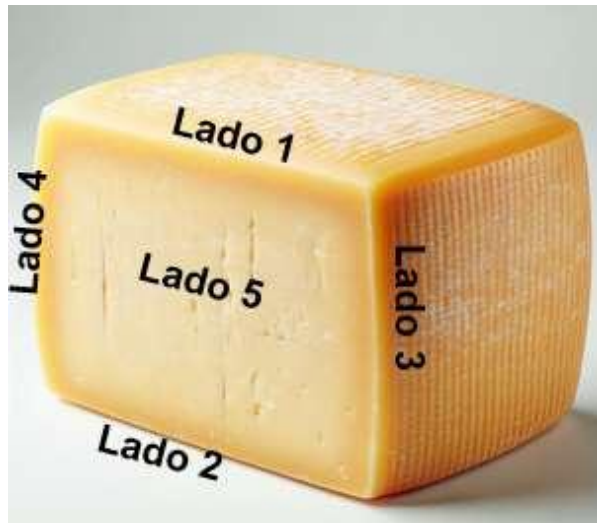
A textura foi determinada instrumentalmente, em sextuplicata, em 60, 120, 180 e 210 dias de maturação do produto. Os parâmetros mensurados foram: dureza, mastigabilidade, elasticidade e coesividade.

4.4 Análise de cor instrumental

Por se tratar de queijos com formatos retangulares, a análise de cor instrumental foi conduzida separando os quatro lados da peça para análise das cascas e do interior sem as cascas (Figura 4). Para avaliar a casca, foi realizada a média dos resultados dos lados 1, 2, 3 e 4, com a leitura direta do queijo no equipamento. Para a análise da parte interior, o queijo foi triturado e colocado na placa de Petri convencional (CM-A128).

As determinações dos parâmetros de cor foram realizadas aos 60, 120, 180 e 210 dias de maturação. A cor dos queijos foi medida pelo sistema CIE $L^*a^*b^*$, utilizando o espectrofotômetro CM-5 (Konika Minolta, Sensing Americas, Inc.), e calibração automática branco/100%. No sistema CIE $L^*a^*b^*$, L^* representa a luminosidade, enquanto as coordenadas a^* e b^* variam de vermelho (+a) a verde (-a) e amarelo (+b) a azul (-b), respectivamente.

Figura 4 - Representação da amostragem de cor instrumental.



Fonte: Da autora (2025).

A refletância foi avaliada na faixa de comprimento de onda de 360 nm a 740 nm, área de medição LAV (diâmetro 30 mm) e componente especular incluído (Gadonski *et al.*, 2018), utilizando máscara alvo para mini placas de Petri CM-A158 e CM-A128 placas de Petri convencionais.

4.5 Análises de perda de peso

Para cálculo de perda de peso (%) foram separadas uma peça de cada lote e de cada tratamento, que foram pesadas aos 7 dias de elaboração e aos 210 dias de maturação, em balança digital. Devido ao tamanho dos lotes e à dificuldade de movimentação mensal desses lotes, não foi possível realizar pesagem mensalmente do lote completo, de forma que foi avaliada apenas uma peça de cada lote.

A perda de peso foi determinada pela pesagem das amostras no início (W_1) e ao longo do período de armazenamento (W_2). A perda de peso das amostras foi mensurada com base na Equação 5.

$$\text{Perda de peso (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (5)$$

onde, W_1 é o peso do queijo na data inicial e W_2 é o peso do queijo na data final (AOAC, 2010).

4.6 Análises microbiológicas dos queijos

Os queijos foram analisados ao final da maturação (180 dias) em cada repetição, de acordo com o exigido pelo Ministério da Agricultura para queijos de baixa umidade (BRASIL, 1996). As análises microbiológicas estão descritas a seguir.

Os resultados das análises foram comparados com os requisitos microbiológicos para queijos especificados na RDC nº 146 do MAPA (BRASIL, 1996). Essas análises foram realizadas para verificação da qualidade microbiológica dos queijos, para posterior, realização da análise sensorial, de acordo com o aprovado pelo Comitê de Ética.

4.6.1 Fungos Filamentosos e Leveduras

Foi realizada contagem em placas esterilizadas, em solução acidificada (pH 3,5) de ágar batata glicose 2%, incubadas a 25 °C por 5 a 7 dias (BRASIL, 2003). O resultado foi expresso em UFC/g.

4.6.2 Coliformes totais e termotolerantes

Para contagem de coliformes totais foi realizada a contagem em placas de Petri, esterilizadas e incubadas a 36 °C por 18 a 24 horas em estufa (BRASIL, 2003). Já para contagem de coliformes termotolerantes foi realizada em ágar vermelho violeta bile (VRB, Merck; Silva *et al.*, 1997), segundo metodologia descrita pelo fabricante.

4.6.3 Contagem de *Staphylococcus aureus*

Para a análise de *Staphylococcus aureus*, as diluições foram plaqueadas em Petrifilm™ Staph Express (STX) 3M, NM-USA (AOAC, 1997; Método para Contagem de *Staphylococcus aureus* em Laticínios). As placas foram incubadas em estufa a 37°C e, após 48 horas, foram observadas e contadas as colônias vermelho-violetas. Em casos de colônias suspeitas, utilizou-se o disco reativo Petrifilm™ 3M - Staph Express para confirmação da espécie. Adotou-se a metodologia descrita pelo fabricante. Calculou-se a população, e os resultados foram expressos em unidades formadoras (UFC/g).

4.6.4 *Salmonella sp.*

Foi homogeneizado 25 g de queijo em 225 mL de solução salina peptonada 1% tamponada (APT) e incubado 36°C ± 1°C/16-20h, posteriormente, 1 mL e 0,1 mL foram transferidos do pré-aquecimento para tubos contendo 9 mL de caldo Selenito Cistina e caldo Rappaport-Vassiliadis, respectivamente, e incubados a 41 ± 0,5°C em banho-maria com movimentação. Após 24h foram realizados repiques em ágar manitol lisina cristalvioleta verde bile (MLCB) e ágar vermelho de fenol lactose sacarose (BPLS), com novobiocina, e incubados a 36°C ± 1°C/18-24h (BRASIL, 2003).

4.6.5 *Listeria monocytogenes*

Foi homogeneizado 25 g de queijo em 225 mL de caudo UVM e incubado a 30 ± 1°C por 24 horas. Após a incubação, foi transferido 0,1 mL da cultura para tubo contendo 10mL de caldo Fraser. Utilizando alça de platina de 5 mm de diâmetro, foi

repicado caldo Fraser para placas secas contendo AO suplementado e placas secas contendo AP suplementado e incubadas, as placas de ATN a $30 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas e as placas de AP na mesma temperatura, por 24 a 48 horas (BRASIL, 2003).

4.7 Análise do ambiente de maturação

A análise do ambiente de maturação foi realizada mensalmente, para avaliar o nível de contaminação do ambiente. A Figura 5 representa o formulário que foi preenchido para a coleta dos dados.

A temperatura das câmaras de maturação foi medida por termômetro digital em escala de graus Celsius, exportada digitalmente gerando gráfico com os resultados. Já a análise de umidade relativa do ar foi realizada por termo higrômetro indicando o valor pela escala de referência.

Figura 5 - Formulário para preenchimento dos dados de umidade e temperatura das câmaras de maturação.

Tempo (dias)	Repetição	Umidade (%)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)
60 Data: _____	1		
	2		
	3		
	4		
120 Data: _____	1		
	2		
	3		
	4		
180 Data: _____	1		
	2		
	3		
	4		
210 Data: _____	1		
	2		
	3		
	4		

Fonte: Da autora (2025).

Também foi realizada a análise de fungos filamentosos e leveduras nas câmaras de maturação, ao final do período de maturação (210 dias), segundo metodologia de inoculação por superfície seguindo o método de análise IDF 94 ISO 661.

4.8 Análise sensorial

Após a aprovação do Comitê de Ética (CAAE nº 79651124.8.0000.5103), foi realizado um teste de aceitação, com 120 provadores não treinados, utilizando uma escala hedônica de nove pontos para os atributos aparência, aroma, sabor, textura e impressão global, segundo a Figura 6 (Dutcosky, 2013).

A análise sensorial foi realizada após os 180 dias de fabricação, quando o produto é considerado queijo Parmesão segundo a legislação. As análises ocorreram no laboratório do ILCT com julgadores não treinados. Os testes foram realizados em cabines individuais, sob luz branca, após 180 dias de maturação. O queijo foi servido acompanhado de um copo de água mineral para a limpeza do palato, entre uma amostra e outra. As amostras foram apresentadas codificadas com 3 números aleatórios de forma monádica. As respostas dos provadores foram transformadas em valores numéricos para análise estatística dos resultados.

Figura 6 - Modelo da ficha-resposta do teste de aceitação (escala hedônica de nove pontos) para o queijo Parmesão.

Ficha de avaliação sensorial					
Nome: _____ Idade: _____					
Data: _____					
1) Quanto você gostou ou desgostou de cada amostra? De modo geral, por favor indique o quanto você gostou ou desgostou, utilizando a escala hedônica abaixo:					
9 – Gostei extremamente (Adorei)					
8 - Gostei muito					
7 - Gostei moderadamente					
6 - Gostei ligeiramente					
5 - Nem gostei/Nem desgostei					
4 - Desgostei ligeiramente					
3 - Desgostei moderadamente					
2 - Desgostei muito					
1 - Desgostei extremamente (Detestei)					
Amostra	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Impressão Global

Fonte: Da autora (2025).

4.9 Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas no tempo, considerando o tratamento como fator principal (com e sem embalagem ativa) e o tempo de maturação como subfator (0, 60, 120, 180 e 210 dias). Para a análise sensorial, conduzida apenas aos 180 dias, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados. Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk por meio do pacote ExpDes.pt (Ferreira *et al.*, 2021) do software R (R Core Team, 2025). Os dados que apresentaram uma distribuição normal foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de médias de Tukey, com nível de significância de 5% ($P < 0,05$), por meio do software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2019). Para os casos em que foi detectada violação da normalidade ($P < 0,05$), foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis para o tempo e tratamento. Posteriormente para a análise do tempo de maturação foi realizada a comparação múltipla pelo teste de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner pelo *software* The Jamovi Project (2024) e R Core Team (2025).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises físico-químicas do queijo Parmesão

5.1.1 Teor de umidade

Para a umidade (%), o tratamento, o tempo e a interação entre tratamento e tempo apresentaram diferença significativa ($P < 0,05$). Os resultados das análises de umidade do queijo Parmesão ao longo da maturação para as duas condições de armazenamento: queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Teor de umidade (% m/m) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
QSEPT	35,71 $\pm$ 0,58 ^{bA}	33,54 $\pm$ 0,53 ^{bB}	32,19 $\pm$ 0,4 ^{bC}	30,07 $\pm$ 0,45 ^{bD}
QCEPL	37,39 $\pm$ 0,29 ^{aA}	34,70 $\pm$ 0,33 ^{aB}	34,68 $\pm$ 0,6 ^{aB}	33,81 $\pm$ 1,40 ^{aC}

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem significativamente entre os tratamentos ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

Para o tratamento, as amostras de queijo com embalagem e paletizadas (QCEPL) apresentaram maior umidade (34,64% $\pm$ 0,66) do que a amostra sem embalagem maturada em prateleira (QSEPT) (32,87% $\pm$ 0,49), fato que pode ser explicado pela função de “barreira” exercida pela embalagem, retendo a umidade do queijo e, conseqüentemente, apresentando maior teor de umidade mesmo após 210 dias de maturação. Dentre as tecnologias mais recentes na produção de queijos e leite fermentado, incluindo modificações nos processos de produção de queijo e processos de maturação modificados, as embalagens ativas são destacadas como uma solução eficaz para manter a qualidade do queijo durante a maturação. A embalagem ativa Pack-Age® ajuda a reduzir a perda de queijo durante a maturação e processamento (Nájera *et al.*, 2024). No entanto, quando o queijo é maturado sem

embalagem, ocorre a redução da umidade que pode ser associada à compactação da microestrutura do queijo e à evaporação da água na superfície (Barros *et al.*, 2011a).

Em relação ao tempo de maturação, houve uma redução da umidade nos dois tratamentos. O tratamento QSEPT apresentou uma maior redução da umidade ao longo do tempo do que o QCEPL. Os valores de umidade das amostras de queijo encontram-se dentro dos limites da legislação (até 35,9% de umidade) após 120 dias de maturação nos dois tratamentos (BRASIL, 1996).

O mesmo perfil de queda da umidade foi observado por Barros *et al.* (2011a), em queijo Parmesão durante 180 dias de maturação. No final da maturação, a matriz de caseína apresentava-se densa e compacta, devido à redução da umidade que causou uma compactação na estrutura do queijo.

Dalla Rosa, Tavares e Silva (2008) observaram que a umidade do queijo Serrano diminuiu ao longo do tempo de maturação, o que é consistente com os resultados do presente estudo. A redução da umidade foi associada à compactação da microestrutura do queijo e à evaporação da água na superfície, similar ao observado por Barros *et al.* (2011a).

5.1.2 Teor de cloretos

Para o teor de cloretos (%) houve diferença significativa para o tratamento, o tempo e a interação tratamento e tempo ($P < 0,05$). Os resultados das análises de cloretos do queijo Parmesão ao longo da maturação para as duas condições de armazenamento (QSEPT e QCEPL) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de cloretos (% m/m) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
QSEPT	1,62 $\pm$ 0,11 ^{aBC}	1,53 $\pm$ 0,18 ^{aC}	2,01 $\pm$ 0,2 ^{aA}	1,77 $\pm$ 0,07 ^{aB}
QCEPL	1,61 $\pm$ 0,12 ^{aA}	1,41 $\pm$ 0,15 ^{aB}	1,62 $\pm$ 0,16 ^{bA}	1,64 $\pm$ 0,23 ^{bA}

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem significativamente entre os tratamentos ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

Ao avaliar a diferença entre os tratamentos (Tabela 2), o QCEPL apresentou menor teor de cloreto ($1,21\% \pm 0,17$) do que o QSEPT ($1,73\% \pm 0,14$). Apesar das oscilações do teor de cloretos durante o tempo de armazenamento, notou-se que em 210 dias, para ambos os tratamentos, os teores de cloreto foram maiores ($1,77\% \pm 0,07$ e $1,64\% \pm 0,23$; QSEPT e QCEPL, respectivamente), consequência do processo de desidratação, no qual a umidade perdida faz com que a concentração de cloreto seja maior. Ainda, foi possível perceber que os queijos sem embalagem (QSEPT) apresentaram maiores teores de cloreto, quando comparados aos queijos embalados (QCEPL), reforçando a função “barreira” da embalagem e corroborando os resultados de umidade, apresentados no item anterior.

O mesmo perfil foi encontrado por Franco, Bargiela e Tovar (2023), ao avaliarem o efeito da embalagem a vácuo em queijo espanhol durante o armazenamento. Os autores confirmaram a importância da embalagem a vácuo na preservação do teor de umidade dos queijos e, consequentemente, na manutenção de seus parâmetros físico-químicos e sensoriais. A qualidade final do queijo é amplamente determinada pela concentração de teor de sal, mais especificamente, pelo teor de cloreto na umidade devido à influência no desenvolvimento de bactérias lácticas, atividade enzimática e relações bioquímicas durante a maturação (Franco; Bargiela; Tovar, 2023).

Viotto (2009) em estudo sobre a maturação de queijos Prato, observou que a embalagem a vácuo ajudou a manter a estabilidade do teor de cloretos durante o armazenamento, com valores variando de 1,2% a 1,8%. Esses resultados são consistentes com os encontrados neste estudo, onde a embalagem a vácuo (QCEPL) ajudou a manter teores mais estáveis de cloretos.

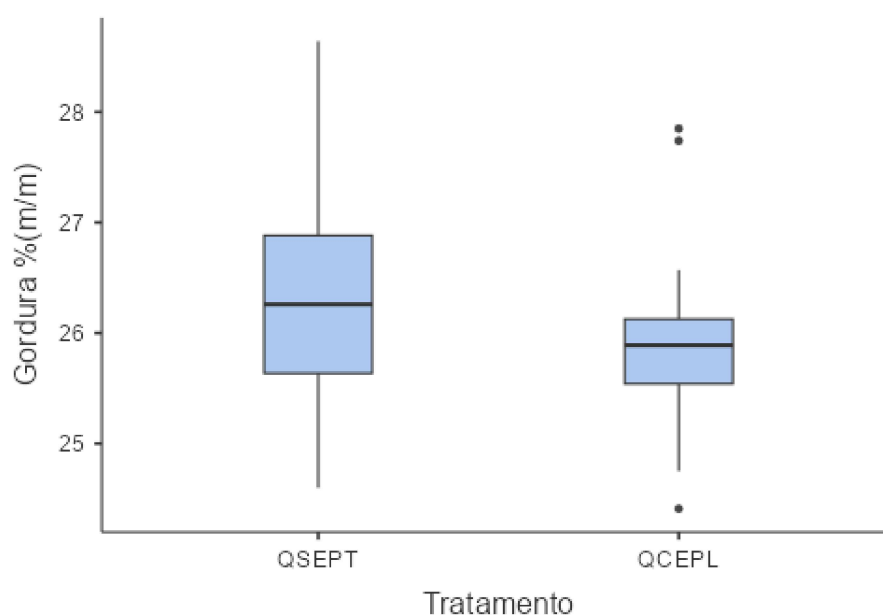
5.1.3 Teor de gordura

O teor de gordura (%) foi avaliado quanto à normalidade por meio do teste de Shapiro-Wilk, sendo observada distribuição não normal. Em função disso, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, apropriado para comparações não paramétricas.

Foi observada diferença significativa entre os tratamentos ($P < 0,05$) com valores maiores para o tratamento QSPET como apresentado na Figura 7. O teor de gordura apresentou diferença significativa entre os tratamentos, com valores mais elevados para o queijo maturado em prateleira sem embalagem (QSEPT). Esse

resultado pode estar associado à perda de umidade mais acentuada nesse tratamento, uma vez que a embalagem ativa utilizada no QCEPL atua como barreira semipermeável, reduzindo a evaporação de água. Dessa forma, nos queijos QSEPT ocorre maior concentração relativa de sólidos, incluindo lipídios, elevando proporcionalmente o teor de gordura expresso em porcentagem do peso total do queijo.

Figura 7 - Teor de gordura (%) dos queijos Parmesão em cada tratamento (QSEPT e QCEPL).

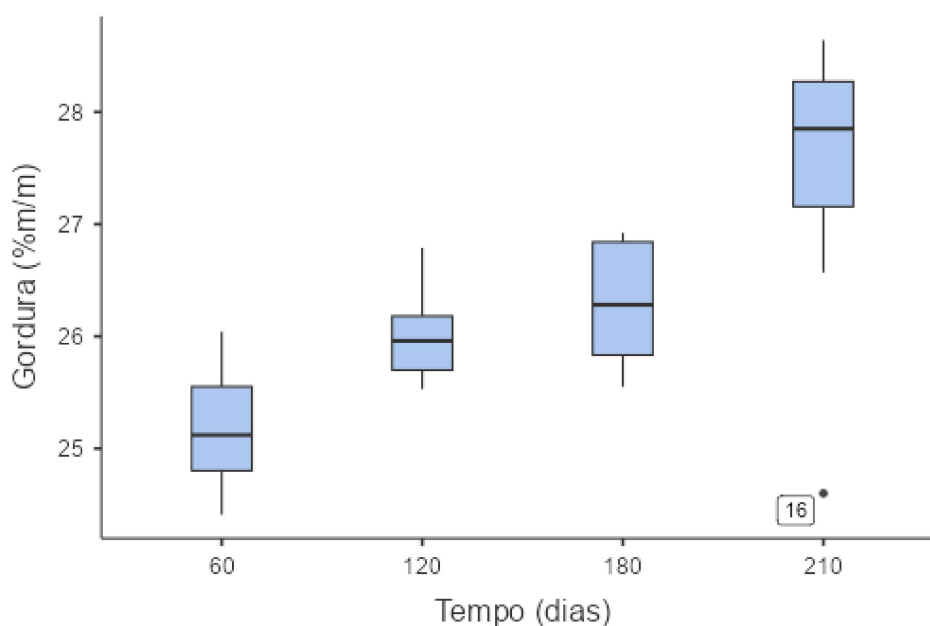


Fonte: Da autora (2025).

Com relação ao tempo houve diferença significativa entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), como apresentado na Figura 8.

Em relação ao tempo de maturação, observou-se aumento significativo do teor de gordura entre 60 e 210 dias, efeito atribuído à redução progressiva da umidade e consequente concentração dos sólidos totais, especialmente de gordura e proteína. No entanto, como não foram verificadas diferenças significativas no teor de proteína entre os tratamentos, a alteração ficou mais evidente para a gordura, reforçando o efeito da perda de água sobre esse parâmetro.

Figura 8 - Teor de gordura (%) dos queijos Parmesão ao longo da maturação (QSEPT e QCEPL).



Fonte: Da autora (2025).

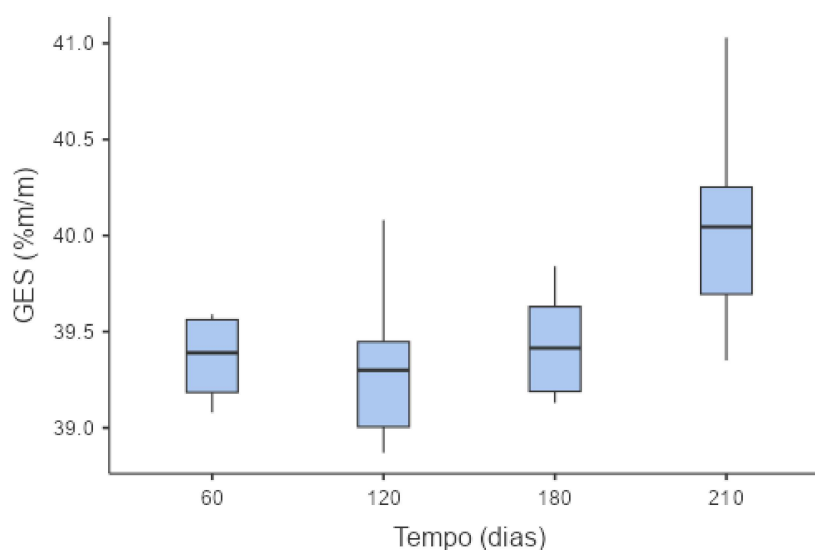
Além do aspecto composicional, alterações microestruturais típicas da maturação também podem contribuir para esse comportamento. Estudos demonstram que, ao longo da maturação, a matriz proteica do queijo tende a se tornar mais compacta, enquanto os glóbulos de gordura sofrem redistribuição e redução de tamanho, passando a se incorporar de forma mais homogênea à matriz (Gonçalves, 2019). Em queijos de cabra, observou-se que as cavidades da matriz diminuem e as micelas perdem suas características globulares com o avanço da maturação, evidenciando reorganização estrutural associada à proteólise (Burgos *et al.*, 2016). De forma complementar, já foi descrito que a matriz proteica atua como suporte para glóbulos de gordura de diferentes formas e tamanhos, e que mudanças na composição lipídica afetam diretamente essa organização estrutural (Mistry *et al.*, 2000).

5.1.4 Gordura no extrato seco (GES)

O teor de gordura no extrato seco (GES) não apresentou distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk. Dessa forma, optou-se pela aplicação do teste de Kruskal-Wallis. Observou-se que não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os

tratamentos. A mediana e o desvio padrão dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e com embalagem ativa e paletização (QCEPL), foram respectivamente $39,4 \pm 0,55$ e $39,5 \pm 0,37$. No entanto, o fator tempo apresentou efeito significativo ($P < 0,05$), como apresentado na Figura 9.

Figura 9 - GES (% m/v) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e com embalagem ativa e paletização (QCEPL) ao longo tempo de maturação.



Fonte: Da autora (2025).

No teste de comparação múltipla houve diferença significativa apenas entre o tempo 60 e 210 dias com aumento do GES ao final da maturação. Esse comportamento é esperado em queijos duros e pode ser explicado pela redução gradual do teor de umidade, levando à concentração relativa dos sólidos na matriz, sem alteração substancial no conteúdo absoluto de lipídios. Estudos com Parmigiano Reggiano e Grana Padano, conduzidos por D’Incecco *et al.* (2020) e Hailu *et al.* (2016), apontam que o GES tende a permanecer estável durante boa parte da maturação, apresentando incremento em fases mais avançadas, em função da compactação da matriz proteica e consequente redução da água disponível.

Sob o ponto de vista legal, a Instrução Normativa MAPA nº 146/1996 determina que queijos duros devem apresentar no mínimo 32% de GES. Todos os valores médios obtidos neste estudo, independentemente do tratamento e do tempo, superaram amplamente esse limite, situando-se na faixa de 39,4% a 39,5%. Esse

resultado confirma a conformidade com a legislação vigente, aspecto fundamental para a padronização industrial e a comercialização do produto no mercado interno.

Do ponto de vista físico-químico, a elevação observada no decorrer da maturação pode estar associada a fenômenos como a redistribuição da gordura na matriz proteica e a formação de microcristais lipídicos, conforme descrito por Zheng *et al.* (2021). Adicionalmente, a redução da atividade de água, característica desse tipo de queijo, contribui para a concentração dos componentes insolúveis (Fox *et al.*, 2017). Segundo Gallo *et al.* (2023), esse comportamento é típico de queijos de longa maturação, desde que mantidas condições adequadas de temperatura e umidade, independentemente do sistema de acondicionamento adotado.

Em síntese, os resultados obtidos indicam que o GES se manteve dentro dos padrões de identidade e qualidade estabelecidos pela legislação brasileira, apresentando evolução compatível com a literatura científica para queijos duros de longa maturação.

5.1.5 Proteína

Para o teor de proteína (%), os dados apresentaram distribuição normal e foram analisados por ANOVA, seguido do teste de Tukey com nível de significância de 5%. Os resultados demonstraram que não houve diferença significativa entre os tratamentos ($P > 0,05$), com valores médios de $29,34\% \pm 1,20$ para o QCEPL (queijos com embalagem ativa maturados em palete) e $30,48\% \pm 1,64$ para o QSEPT (queijos sem embalagem maturados em prateleira). Por outro lado, observou-se diferença significativa para o fator tempo ($P < 0,05$). Além disso, foi identificada interação significativa entre tratamento e tempo de maturação ($P < 0,05$), indicando que os efeitos dos tratamentos variaram ao longo do tempo. Os valores médios de proteína ao longo dos 210 dias de maturação, com seus respectivos desvios padrão, estão apresentados na Tabela 3.

A maior concentração de proteína foi observada no tratamento QSEPT aos 120 dias, com $33,73\% \pm 2,49$, valor significativamente superior aos demais tempos do mesmo tratamento. Já no QCEPL, não houve variação significativa ao longo da maturação, mantendo valores médios estáveis em todos os tempos avaliados. Comparando os tratamentos em cada tempo, o QSEPT apresentou maiores teores de

proteína em 60, 120 e 210 dias, enquanto o QCEPL superou o QSEPT apenas aos 180 dias.

Tabela 3 - Teor de proteína (%m/m) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijo com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
QSEPT	30,36 $\pm$ 0,47 ^{aB}	33,73 $\pm$ 2,49 ^{aA}	28,47 $\pm$ 2,2 ^{bB}	29,39 $\pm$ 1,39 ^{aB}
QCEPL	29,26 $\pm$ 0,91 ^{aA}	28,99 $\pm$ 2,53 ^{bA}	30,77 $\pm$ 0,89 ^{aA}	28,34 $\pm$ 0,46 ^{aA}

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem significativamente entre os tratamentos ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

Estudos prévios relatam comportamento semelhante. Barros *et al.* (2011a) identificaram teores de proteína variando entre 28,78% e 30,68% em queijos Parmesão maturados por 180 dias, valores compatíveis com os observados no presente estudo. Resultados de Silva, Oliveira e Santos (2015) também apontam variações no teor de proteína de queijos Parmesão produzidos no Brasil, com valores entre 28% e 32%, destacando o papel do manejo e da origem do leite na composição final do produto.

Oliveira *et al.* (2018) verificaram estabilidade no teor de proteína até os 120 dias de maturação, com oscilações posteriores, o que corrobora o padrão encontrado para o QSEPT. Tais variações podem estar associadas à perda de umidade durante a maturação e à consequente concentração dos sólidos, mas também podem refletir mudanças estruturais na matriz de caseína, especialmente em tratamentos com embalagem ativa, como discutido por Wu *et al.* (2023) e Kim *et al.* (2022), que observaram influência do ambiente de maturação na redistribuição dos componentes nitrogenados no interior do queijo.

Assim, os resultados indicam que, embora o tipo de embalagem ativa não tenha promovido alterações significativas no teor médio de proteína, o tempo de maturação foi determinante para variações em ambos os tratamentos, com destaque para o observado aos 120 dias no QSEPT.

5.1.6 Atividade de água

Em relação à atividade de água (A_w), não foi observada diferença significativa ($P > 0,05$) entre os tratamentos nem na interação entre tratamento e tempo. Os valores médios encontrados foram de $0,9298 \pm 0,0136$ para os queijos embalados e maturados em palete (QCEPL) e $0,9196 \pm 0,0091$ para os queijos sem embalagem maturados em prateleira (QSEPT). Houve diferença significativa ($P < 0,05$) apenas ao longo do tempo, com decréscimo entre 60 e 120 dias, seguido de um novo aumento aos 210 dias de maturação (Tabela 4).

Tabela 4 - Atividade de água dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
Médias	$0,932 \pm 0,010^a$	$0,915 \pm 0,008^b$	$0,920 \pm 0,003^b$	$0,933 \pm 0,002^a$

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

Esse comportamento ao longo da maturação reflete alterações físico-químicas naturais do queijo parmesão. A redução inicial da A_w pode estar associada à perda de umidade pela matriz do queijo e à ação do sal, que exerce efeito higroscópico e limita a atividade microbiana. Contudo, o subsequente aumento da A_w a partir de 180 dias pode ser justificado pela reorganização da estrutura proteica e pela liberação de água ligada durante processos de proteólise e degradação da matriz, como apontado por Hickey *et al.* (2013)

Estudos indicam que, durante a maturação prolongada, as alterações microestruturais nos queijos duros, como a formação de canais e porosidades, favorecem a redistribuição da água, afetando os valores de A_w mesmo em produtos com baixa umidade (Petrovic *et al.*, 2021). Essa flutuação é esperada em queijos de longa cura como o parmesão, cuja A_w típica situa-se entre 0,91 e 0,96, valores compatíveis com os resultados deste estudo (Lucey; González, 2020).

A comparação com dados anteriores de Barros *et al.* (2011a), que relataram valores entre 0,975 e 0,979 a 180 dias, demonstra variação entre lotes e métodos produtivos. A baixa A_w observada neste trabalho reforça o perfil tecnológico desejável

do parmesão, contribuindo para sua segurança microbiológica e estabilidade durante a estocagem. A ausência de diferença entre tratamentos sugere que o tipo de embalagem não influenciou significativamente a A_w , sendo o tempo de maturação o principal fator de modulação dessa variável.

5.1.7 pH

Em relação ao pH, não houve diferença ($P > 0,05$) para o tratamento e para interação tratamento X tempo. Os valores encontrados para QCEPL e o QSEPT foram de $5,58 \pm 0,11$ e $5,57 \pm 0,10$, respectivamente. Os valores de pH não apresentam diferença em diferentes condições de maturação, pois os fatores que afetam o pH são intrínsecos a matriz do queijo e a atividade microbiana. O pH é afetado principalmente por fatores bioquímicos como acidificação inicial com a fermentação da lactose e o processo de glicólise (Bansal; Veena, 2024).

Houve diferença significativa apenas no tempo ($P < 0,05$). A Tabela 5 apresenta os resultados do pH dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação.

Tabela 5 - pH dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
Médias	$5,64 \pm 0,08^a$	$5,59 \pm 0,02^a$	$5,46 \pm 0,13^b$	$5,62 \pm 0,05^a$

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

O pH é uma variável intrínseca de alta relevância na qualidade microbiológica e sensorial dos queijos, influenciando desde a textura e o sabor até a estabilidade frente à contaminação microbiana (Checci, 2003; Fox *et al.*, 2017). Nos queijos de massa dura como o Parmesão, a acidificação inicial, decorrente da fermentação da lactose em ácido lático por bactérias lácticas, ocorre nos estágios iniciais da maturação, resultando na queda de pH para a faixa de 5,2 a 5,5. Após essa fase, a maior parte

da lactose já foi metabolizada, e a estabilidade do pH tenderia a se manter, o que não ocorreu de forma linear neste estudo.

A redução do pH até 180 dias pode ser explicada por mecanismos bioquímicos secundários, como a liberação contínua de ácidos orgânicos durante a proteólise e lipólise, mesmo após a depleção da lactose (McSweeney, 2004; López-Castro *et al.*, 2022). As enzimas proteolíticas, tanto de origem microbiana quanto endógena, atuam sobre a caseína liberando peptídeos e aminoácidos livres, alguns dos quais podem ser desaminados, produzindo compostos ácidos que ainda influenciam o pH.

Além disso, a atividade de bactérias não lácticas, como microrganismos secundários da maturação, pode contribuir para esse efeito ao degradar compostos nitrogenados e lipídicos, gerando metabólitos ácidos. Outro fator importante é a difusão de íons e a redistribuição da água na matriz do queijo, que podem alterar o microambiente interno e influenciar a capacidade tamponante local (Fox *et al.*, 2017; Gagnaire *et al.*, 2011).

O posterior aumento do pH aos 210 dias pode estar associado à liberação de compostos básicos, como aminas biogênicas, oriundas da descarboxilação de aminoácidos. Tais compostos elevam o pH e são frequentemente detectados em queijos de longa maturação (Natrella *et al.*, 2024). Esse aumento pode também refletir a redução da atividade enzimática e microbiana com o tempo, resultando em menor produção de ácidos, além do efeito tamponante promovido pela acumulação de produtos da proteólise.

Dessa forma, os resultados indicam que, embora a lactose já esteja majoritariamente ausente após os primeiros dias de cura, o pH segue oscilando ao longo da maturação devido a processos bioquímicos dinâmicos que envolvem a degradação proteica e lipídica, a liberação de metabólitos ácidos e básicos, e mudanças na estrutura física do queijo.

5.1.8 Índice de extensão da proteólise

O índice de extensão da proteólise (%IEP) é uma medida importante no processo de maturação de queijos, pois avalia a quantidade de substâncias nitrogenadas solúveis acumuladas ao longo do tempo. Essas substâncias resultam da degradação da caseína, uma das principais proteínas do leite, pelas enzimas

presentes no coalho e outras enzimas liberadas por microrganismos durante o processo de maturação (Barros *et al.*, 2011a).

Não houve diferença ($P > 0,05$) para o tratamento e para interação tratamento X tempo. Os valores encontrados para QCEPL e o QSEPT foram respectivamente, de $13,63\% \pm 2,51$ e $14,69\% \pm 2,94$. Houve diferença apenas no tempo ($P < 0,05$), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Índice de extensão de proteólise (%) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em paleta (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
Médias	$11,35 \pm 0,62^a$	$13,36 \pm 0,96^a$	$15,03 \pm 2,53^b$	$16,81 \pm 1,06^a$

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

De acordo com a Tabela 6 é possível observar valores crescentes de IEP com o tempo de maturação. O mesmo perfil de aumento do IEP em queijos foi encontrado por outros autores (Moreira, 2018; Barros *et al.*, 2011a), que estudaram a caracterização do queijo Parmesão e encontraram resultados que indicam que houve liberação gradativa de nitrogênio solúvel em pH 4,6, durante a maturação, em decorrência da proteólise, sendo os maiores valores de índice de extensão registrados após 30 dias ($5,69\% \pm 0,01$) e após 180 dias ($19,70\% \pm 0,30$).

A ausência de diferença significativa no índice de extensão da proteólise (IEP) entre queijos Parmesão maturados com e sem embalagem pode ser explicada por alguns fatores que influenciam a proteólise de maneira semelhante, independentemente da presença da embalagem. Entre esses fatores, destaca-se a atividade enzimática, uma vez que a proteólise em queijos é principalmente conduzida por enzimas do coalho e enzimas microbianas. Estudos mostram que essas enzimas podem atuar de maneira semelhante em queijos embalados e não embalados, desde que as condições de maturação, como temperatura, umidade e tempo, sejam controladas de forma consistente (McSweeney; Sousa, 2000). Outro fator relevante é a microbiota natural do queijo, que inclui bactérias lácticas e outros microrganismos. A embalagem pode não afetar significativamente a atividade dessas bactérias,

especialmente se for permeável ao ar ou se o queijo for maturado em condições que permitam a troca de gases (Fox *et al.*, 2017), como ocorre com o sistema Pack-Age®, que possibilita essa interação entre o produto e a embalagem. Além disso, as condições de maturação, como temperatura e umidade relativa do ar, quando mantidas constantes para ambos os tipos de queijo (com e sem embalagem), tendem a resultar em taxas semelhantes de proteólise.

A embalagem, por sua vez, pode proteger contra contaminações externas sem afetar a atividade enzimática interna (Cunha *et al.*, 2006). Esses fatores, em conjunto, ajudam a explicar por que não houve diferença significativa no IEP entre os queijos Parmesão maturados com e sem embalagem, evidenciando que, embora possa oferecer proteção física e microbiológica, a embalagem não necessariamente altera os processos bioquímicos internos responsáveis pela proteólise.

5.1.9 Índice de profundidade da proteólise

O índice de profundidade da proteólise (IPP) expressa o acúmulo de compostos nitrogenados de baixa massa molecular, como pequenos peptídeos e aminoácidos livres, provenientes da quebra das frações proteicas durante a maturação do queijo (McSweeney, 2004; Fox *et al.*, 2017). Tais compostos desempenham papel fundamental no desenvolvimento do sabor, aroma e textura característicos dos queijos maturados. Houve diferença significativa ($P < 0,05$) para o fator tratamento enquanto a interação entre esses fatores não foi significativa ($P > 0,05$).

A média geral do tratamento com embalagem ativa (QCEPL) foi $10,81\% \pm 2,32$, significativamente superior à média do tratamento sem embalagem (QSEPT), que foi de $10,06\% \pm 3,19$. Esses resultados indicam que a embalagem ativa favoreceu a formação de compostos nitrogenados de baixa massa molecular, intensificando a ação proteolítica.

O maior valor do IPP no tratamento QCEPL pode estar associada à manutenção de condições mais estáveis de umidade e atmosfera modificada proporcionadas pela embalagem, o que reduz a perda de umidade e limita a oxidação da superfície do queijo. Esse ambiente controlado favorece a atividade enzimática interna, incluindo as peptidases microbianas responsáveis pela degradação de proteínas em frações menores (Deshwal; Panjagari, 2021b;).

Além disso, a embalagem ativa, como o sistema Pack-Age®, permite a troca seletiva de gases, equilibrando as concentrações de oxigênio e dióxido de carbono. Isso pode favorecer a sobrevivência e atuação de bactérias lácticas e enzimáticas endógenas sem estimular crescimento indesejado de micro-organismos aeróbios, o que contribui para uma proteólise mais eficiente e contínua ao longo da maturação (Fox *et al.*, 2017; Singh *et al.*, 2022).

Quanto ao tempo de maturação, houve diferença significativa ($P < 0,05$). Os resultados obtidos para o IPP estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Índice de profundidade de proteólise (%) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e Queijo com embalagem e maturado em paleta (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
Médias	7,48 $\pm$ 1,25 ^a	9,76 $\pm$ 01,04 ^a	11,25 $\pm$ 1,79 ^b	13,27 $\pm$ 1,81 ^a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

O aumento do IPP ao longo do tempo é esperado, pois a maturação prolongada favorece a liberação contínua de aminoácidos e pequenos peptídeos que intensifica o sabor, mas também melhora a textura e a percepção sensorial do produto final (Papetti *et al.*, 2020).

A ausência de interação significativa entre tratamento e tempo sugere que os efeitos da embalagem ativa e do tempo de cura são aditivos e não interdependentes, ou seja, ambos contribuem separadamente para o aumento do IPP, sem que um potencialize diretamente o outro.

5.2 Análises do perfil de textura

5.2.1 Coesividade

Para a coesividade (adimensional), não houve diferença significativa para tratamento, tempo e interação tratamento X tempo ($P < 0,05$). A coesividade é a quantidade de deformação sofrida por um material antes da ruptura ao ser mordido completamente usando molares, ou a medida na qual a massa mastigada se mantém

unida na boca (Fox *et al.*, 2017). As análises de coesividade do queijo Parmesão ao longo da maturação apresentaram médias para as condições de armazenamento QSEPT de $0,65 \pm 0,03$ e QCEPL de $0,66 \pm 0,02$. Os resultados médios ao longo do tempo de coesividade (adimensional) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijo com embalagem e maturado em paleta (QCEPL) estão representados na Tabela 8.

Tabela 8 - Coesividade (adimensional)) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e Queijo com embalagem e maturado em paleta (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
Médias	$0,66 \pm 0,01^a$	$0,66 \pm 0,03^a$	$0,64 \pm 0,04^a$	$0,64 \pm 0,03^a$

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

Ao avaliar queijo Minas artesanal, Souza (2022) encontrou resultados semelhantes para os queijos maturados com e sem embalagem ativa, não apresentando diferença significativa em relação à coesividade. Concordando com o estudo, uma vez que a coesividade é afetada principalmente pela microestrutura dos queijos.

5.2.2 Elasticidade

A elasticidade é definida como o grau de recuperação da deformação causada entre o final da primeira compressão e o início da segunda compressão em um pedaço de queijo (Fox *et al.*, 2017; Foegeding; Drake, 2007).

Para elasticidade (mm) não houve diferença significativa ($P > 0,05$) para o tratamento e para o tempo. Os resultados das análises de elasticidade do queijo Parmesão ao longo da maturação para as duas condições de armazenamento foram QSEPT ($5,08 \text{ mm} \pm 0,52$) e QCEPL ($4,84 \text{ mm} \pm 0,55$). Apenas foi observada diferença significativa para a interação tratamento X tempo ($P < 0,05$) que está apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 - Elasticidade dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
QSEPT	5,33 $\pm$ 0,80 ^{aAB}	4,52 $\pm$ 0,24 ^{aB}	6,11 $\pm$ 0,71 ^{aA}	4,37 $\pm$ 0,32 ^{aB}
QCEPL	5,22 $\pm$ 0,85 ^{aA}	4,89 $\pm$ 0,22 ^{aA}	4,57 $\pm$ 0,65 ^{bA}	4,68 $\pm$ 0,46 ^{aA}

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem significativamente entre os tratamentos ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

Problemas de textura e perda progressiva de elasticidade estão relacionados com a ação proteolítica em queijos e variações no teor de umidade e gordura (Kindstedt *et al.*, 2010; Fox; McSweeney, 1996; Foegeding; Drake, 2007). Fato esses que corroboram com o presente trabalho, uma vez que os queijos maturados com e sem embalagem ativa apresentam diferenças na elasticidade ao longo do tempo pois também apresentam diferenças para a umidade e gordura, índices que podem levar a alterações de elasticidade do queijo.

5.2.3 Mastigabilidade

A mastigabilidade é a quantidade de trabalho necessária para mastigar uma amostra sólida até o ponto de engoli-la, sendo relacionada com a dureza, a coesividade e a elasticidade (Foegeding; Drake, 2007).

Para mastigabilidade (N), foi observada diferença significativa para o tempo e para a interação tratamento X tempo ($P < 0,05$) que estão apresentados na Tabela 10. Para o tratamento não houve diferença significativa ($P > 0,05$), a mastigabilidade do queijo Parmesão ao longo da maturação para as duas condições de armazenamento foi de QSEPT (0,078 N $\pm$ 0,014) e QCEPL (0,047 N $\pm$ 0,012).

Os resultados mostram que, independentemente do tipo de embalagem, a mastigabilidade dos queijos variou ao longo da maturação. Observou-se um aumento significativo na mastigabilidade até 180 dias, seguido de uma ligeira redução aos 210 dias, para os queijos sem embalagem (QSEPT). Essa tendência de aumento inicial pode ser atribuída à progressiva perda de umidade e à compactação da matriz

proteica durante a maturação, processos que tornam a textura dos queijos mais firme e exigem maior trabalho mastigatório (Tarapata *et al.*, 2025).

Tabela 10 – Mastigabilidade (N) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
QSEPT	0,041 $\pm$ 0,006 ^{aB}	0,088 $\pm$ 0,009 ^{aB}	0,115 $\pm$ 0,026 ^{aA}	0,068 $\pm$ 0,014 ^{aAB}
QCEPL	0,036 $\pm$ 0,007 ^{aA}	0,052 $\pm$ 0,013 ^{aA}	0,049 $\pm$ 0,013 ^{bA}	0,051 $\pm$ 0,015 ^{aA}

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem significativamente entre os tratamentos ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

A interação significativa entre tratamento e tempo sugere que, embora o tipo de embalagem isoladamente não tenha afetado a mastigabilidade, o efeito da maturação foi diferente nos dois tratamentos. De maneira geral, os queijos sem embalagem (QSEPT) mostraram maiores valores de mastigabilidade nos tempos mais avançados (180 dias), possivelmente em razão da maior perda de umidade e formação de casca, enquanto os queijos embalados (QCEPL) não apresentaram variações. Resultados similares foram relatados por Franco, Bargiela e Tovar (2023), que observaram que queijos embalados a vácuo tendem a manter texturas mais homogêneas durante a maturação, enquanto queijos sem embalagem sofrem variações mais expressivas devido à maior desidratação superficial.

5.2.4 Dureza

Em relação à dureza, foi observada diferença significativa para o tratamento ($P < 0,05$). A dureza (N) do queijo Parmesão QSEPT (19,92 N $\pm$ 1,98) foi maior que o QCEPL (14,94 N $\pm$ 2,80). Queijos maturados sem embalagem tendem a perder mais umidade para o ambiente. A perda de água resulta em uma maior concentração de sólidos, o que aumenta a dureza do queijo. Em contraste, queijos maturados em embalagens retêm mais umidade, mantendo uma textura mais macia (Souza, 2018; Bodbodak; Rafiee, 2016).

A dureza dos queijos com casca tende a aumentar durante a maturação, uma vez que a perda de umidade através da casca resulta em um aumento na relação caseína/umidade (Ayala-Bribiesca *et al.*, 2016).

Também foi observada diferença significativa para o tempo e para a interação tratamento X tempo ($P < 0,05$) que estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Dureza (N) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
QSEPT	11,73 $\pm$ 1,95 ^{aC}	17,97 $\pm$ 1,24 ^{aB}	25,60 $\pm$ 2,40 ^{aA}	24,39 $\pm$ 2,34 ^{aA}
QCEPL	10,58 $\pm$ 1,33 ^{aB}	16,59 $\pm$ 2,30 ^{aA}	16,19 $\pm$ 3,57 ^{bA}	16,41 $\pm$ 4,01 ^{bA}

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem significativamente entre os tratamentos ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

A principal diferença observada foi relacionada ao tempo de maturação. De forma geral, houve um aumento significativo da dureza ao longo dos 180 primeiros dias, seguido de uma manutenção aos 210 dias. Essa tendência é compatível com o comportamento típico de queijos de longa maturação, onde a perda gradual de umidade e a compactação da matriz proteica resultam em uma estrutura mais rígida (Tarapata *et al.*, 2025; Kumar *et al.*, 2024).

No entanto, observa-se que nos tempos finais (180 e 210 dias), os queijos sem embalagem (QSEPT) apresentaram valores de dureza significativamente superior aos queijos embalados (QCEPL). Este comportamento pode ser explicado pelo fato de que a ausência de embalagem facilita uma maior perda de umidade por evaporação direta para o ambiente, favorecendo o aumento da concentração de sólidos e, consequentemente, da rigidez do produto (Andrade *et al.*, 2021).

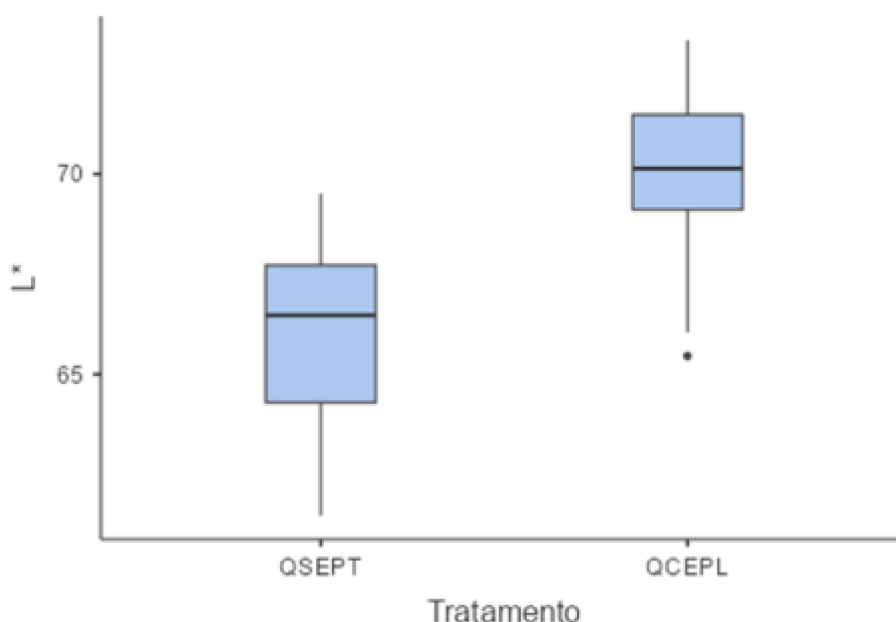
Além disso, a formação de uma casca mais espessa nos queijos sem embalagem contribui para essa maior dureza nas etapas avançadas de maturação, como também relatado por Souza (2022) em estudos com queijos artesanais. Em contrapartida, a embalagem ativa utilizada no tratamento QCEPL reduziu a taxa de desidratação e preservou melhor a elasticidade e maciez do queijo, resultando em menores valores de dureza ao final da maturação.

5.3 Análises de cor instrumental

5.3.1 Análise de cor instrumental da superfície do queijo Parmesão

A variável L^* , que representa a luminosidade da superfície dos queijos Parmesão, não apresentou distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade dos dados. Houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Luminosidade (L^*) dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em paleta (QCEPL).



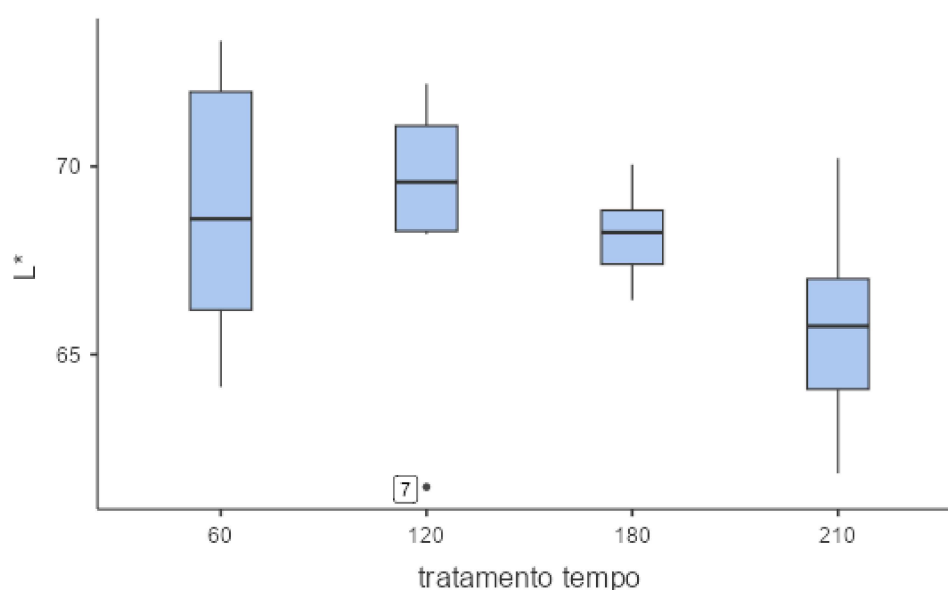
Fonte: Da autora (2025).

O queijo com embalagem e maturado em paleta (QCEPL) apresentou maior valor de L^* do que o queijo sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT). O maior valor de L^* no tratamento QCEPL pode estar relacionado ao maior teor de umidade residual nos queijos embalados, o que contribui para uma matriz mais clara e compacta. Por outro lado, os queijos sem embalagem apresentaram valores inferiores de L^* , possivelmente em decorrência de maiores perdas de água durante a maturação. A desidratação acentuada intensifica a concentração de sólidos e favorece a compactação da matriz proteica, reduzindo a reflexão da luz e conferindo aspecto mais escuro à superfície. Esse comportamento é consistente com a literatura, que

relaciona a redução da umidade em queijos duros com o escurecimento progressivo da crosta (Fox *et al.*, 2017).

As análises revelaram que não houve diferença significativa entre os tempos de maturação ($P > 0,05$), conforme apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Luminosidade (L^*) ao longo do tempo dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em paleta (QCEPL).



Fonte: Da autora (2025).

A manutenção da luminosidade em níveis elevados e constantes ao longo do tempo pode estar associada ao grau de compactação da massa e à ausência de alterações significativas na superfície, como escurecimento ou manchas. Resultados semelhantes foram observados por Kalit *et al.* (2022), que verificaram estabilidade na luminosidade de queijos duros durante a maturação sob condições controladas.

Estudos também indicam que o uso de embalagem ativa pode contribuir para a proteção contra oxidação superficial, mantendo os atributos visuais desejáveis do queijo, especialmente em produtos armazenados por longos períodos (Fusco *et al.*, 2020). Assim, os valores de L^* obtidos ao longo da maturação estão de acordo com o esperado para queijos do tipo Parmesão, conforme descrito por Bütikofer *et al.* (2021), e não indicaram efeitos indesejáveis atribuíveis ao uso da embalagem ativa ou à paletização.

Na coordenada cromática a^* , em que valores positivos representam maior intensidade da coloração vermelha e valores negativos indicam tendência ao verde, verificou-se diferença significativa ($P < 0,05$) tanto para o tratamento quanto para a interação tempo $\times$ tratamento. Os queijos QCEPL apresentaram valores médios mais elevados ($2,24 \pm 0,36$) que os QSEPT ($2,05 \pm 0,80$), indicando maior intensidade avermelhada. Essa diferença pode estar associada ao menor crescimento de mofo esverdeados na superfície dos queijos embalados, já que a barreira física reduz a exposição ao oxigênio e, conseqüentemente, a colonização por microrganismos que conferem tonalidades esverdeadas (Barros *et al.*, 2011c). Além disso, a preservação da coloração avermelhada nos queijos embalados pode estar relacionada à menor perda de umidade, uma vez que o aumento da desidratação nos queijos não embalados concentra compostos oxidáveis, potencializando alterações de cor indesejáveis. A proteólise, processo bioquímico central da maturação, também influencia esse parâmetro, pois a liberação de aminoácidos e compostos nitrogenados pode, por oxidação, impactar a pigmentação superficial (Fox *et al.*, 2017; Nájera *et al.*, 2021).

E para a coordenada b^* , que indica a tonalidade amarela/azul do queijo, com valores positivos indicando uma tonalidade mais amarela, as amostras apresentaram diferença ($P < 0,05$) apenas no tratamento. Os valores encontrados para QCEPL e o QSEPT foram de $28,80 \pm 0,11$ e $23,95 \pm 0,10$, respectivamente. Observou-se que os queijos com embalagem maturados em paletes (QCEPL) apresentam valores de b^* mais altos em comparação aos queijos sem embalagem maturados em prateleira (QSEPT), sugerindo que os queijos embalados têm uma tonalidade amarela mais intensa.

Santos (2019) destaca que a embalagem a vácuo pode preservar melhor amarela do queijo ao proteger contra a oxidação e a perda de compostos voláteis que contribuem para a cor. Carvalho *et al.* (2011) também mencionam que a maturação controlada pode influenciar a tonalidade amarela do queijo, mantendo uma cor mais uniforme.

A cor do queijo parmesão pode ser significativamente influenciada pelo tipo de embalagem utilizada durante o processo de maturação. Estudos indicam que a embalagem a vácuo desempenha um papel crucial na preservação das características físico-químicas do queijo, incluindo sua cor. Santos (2019) destaca que a embalagem

a vácuo protege o queijo da oxidação, mantendo a tonalidade amarela mais estável ao longo do tempo.

Além disso, o controle de umidade proporcionado pela embalagem a vácuo é outro fator determinante. Segundo Barros *et al.* (2011c), a embalagem a vácuo ajuda a manter uma umidade constante, evitando variações que poderiam afetar a cor do queijo. A manutenção de uma umidade adequada é essencial para preservar a qualidade visual e sensorial do produto.

A interação do queijo com o ambiente também é um aspecto relevante. Carvalho *et al.* (2011) afirmam que queijos sem embalagem estão mais expostos a variações ambientais, o que pode resultar em alterações na cor devido à oxidação e outros processos químicos. A embalagem a vácuo, por sua vez, minimiza essas interações, garantindo uma cor mais uniforme e atraente.

Esses resultados mostram que a embalagem e o tempo de maturação têm um impacto significativo nas características de cor do queijo parmesão. A embalagem a vácuo, em particular, parece desempenhar um papel crucial na preservação da cor do queijo ao longo do tempo de maturação.

5.3.2 Análise de cor instrumental do interior do queijo Parmesão

Para o interior do queijo (Lado 5), a luminosidade L^* não apresentou diferença significativa ($P > 0,05$) para tratamento, tempo e interação entre tratamento e tempo. Os valores médios encontrados para a luminosidade L^* dos tratamentos QSEPT e QCEPL foram de $79,03 \pm 0,89$ e $79,59 \pm 0,95$ respectivamente. A coordenada cromática a^* não apresentou diferença significativa para tratamento, tempo e interação entre tratamento e tempo ($P > 0,05$). Para a coordenada cromática a^* os valores de QSEPT e QCEPL foram de $2,31 \pm 0,24$ e $2,12 \pm 0,28$, respectivamente. O Lado 5 é a parte interna do queijo, sem as cascas, o que justifica não haver diferença significativa para os parâmetros L^* e a^* . Para o parâmetro L^* onde é medido a luminosidade e a^* , as cores verde e vermelha, os resultados mostram que ambos os queijos não apresentam diferenças pois internamente não são afetados pela oxidação, e reações químicas que alteram principalmente a casca do queijo como apresentados na parte externa dos queijos.

Já a coordenada cromática b^* não apresentou diferença no tratamento e na interação tratamento tempo, apenas apresentou diferença ($P < 0,05$) para o tempo.

Os valores médios encontrados para a coordenada cromática b^* no Lado 5, para o queijo Parmesão ao longo da maturação nas duas condições de armazenamento (QSEPT e QCEPL) estão apresentados na Tabela 12. Para a coordenada cromática b^* os valores de QSEPT e QCEPL foram de $24,80 \pm 2,36$ e $24,67 \pm 1,85$, respectivamente.

Tabela 12 - Coordenada cromática b^* do interior (Lado 5) dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijo com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)			
	60	120	180	210
Médias	$25,26 \pm 1,34^b$	$23,34 \pm 0,50^c$	$27,92 \pm 0,86^a$	$23,98 \pm 0,77^c$

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

Para a coordenada cromática b^* foi apresentada diferença somente no tempo mostrando que com o passar do tempo, a cor amarela é intensificada em ambos os tratamentos. O comportamento da coordenada cromática b^* ao longo do tempo reflete alterações estruturais e bioquímicas que ocorrem durante a maturação do queijo. De maneira geral, foi observado um aumento do valor de b^* até 180 dias, indicando intensificação da tonalidade amarela, seguido de uma leve diminuição aos 210 dias.

O aumento inicial do b^* pode ser atribuído à concentração de pigmentos naturais presentes no leite, como a riboflavina e a β -caroteno, à medida que a maturação avança e o teor de umidade do queijo diminui (Costa *et al.*, 2021). A perda gradual de água concentra os sólidos do queijo, intensificando a percepção da cor amarela na parte interna. A perda gradual de água concentra os sólidos do queijo, intensificando a percepção da cor amarela na parte interna. Estudos recentes demonstram que, em queijos de longa maturação, a intensificação da cor amarela é esperada e desejável, refletindo não apenas a perda de umidade, mas também transformações proteolíticas que afetam a dispersão de pigmentos na matriz do queijo (McSweeney, 2004; Fox *et al.*, 2017).

A posterior redução no valor de b^* aos 210 dias pode ser explicada por mudanças na microestrutura da matriz proteica, como a formação de cristais e a reorganização da fase contínua do queijo, que podem afetar a reflexão e absorção da

luz sem necessariamente implicar em perda real de pigmentos. Além disso, pequenas variações na atividade de água e na compactação interna podem alterar a aparência visual sem comprometer a qualidade físico-química (Tarapata *et al.*, 2025).

A ausência de diferença significativa entre os tratamentos confirma que, na parte interna do queijo, o tipo de embalagem não exerceu impacto relevante sobre a evolução da cor amarela. Como a parte interna estava protegida da exposição direta ao ambiente externo (oxigênio, luz e variações de umidade), o efeito da embalagem na evolução da cor foi minimizado, predominando a influência do processo natural de maturação.

Esses resultados estão de acordo com o relatado por Franco, Bargiela e Tovar (2023), que observaram comportamento semelhante em queijos maturados sob diferentes condições de armazenamento: as diferenças de cor foram mais evidentes na superfície dos queijos, enquanto o interior permaneceu relativamente estável, com variações atribuídas majoritariamente ao tempo de maturação.

5.4 Perda de peso

Em relação à perda de peso (%), foi observada diferença significativa para o tempo e para a interação tratamento X tempo ($P < 0,05$) que estão apresentados na Tabela 13. Os resultados da perda de peso do queijo Parmesão ao longo da maturação para as duas condições de armazenamento foram de QSEPT ($10,22\% \pm 1,28$) e QCEPL ($9,93\% \pm 0,74$), sem diferença significativa ($P > 0,05$).

Tabela 13 - Perda de peso dos queijos Parmesão sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

	Tempo de maturação (dias)	
	07	210
QSEPT	$9,68 \pm 0,71^{Ab}$	$9,76 \pm 1,24^{Ab}$
QCEPL	$10,19 \pm 0,78^{Aa}$	$10,69 \pm 1,34^{Aa}$

Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tempos de maturação ($P < 0,05$), pelo teste Tukey. Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem significativamente entre os tratamentos ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

A perda de peso durante a maturação é um importante indicador econômico do produto, uma vez que ele é comercializado por peso e não por peça, de modo que quanto menor a perda de peso, maior lucro a indústria.

Os queijos maturados sem embalagem apresentaram maior perda de peso que os queijos maturados em embalagem durante todo o tempo de maturação, corroborando os resultados de umidade (Tabela 1) que foram menores nos queijos sem embalagem (QSEPT), deste modo, quanto maior a perda de umidade, maior a redução de peso do queijo Parmesão. Souza (2022) em seu estudo sobre maturação de queijos artesanais com uso de embalagem ativa, também observou maior perda de peso nos queijos maturados sem embalagem e uma maior redução no teor de umidade.

Outros estudos mostram que este tipo de embalagem apresenta resultados semelhantes no controle de perda de peso de queijos, uma vez que apresenta permeabilidade ao vapor de água, permitindo que trocas com o ambiente sejam realizadas e que a maturação do queijo ocorra (Darnay *et al.*, 2019; Hooft, 2009).

5.5 Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas ao final da maturação (180 dias), e foram adicionadas análises de fungos filamentosos e leveduras que, apesar de não serem um requisito obrigatório na RTIQ do produto, são um importante indicador de qualidade e de perdas por limpeza da casca. Estes resultados estão apresentados na Tabela 14.

Todos os tratamentos após 180 dias de maturação apresentam resultados microbiológicos dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira (BRASIL, 1996). Embora a legislação brasileira não estabeleça padrões específicos para fungos filamentosos e leveduras em queijos duros, a análise desse grupo microbiano foi incluída por se tratar de um importante indicador de qualidade e de perdas industriais por raspagem da casca. Os resultados demonstraram diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($P < 0,05$), com valores mais elevados para os queijos maturados sem embalagem em prateleiras (QSEPT, $1,5 \times 10^2$ UFC/g) em comparação aos queijos embalados e maturados em paletes (QCEPL, $1,5 \times 10^1$ UFC/g).

Tabela 14 – Análises microbiológicas dos queijos sem embalagem e maturado em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturado em palete (QCEPL) ao longo do tempo de maturação (média $\pm$ DP).

Análises	Tratamentos	
	QSEPT	QCEPL
<i>Salmonella sp</i>	Ausente	Ausente
Coliformes a 30°C	$<1,0 \times 10^1$ UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ UFC/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	$<1,5 \times 10^1$ UFC/g	$<1,5 \times 10^1$ UFC/g
Coliformes a 45°C	$<1,0 \times 10^1$ UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ UFC/g
Fungos filamentosos e leveduras	$1,5 \times 10^2$ UFC/g	$1,5 \times 10^1$ UFC/g

Essa redução expressiva no crescimento de mofos e leveduras nos queijos embalados evidencia o efeito protetor da embalagem ativa, que limita a deposição de esporos e a disponibilidade de oxigênio na superfície, resultando em menor contaminação e maior estabilidade visual do produto. Em estudos comparativos com queijos Parmesão maturados com e sem embalagem a vácuo, Rosa *et al.* (2024) encontraram resultados de $2,03 \times 10^2$ UFC/g para os queijos maturados sem embalagem e de $1,0 \times 10^1$ UFC/g para os queijos maturados com embalagem, demonstrando a capacidade da embalagem de proteger a superfície contra a contaminação do ambiente. Sá *et al.* (2021) encontraram valores parecidos em estudos com uso de embalagem ativa em queijos artesanais, onde os queijos maturados sem embalagem também apresentam resultados de fungos e leveduras superiores aos queijos maturados com embalagem.

5.6 Análise sensorial

Os resultados dos atributos avaliados para ambos os queijos Parmesão estão apresentados na Tabela 15. Não foram encontradas diferenças significativas ($P < 0,05$) para nenhum dos atributos sensoriais.

Tabela 15 - Análise sensorial dos queijos sem embalagem e maturados em prateleira (QSEPT) e queijos com embalagem e maturados em palete (QCEPL).

Atributos	Tratamentos	
	QSEPT	QCEPL
Aparência	6,87 ± 1,38 ^a	6,89 ± 1,36 ^a
Aroma	7,09 ± 1,34 ^a	7,13 ± 1,33 ^a
Textura	6,13 ± 1,85 ^a	6,28 ± 1,87 ^a
Sabor	7,02 ± 1,45 ^a	7,28 ± 1,31 ^a
Aspecto Global	6,96 ± 1,27 ^a	7,09 ± 1,21 ^a

Médias seguidas por letras minúsculas diferentes, na mesma linha, diferem significativamente entre os tratamentos ($P < 0,05$), pelo teste Tukey.

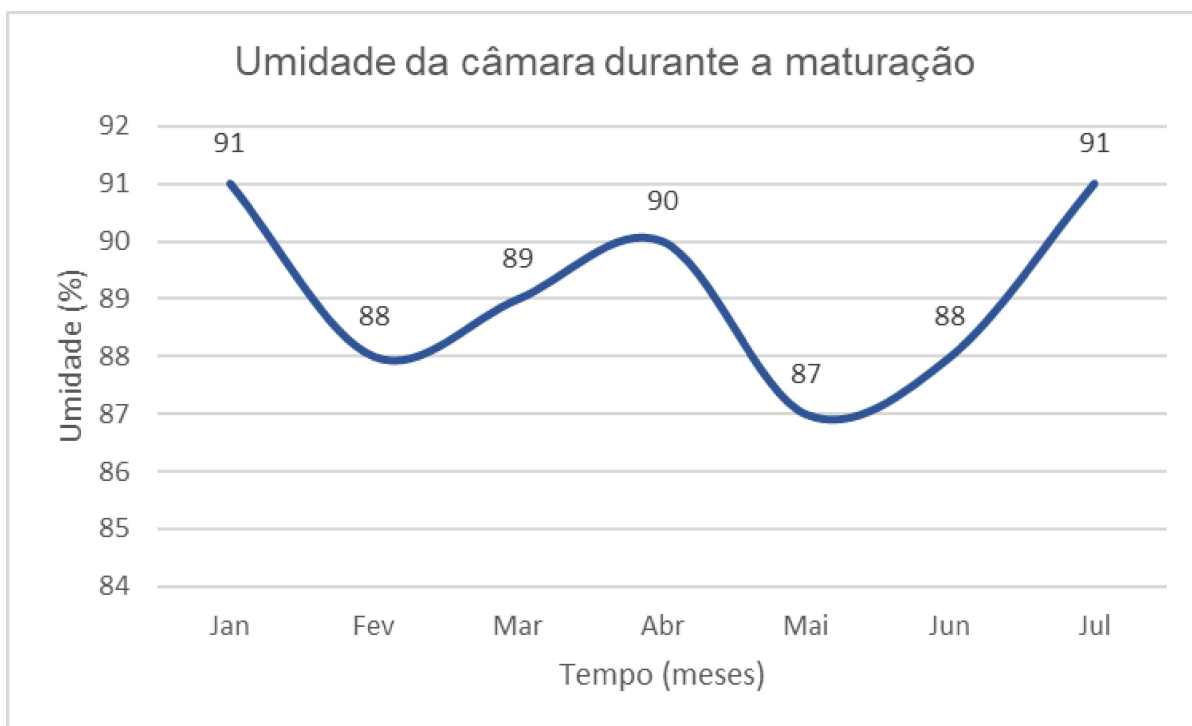
Os tratamentos não apresentam diferença sensorial, o que aponta que a aplicação da embalagem não alterou as características sensoriais conhecidas do queijo, o que possivelmente não prejudica sua comercialização. Paniagua (2019), em estudo comparativo entre queijo Parmesão fabricado a partir de leite de vaca e o fabricado a partir de leite de búfala, obteve em estudo sensorial de aceitação por escala hedônica de nove pontos, nota 5,94 para aparência, 6,43 para aroma, 6,89 para textura e 7,25 para sabor. Resultados bastante parecidos com os apresentados, sendo superiores em aparência de aroma.

Rosa *et al.* (2024) em estudo comparativo sobre a maturação de queijos Parmesão com e sem embalagem a vácuo, não encontraram diferença significativa nos atributos sensoriais testados, demonstrando que o uso de embalagem a vácuo para maturação do queijo parmesão não atribui diferenças sensoriais.

5.7 Análises de controle do ambiente

Durante o processo de maturação de queijos de longa duração, o controle ambiental, especialmente da temperatura e da umidade relativa, é fundamental para garantir o desenvolvimento adequado da textura, da casca e das características sensoriais, além de minimizar o crescimento microbiológico indesejado (Fox *et al.*, 2017). Os resultados obtidos das medições de umidade, temperatura e contagem de fungos filamentosos e leveduras da câmara estão apresentados na Figura 12, 13 e 14, respectivamente.

Figura 12 - Umidade da Câmara durante a maturação.



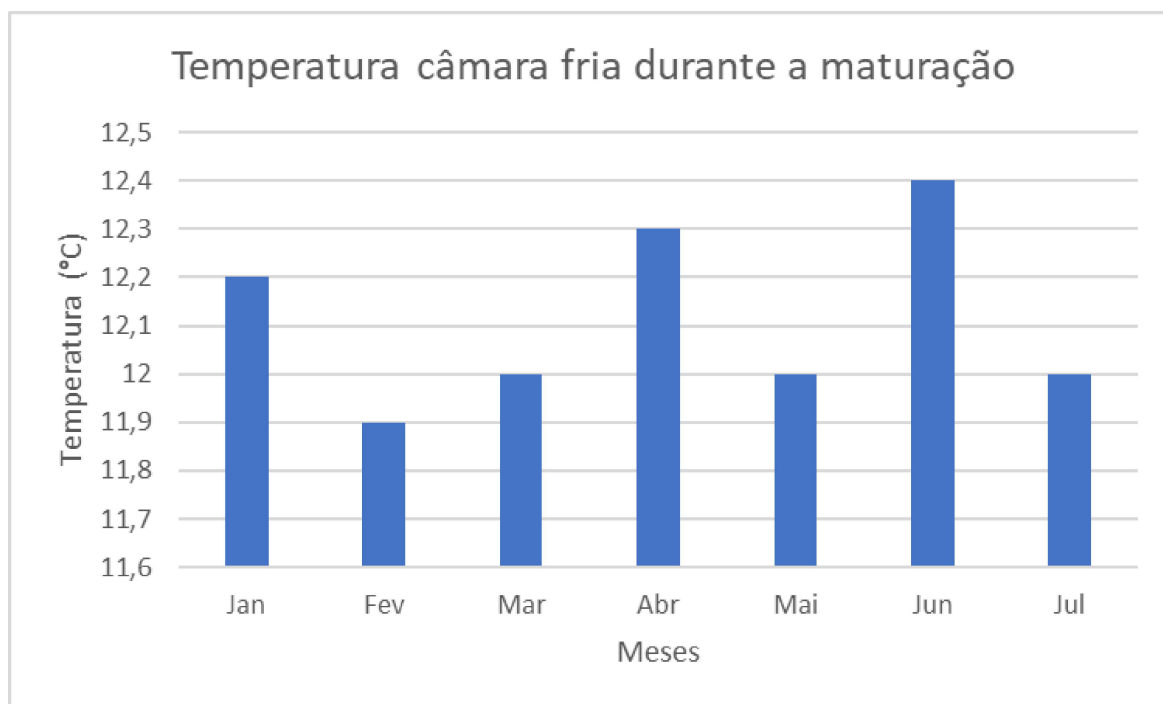
Fonte: Da autora (2025).

A umidade relativa da câmara (Figura 12) apresentou uma leve oscilação, variando de 80 a 86% durante o processo. Valores entre 80 e 85% são considerados ideais para queijos de longa maturação, permitindo uma perda gradual de umidade que favorece o desenvolvimento da casca natural, sem provocar ressecamento excessivo (Fox *et al.*, 2017). Essas condições controladas de umidade explicam, em parte, o comportamento observado nos queijos sem embalagem (QSEPT), que apresentaram perda de peso e formação de casca mais intensas, associadas a maior perda de umidade e aumento da dureza nos tempos finais de maturação. Em contrapartida, os queijos embalados (QCEPL) foram mais protegidos dessas variações ambientais, apresentando menor perda de peso e textura mais macia, como demonstrado nos resultados de dureza e mastigabilidade.

No presente estudo, o monitoramento da câmara de maturação indicou que a temperatura se manteve relativamente estável, variando entre 12 °C e 16 °C ao longo do período de armazenamento (Figura 13). Essa faixa está de acordo com as recomendações para maturação de queijos do tipo Parmesão, que sugerem temperaturas de 12 °C a 16 °C para promover a adequada atividade enzimática e

bioquímica, sem acelerar excessivamente o envelhecimento ou prejudicar a qualidade do produto (Fox *et al.*, 2017).

Figura 13 – Temperatura da câmara durante a maturação.

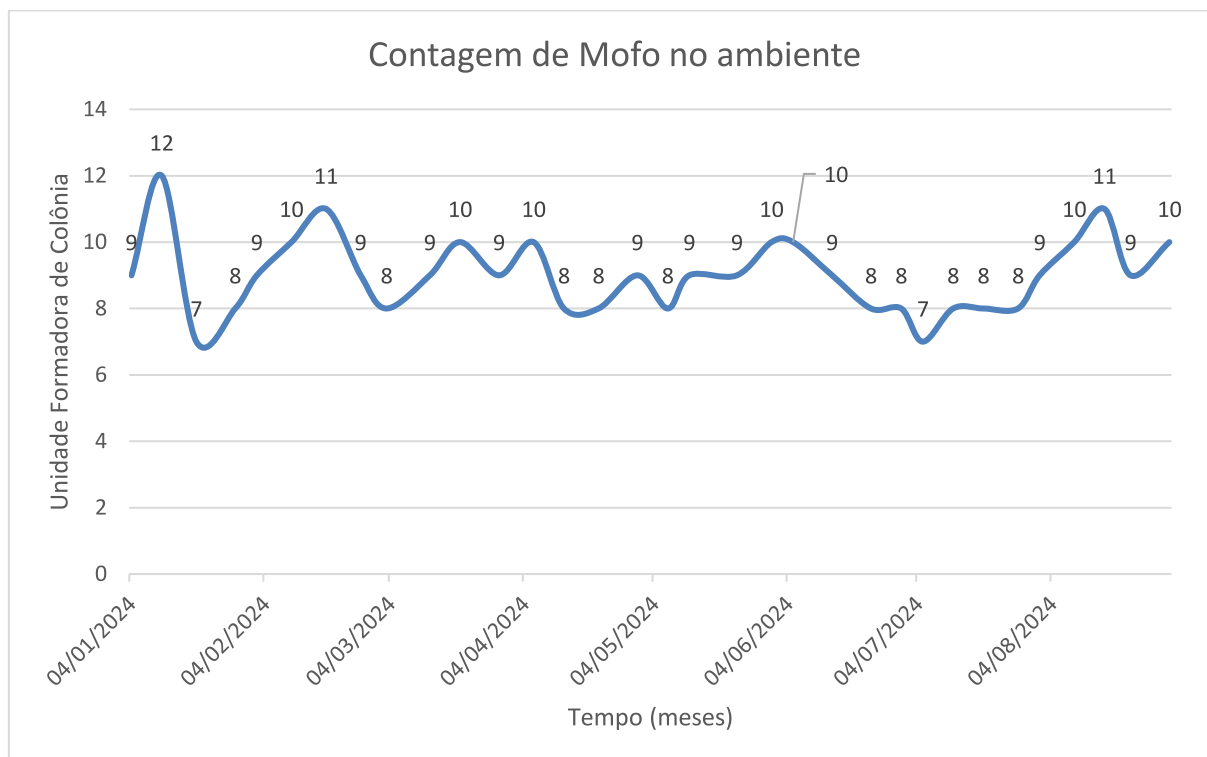


Fonte: Da autora (2025).

Em relação à microbiologia ambiental, a contagem de fungos filamentosos e leveduras na câmara (Figura 14) mostrou aumento ao longo da maturação, especialmente nos meses finais. Este comportamento é típico em câmaras de maturação de queijos duros, onde a elevada umidade relativa e a presença de substratos orgânicos favorecem o desenvolvimento de fungos (Pathare *et al.*, 2013).

Apesar desse aumento ambiental, os resultados microbiológicos dos queijos (Tabela 14) indicaram que todos os tratamentos permaneceram dentro dos padrões microbiológicos legais (BRASIL, 1996). Contudo, foi observada maior contagem de fungos filamentosos e leveduras nos queijos sem embalagem (QSEPT), em comparação aos queijos embalados (QCEPL). Essa diferença pode ser atribuída tanto à maior exposição direta dos queijos sem embalagem ao ambiente da câmara que apresentou contagem de fungos filamentosos e leveduras (Figura 14), quanto à ausência de uma barreira física para impedir a colonização superficial.

Figura 14 - Contagem de fungos filamentosos e leveduras da câmara durante a maturação.



Fonte: Da autora (2025).

Estudos recentes, como o de Franco, Bargiela e Tovar (2023), reforçam que a embalagem ativa ou a embalagem a vácuo atua como uma proteção adicional contra a contaminação superficial, reduzindo significativamente a colonização por fungos e mantendo a qualidade da casca dos queijos maturados.

Embora a análise de fungos filamentosos e leveduras não seja um requisito microbiológico legal específico para queijos de baixa umidade como o Parmesão segundo a legislação brasileira vigente (BRASIL, 1996), sua realização neste estudo justifica-se como um importante indicador da qualidade higiênico-sanitária do ambiente de maturação. Esses microrganismos são altamente influenciados pelas condições de umidade, temperatura e ventilação das câmaras, podendo comprometer a integridade da casca do queijo, ocasionar defeitos visuais e sensoriais, e, em casos mais severos, favorecer a produção de micotoxinas (Filtenborg *et al.*, 1996; César *et al.*, 2019).

Assim, a inclusão dessa análise no presente projeto teve como objetivo monitorar a contaminação ambiental e sua possível transferência para o produto, especialmente ao comparar diferentes sistemas de maturação (com e sem

embalagem ativa). Além disso, a presença de fungos e leveduras pode ser um reflexo direto da eficácia das boas práticas de fabricação e da adequação dos controles ambientais implementados no laticínio (EPAMIG, 2019). A análise complementar, portanto, amplia a compreensão sobre os impactos da embalagem ativa não apenas na qualidade do queijo, mas também no controle de riscos microbiológicos oriundos do ambiente de maturação.

5.8 Análise de Impacto Industrial

Ao expor os queijos Parmesão produzidos sob condições industriais e submetê-los à maturação por dois métodos – convencional (em prateleiras, sem embalagem) e alternativo (com embalagem ativa Pack-Age® e armazenamento em paletes) – foi possível avaliar o desempenho das tecnologias em cenários compatíveis com a realidade operacional do setor. Essa escolha metodológica permite maior segurança na extrapolação dos dados e reforça a aplicabilidade prática dos resultados.

Os benefícios observados, como a redução das perdas por desidratação, melhor conservação da casca, menor contaminação fúngica e redução da necessidade de mão de obra durante a maturação, indicam um potencial expressivo de otimização de processos em escala industrial. Além disso, o uso da embalagem ativa possibilita a paletização dos queijos e armazenamento em câmaras tipo drive-in, promovendo a racionalização do espaço físico e a melhoria da logística interna de maturação, fatores altamente valorizados pela indústria (DSM, 2019; Souza, 2022). Ao validar essas tecnologias em contexto real de produção, o presente trabalho não apenas confirma a viabilidade técnico-científica da maturação não convencional, mas também fornece uma base prática robusta para sua adoção por laticínios brasileiros, promovendo maior competitividade, padronização e sustentabilidade ao setor.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que a utilização da embalagem ativa Pack-Age®, associada à paletização, representa uma estratégia tecnológica eficaz e compatível com as exigências da indústria de queijos duros no Brasil. Essa abordagem proporcionou benefícios mensuráveis ao processo de maturação do queijo Parmesão, tanto do ponto de vista físico-químico quanto microbiológico, sensorial e operacional.

A aplicação da embalagem ativa associada à paletização promoveu significativa redução das perdas por umidade e massa, além de proteger a casca contra defeitos visuais e crescimento microbiano indesejado, demonstrando maior estabilidade do produto ao longo do tempo de maturação. Os parâmetros físico-químicos, como gordura, proteína, atividade de água e pH, mostraram-se compatíveis com a literatura, evidenciando que o uso da embalagem ativa associada à paletização, não compromete os processos bioquímicos essenciais à maturação. A estabilidade da microbiota, com, também reforça o papel protetivo dessa tecnologia.

Do ponto de vista instrumental, observou-se preservação da textura e manutenção da cor desejável na casca dos queijos embalados, o que contribui para o apelo visual e comercial do produto. A evolução da proteólise, medida tanto por sua extensão quanto pela profundidade, ocorreu de forma consistente em ambos os tratamentos, com destaque para os valores mais elevados de IPP nos queijos com embalagem, resultado de condições que favoreceram a atuação enzimática e microbiana.

As análises sensoriais demonstraram que os queijos maturados com embalagem ativa associada à paletização apresentaram aceitação equivalente aos produzidos pelo método tradicional, corroborando a manutenção da identidade sensorial do produto, aspecto fundamental para sua inserção no mercado. Além disso, os indicadores analisados ao longo da maturação reforçam que a utilização da embalagem ativa não impede a ocorrência dos processos que definem a qualidade do Parmesão, mas sim os protege e os conduz de forma mais controlada e eficiente.

A partir desses achados, verifica-se que a aplicação da embalagem ativa, aliada à paletização, pode contribuir de forma expressiva para a modernização das práticas de maturação industrial, oferecendo vantagens operacionais como melhor

aproveitamento do espaço físico, redução de perdas por raspagem, economia de mão de obra e maior padronização entre os lotes. Essa tecnologia se mostra, portanto, uma alternativa inovadora para indústrias que buscam aumentar sua competitividade e garantir a qualidade do queijo Parmesão ao longo do tempo de maturação.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C.C., *et al.* Surface Dehydration and Textural Changes in Ripened Cheese Without Packaging. **Journal of Dairy Research**, v. 88, n. 1, p. 44–50, 2021.
- AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Dairy Products**. In: Official Methods of Analysis. 16 ed. Arlington, 1997.
- AWAD, R. A.; ABDEL-HAMID, L. B.; EL-SHABRAWY, S. A. Texture and microstructure of block type processed cheese with formulated emulsifying salt mixtures. **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie - Food Science**, v. 35, n. 1, p. 54-61, 2002.
- AZARNIA, S.; ROBERT, N.; LEE, B. Biotechnological methods to accelerate Cheddar cheese ripening. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 26, p. 121–43, 2006.
- BANSAL, V.; VEENA, N. Understanding the role of pH in cheese manufacturing: general aspects of cheese quality and safety. **Journal of Food Science and Technology**, v. 61, p. 16–26, 2024.
- BARROS, M. C. T. de; CARVALHO, A. F. de; SILVA, C. A. B.; PINTO, M. S.; SILVA, P. H. F. da. Composição centesimal e microbiológica de queijos parmesão durante o processo de maturação. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 66, n. 380, p. 27–34, 2011a.
- BARROS, J. J. C.; AZEVEDO, A. C.; FALEIROS JÚNIOR, L. R.; TABOGA, S. R.; PENNA, A. L. B. Queijo Parmesão: caracterização físico-química, microbiológica e microestrutura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, p. 94-285, 2011b.
- BARROS, R. M.; FREITAS, M. Q.; PINHEIRO, A. J. R. Influência da embalagem a vácuo na qualidade de queijos durante a maturação. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 1, p. 62-69, 2011c.
- BLACKBERRY PALLET. **Why Pallets are the Backbone of Manufacturing and Food Distribution**. Cupertino, CA: arXiv.org, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2502.13443>. Acesso em: 5 jul. 2025.
- BODBODAK, S.; RAFIEE, Z. 3 - Recent trends in active packaging in fruits and vegetables. In: ASGHARI, M. *et al.* **Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality**. New York: Academic Press, 2016.
- BRAGA, L. R.; SILVA, F. M. Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 8, n. 4, p. 170-186, 2017.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2021. Dispõe sobre os materiais em contato com alimentos, incluindo embalagens ativas e inteligentes. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 11 maio 2021.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 91, de 11 de maio de 2021. Dispõe sobre os materiais em contato com alimentos, incluindo embalagens ativas e inteligentes. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 12 maio 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Portaria n. 146, de 07 de março de 1996. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 7 mar. 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Portaria n. 146, de 07 de março de 1996. Aprova o Regulamento Técnico Geral para a Fixação dos Requisitos Microbiológicos de Queijos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 7 mar. 1996.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 4, de 1º de março de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade de queijos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 03 mar. 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 62, de 26 de Agosto de 2003. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 ago. 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Métodos analíticos oficiais físico-químicos para controle de leite e produtos lácteos. Instrução Normativa n. 68, de 12 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 de dezembro de 2006, Seção 1, Página 8.

BRASIL. Portaria n. 353, de 4 de setembro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Queijos Parmesão, Parmesano, Sbrinz, Reggiano e Reggianito. **Diário Oficial da União**, Brasília, 4 set. 1997.

BRODY, A.L.; STRUPINSKY, E.R.; KLINE, L.R. **Active Packaging for Food Applications**. New York: CRC Press, 2001.

BURGOS, M. et al. Proteolysis, texture and microstructure of goat cheese. **Small Ruminant Research**, v. 145, p. 1-8, 2016.

BÜTIKOFER, U.; SIEBER, R.; ROOS, M. Ripening and quality characteristics of Swiss hard cheeses: effects of different storage and maturation conditions. **Dairy Science & Technology**, v. 101, p. 1-14, 2021.

CARVALHO, J. D. G.; OLIVEIRA, M. E. G.; MELO, L. M. P. Influência das condições de maturação na qualidade de queijos tradicionais brasileiros. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 66, n. 380, p. 19-28, 2011.

CASA DO PRODUTOR. **Queijo Parmesão Artesanal Brasileiro**: Uma Joia da Gastronomia Nacional. 2023. Disponível em: https://acasadoprodutor.com.br/blog/queijo-parmesao-artesanal-brasileiro/?srsltid=AfmBOoryPfDsVUzKoRcCrI_3-QPTnQZLkmyjniJdlgqDERAqgY28RhVUc. Acesso em: 30 de jan 2025.

CASTAÑEDA, R.; BORBONET, S.; IBARRA, A.; IPAR, J. L.; VÁSQUEZ, A. M.; BRITO CONTRERAS, C.; PURTSCHERT, N.; ALFONSO, R. **Quesos de América del Sur**. Buenos Aires: Albatros, 2010. 128 p.

CENTER FOR DAIRY RESEARCH - CDR. **Advanced Cheesemaking American Varieties**. Center for Dairy Research, University of Wisconsin. 2014. Disponível em: <https://www.cdr.wisc.edu/> Acesso em: 02 abr. 2024.

CÉSAR, I. C. da R. **Caracterização de fungos filamentosos do queijo minas artesanal da região da Canastra**. 2019. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019.

CHANG, S.; NAFCHI, A. M.; BAGHAIE, H. Development of an active packaging based on polyethylene containing linalool or thymol for mozzarella cheese. **Food Science & Nutrition**, v. 9, n. 7, p. 3732–3739, 2021.

CHECCI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. Ed. Campinas: Editorada Unicamp, 2003.

COSTA, R. G. B.; COSTA JÚNIOR, L. C. G.; PAULA, J. C. J. Queijos de Casca Lavada – Uma Revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 369, p. 26-31, 2009.

CUI, H.; WU, J.; LI, C.-Z.; LIN, L. Improving anti-listeria activity of cheese packaging via nanofiber containing nisin-loaded nanoparticles. **Food Science and Technology**, v. 81, p. 233-242, 2017.

CUNHA, L. M.; DIAS, T.; TEIXEIRA, P. Influence of packaging on the quality and shelf-life of cheese. **Food Control**, v. 17, n 6, p. 469-474, 2006.

DANNENBERG, G. S.; FUNCK, G. D.; CRUXEN, C. E. S.; MARQUES, J. L.; SILVA, W. P.; FIORETNINI, A. M. Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: Potential for application as active packaging for sliced cheese. **Food Science and Technology**, v. 81, p. 314-318, 2017.

DALLA ROSA, A.; TAVARES, M.; SILVA, J. Avaliação da qualidade microbiológica de queijos artesanais. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 123-130, 2008.

DARNAY, L.; NÉMETH, Á.; KONCZ, K.; MONSPARTE-SÉNYI, J.; PÁSZTOR-HUSZÁR, K.; FRIEDRICH, L.; LACZAY, P. Effect of different O₂/CO₂ permeable foils on aging of semi-hard goat cheese. **International Dairy Journal**, v. 90, p. 114-118, 2019.

DEETH, H. C.; TOUCH, V. Methods for detecting lipase activity in milk and milk products. **Australian Journal of Dairy Technology**, v. 55, p. 153–168, 2000.

D'INCECCO, P.; LOMBO, S.; ROVERO, G.; CARRIERO, M. V.; PELLEGRINO, L. Microstructural and textural changes of *Parmigiano Reggiano* cheese during ripening. **International Dairy Journal**, v. 102, p. 104593, 2020

DESHWAL, G. K.; PANJAGARI, N. R. Active packaging for cheese: A review on recent advances and future perspectives. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 29, 100707, 2021a.

DESHWAL, G. K.; PANJAGARI, N. R. Active and intelligent packaging of cheese: developments and future scope. *In*: Prieto, M. Á.; Otero, P. **Natural Food Additives**, IntechOpen, 2021b.

DSM. DSM-FIRMENICH. **Pack-Age™: a maturação natural do queijo**. DSM, 2019. Disponível em: <https://www.dsm-firmenich.com/pt-br/businesses/taste-texture-health/markets-products/dairy/cheese/package.html>. Acesso em: 14 jan. 2025

DSM-FIRMENICH. **Pack-Age® cheese ripening solution**. 2025. Disponível em: <https://www.dsm-firmenich.com/en/businesses/taste-texture-health/markets-products/dairy/cheese/package.html>. Acesso em: 5 jul. 2025.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos**. 4.ed. rev.e ampl. Curitiba: Champagnat, 2013. 540p.

DUVAL, P.; CHATELARD-CHAUVIN, C.; GAYARD, C.; RIFA, E.; BOUCHARD, P.; HULIN, S.; DELILE, A.; POLLET, B.; MONTEL, M. C.; PICQUE, D. Changes in biochemical and sensory parameters in industrial blue veined cheeses in different packaging. **International Dairy Journal**, v. 77, p. 89-99, 2016.

EPAMIG – EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Queijo Minas artesanal** – Principais problemas de fabricação: Manual técnico de orientação ao produtor. Belo Horizonte: EPAMIG, v. 35, p. 40, 2019.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt**: Pacote Experimental Designs (Portugues). R package version 1.2.2, 2021 Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>.

FERREIRA, M. P. F. **Embalagens ativas para alimentos**: Caracterização e propriedades. 2012. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FILTENBORG, O.; FRISVAD, J. C.; THRANE, U. Moulds in food spoilage. **International Journal of Food Microbiology**, n. 33, p. 85-102, 1996.

FOEGEDING, E. A.; DRAKE, M. A. Invited Review: Sensory and mechanical properties of cheese texture. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 4, p. 1611-1624, 2007.

FONSECA, S. H.; SOUZA, M. R.; SOUZA, B. M. S. de.; CORTEZ, M. A. S.; FONSECA, L. M. de. Fatores relacionados à maturação de queijos artesanais que apresentam efeitos deletérios sobre microrganismos patogênicos – uma revisão. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 77, n. 4, p. 227/238, 2022.

FOX, P.; MCSWEENEY, P.; COGAN, T.; GUINEE, T. **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. Vol. 1 General Aspects. London: Elsevier Academic Press, 2004.

FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; MCSWEENEY, P. L. H. **Fundamentals of Cheese Science**. New York: Springer, 2017.

FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; MCSWEENEY, P. L. H. Salting of Cheese Curd. In: FOX, P. F.; GUINEE, T. P.; COGAN, T. M.; MCSWEENEY, P. L. H. **Fundamentals of Cheese Science**. 2nd. ed. Boston: Springer, 2017.

FOX, P. F.; MCSWEENEY, P. L. H. Proteolysis in cheese during ripening. **Food Reviews International**, v. 12, p. 457-509, 1996.

FRANCO, I.; BARGIELA, V.; TOVAR, C. A. Effect of Vacuum Packaging on the Biochemical, Viscoelastic, and Sensory Properties of a Spanish Cheese during Chilled Storage. **Foods**, v. 12, n. 7, p. 1381, 2023.

FURTADO, M. M. Fundamentos originais dos queijos grana italianos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 66, n. 378, p. 40-50, 2011a.

FURTADO, M. M. Queijo Parmesão: Características e Principais Problemas de Elaboração. In: FURTADO, M. M. **Principais Problemas dos Queijos: Causas e Prevenção**. 3ª Edição. São Paulo, SP, Brasil: Setembro Editora, 2017. Capítulo 10, página 212-213.

FURTADO, M. M. **Queijos duros**. São Paulo: Ed. Setembro, 2011b.

FURTADO, M. M. **Queijos semiduros**. 1. ed. São Paulo: Setembro, 2019.

FUSCO, V.; CHIARINI, E.; TROIANI, F. Active packaging solutions to extend shelf life and improve safety of cheeses. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 563, 2020.

GAGNAIRE, V.; LORAUX, S.; LECHEVALIER, V.; BEAUCHAMP, C. Review: The proteolytic system of lactic acid bacteria: An insight into the potential functions of the extracellular proteinases. **International Dairy Journal**, v. 21, n. 8, p. 512–520, 2011.

GALLO, L.; CASTELLARI, M.; RIPARI, V.; MURPHY, T.; SCHIAVONE, A. Effect of packaging and storage conditions on the quality of hard cheeses: A review. **Foods**, v. 12, n. 3, p. 512, 2023.

GAN, HH, YAN, B., LINFORTH, RST e Fisk, ID (2016). Desenvolvimento e validação de uma abordagem APCI-MS/GC-MS para classificação e predição da maturidade do queijo cheddar. **Química Alimentar**, v. 190, p. 442-447.

GATTI, M.; BOTTARI, B.; LAZZI, C.; NEVIANI, E.; MUCCHETTI, G. Invited review: Microbial evolution in raw-milk, long-ripened cheeses produced using undefined natural whey starters. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 2, p. 573-91, 2014.

GONÇALVES, M. P.; CARDARELLI, H. R. Composition, microstructure and chemical interactions during the production stages of Mozzarella cheese. **International Dairy Journal**, v. 88, p. 34-41, 2019.

HAILU, Y.; SEIFU, E.; EMANUELSON, U.; FURSTENBERG, E.; LARSEN, L. B. Physicochemical, microbiological and sensory characteristics of Grana Padano cheese during ripening. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 2, p. 1134–1146, 2016.

HICKEY, D. K.; GUINEE, T. P.; HOU, J.; WILKINSON, M. G. Effects of variation in cheese composition and maturation on water activity in Cheddar cheese during ripening. **International Dairy Journal**, v. 30, n. 1, p. 53–58, 2013

HOFFMANN, F. L.; COELHO, A. R.; HOFFMANN, P.; HIROOKA, E. Y.; GONÇALVES, T. M. V.; SANTOS, V. A. Q. Determinação da qualidade microbiológica de queijos ralados obtidos do varejo do município de São José do Rio Preto – SP. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 60, n. 342, p. 31–39, 2005.

HOLMES, D. G.; DUERSCH, J. W.; ERNSTROM, C. A. Distribution of milk clotting enzymes between curd and whey and their survival during Cheddar cheese making. **Journal of Dairy Science**, v. 60, p. 862–869, 1977.

HOOFT, C. Pack-Age, an innovative packaging concept for naturally ripening cheese. **European Dairy Magazine**, n. 7, p. 16-17, 2009.

HUFFMAN, L. M. Processing whey protein for use as a food ingredient. **Food Technology**, v. 2, p. 49-52, 1996.

JAFARZADEH, S.; RHIM, J. W.; ALIAS, A. K.; ARIFFIN, F.; MAHMUD, S. Application of antimicrobial active packaging film made of semolina flour, nano zinc oxide and nano-kaolin to maintain the quality of low-moisture mozzarella cheese during low-temperature storage. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 6, p. 2716-2725, 2019.

KALIT, S.; SALAJPAL, K.; KALIT, M. T. Colour stability of hard cheeses during ripening under controlled conditions. **Mljekarstvo**, v 72, n. 2, p. 103–112, 2022.

KINDSTEDT, P. S.; HILLIER, A. J.; MAYES, J. J. Technology, biochemistry and functionality of Pasta Filata/Pizza Cheese. In: LAW, B. A.; TAMIME, A. Y. (Eds.). **Technology of Cheesemaking**. 2. ed. Nova Deli: Wiley-Blackwell, 2010.

KONTOGIANNI, V. G.; KOSMA, I.; MATARAGAS, M.; PAPPA, E.; BADEKA, A. V.; BOSNEA, L. Innovative intelligent cheese packaging with whey protein-based films enriched with Spirulina. **Sustainability**, v. 15, n. 18, p. 13909, 2023.

KUMAR, P., *et al.* Dynamics of Acidification and Proteolysis During Cheese Ripening: A Review. **Frontiers in Dairy Science**, v. 3, 55, 2024.

LAGUNA, L. E.; EGITO, A. S. do.; BENEVIDES, S. D.; SANTOS, K. M. O. Coalhada Caprina Dessorada Adicionada de Polpa de Frutos Tropicais. **Comunicado Técnico 116**, Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2010.

LÓPEZ-CASTRO, A.; GARCÍA-MARTÍN, J. F.; SERRANO, A.; GARCÍA-GARCÍA, P.; MORENO, R. Effect of ripening time on proteolysis and sensory properties of hard cheeses: A review. **Dairy Science & Technology**, v. 102, p. 213–226, 2022.

LPR – LA PALETTE ROUGE. **The Significance of Palletising in the Supply Chain**. Blog LPR, 24 jun. 2024. Disponível em: <https://www.lpr.eu/blog>. Acesso em: 5 jul. 2025.

LUCEY, J. A.; GONZÁLEZ, R. N. Advanced cheese science and technology. *In*: Fuquay, J. W. (ed.). **Encyclopedia of Dairy Sciences**. 3. ed. London: Academic Press, 2020. p. 110–118.

LUNARDI, A.; DANTAS FILHO, J. V.; FERREIRA, C. C.; CAVALI, J.; VAIS, J. O.; DIAS, A. de A.; GASPAROTTO, P. H. G. Non Starter Lactic acid bacteria (NSLAB): A challenge to the cheese industry. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 26383–26409, 2021.

MACHADO, Gisela de Magalhães. **Viabilidade tecnológica do uso de ácido láctico na elaboração de queijo de coalho**. 2010. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

MCSWEENEY, P. L. H. Biochemistry of cheese ripening. **International Journal of Dairy Science**, v. 57, n. 2/3, 2004.

MCSWEENEY, P. L. H.; SOUSA, M. J. Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review. **Le Lait**, v. 80, n. 3, p. 293–324, 2000.

MCSWEENEY, P. L. H.; FOX, P. F.; CIOCIA, F. **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology - Metabolism of Residual Lactose and of Lactate and Citrate**. Academic Press. 4° ed. P. 411–421, 2017.

MISTRY, V. V. et al. Composition and microstructure of commercial full fat and lowfat cheeses. **Food Structure**, v. 9, n. 4, p. 325–334, 2000.

MONTEIRO, A. A.; PIRES, A. C dos S.; ARAÚJO, E. A. **Tecnologia de produção de derivados do leite**. Minas Gerais: UFV, 2011.

MOREIRA, Gisela de Magalhães Machado. **Queijos gorgonzola, prato, parmesão e mussarela: influência do tempo de maturação no perfil de aminas bioativas, aminoácidos livres, textura e características físico-químicas e microbiológicas**. 2018. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.172 f.

MOURÃO, F. **Maturação de queijos** - parte 1. Queijo Coalho Brasil, 2017. Disponível em: <https://www.queijocoalhobrasil.com/maturacao-de-queijos/>. Acesso em: 27 jul. 2024.

NÁJERA, A. I.; ALONSO, L.; BARRON, L. J. R. A review of the preservation of hard and semi-hard cheeses: Quality and safety. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 2952, 2021.

NÁJERA, A. I.; MURUA, M.; MARTÍNEZ, O.; ALBISU, M.; BARRON, L.J. R. A Sustainable Material for Sheep's Cheese Wedges Stored under Different Atmosphere Conditions. **Foods**, v. 13, n. 9, 1423, 2024.

NATRELLA, G.; RANE, R. S.; PAWASE, P. A.; SHAMS, R.; DARSHAN, G.; BASHIR, O.; ROY, S. A Comprehensive Review on the Biogenic Amines in Fermented Foods: Formation, Health Risks and Control Strategies. **Foods**, v. 13, n. 16, p. 2583, 2024.

NEVIANI, E.; BOTTARI, B.; LAZZI, C.; GATTI, M. New developments in the study of the microbiota of raw-milk, long-ripened cheeses by molecular methods: the case of Grana Padano and Parmigiano Reggiano. **Frontiers in Food Microbiology**, v. 4, n. 36, p. 1- 14, 2013.

OLIVEIRA, M. E. G.; OLIVEIRA, C. J. B.; SOUZA, E. L.; MARTINS, A. M.; CUNHA NETO, A.; PINTADO, M. M. E. Changes in the physicochemical composition of cheeses matured under different storage conditions. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, e2017031, p. 1–9, 2018b.

PANIAGUA, M. A. M. **Comparação organoléptica entre queijos maduros tipo parmesano a base de leite entera de búfala (*Bubalus bubalis*) e base de leite entera de vaca (*Bos taurus*)**. 2019. Tese (doutorado) - Universidade de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2019.

PARENTE, E.; COGAN, T. M. Starter Cultures: General Aspects. *In*: McSWEENEY, P.L.H.; FOX, P.F.; COTTER, P.D.; EVERETT, D.W. (Ed.). **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**. 3. ed. Academic Press, 2004.

PASTORINO A. J.; HANSEN, C. L.; MCMAHON, D. J. Effect of salt on the structure-function relationships of cheese. **Journal of Dairy Science**. v. 86, n.2, p. 60-69, 2003.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 6, p. 36-60, 2013.

PEREIRA, D. B. C.; SILVA, P. H. F.; COSTA JÚNIOR, L. C. G.; OLIVEIRA, L. L. **Físico-química do leite e derivados: métodos analíticos**. 2. ed. ampl. e rev. Juiz de Fora: Templo Gráfica e Editora, 2001. p.234.

PEREIRA, D. A. **Efeito de diferentes condições de maturação nas características do queijo minas artesanal**. 2019. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

PERRY, K. S. P. Queijos: aspectos químicos, bioquímicos e microbiológicos. **Química Nova**, v. 27, n. 2, p. 293-300, 2004.

PETROVIC, T.; LEONARDI, L.; PERNA, A.; FAVATI, F.; DI MONACO, R.; DONATO, L. Effects of ripening conditions on the water distribution and microstructure of *Parmigiano Reggiano* cheese. **Dairy Science & Technology**, v. 101, p. 397–409, 2021.

PRASAD, P.; KOCHHAR, A. Embalagens ativas na indústria alimentícia: uma revisão. **Jornal de Ciência Ambiental, Toxicologia e Tecnologia de Alimentos**, v.8, p.1–7. 2014.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing (Version 4.4) [*Computer software*]. Vienna, Austria, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 mar. 2025.

REBELLO, F. F. P. Novas tecnologias aplicadas às embalagens de alimentos – Revisão. **Revista Agrogeoambiental**, v. 1, n. 3, p. 156-164, 2009.

RIBEIRO, J. C. B.; CARDOSO, C. R.; ESMERINO, L. A.; SANTOS, R. D.; DEMIATE, I. M.; NOGUEIRA, A. Qualidade físico-química e microbiológica do queijo Parmesão ralado comercializado em Ponta Grossa, Paraná. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 67, p. 9-21, 2012.

RP ROBOTIC. **Benefits and Advantages of Using Palletizing Robots in Manufacturing and Warehouse Operations**. RP Robotic, 2024. Disponível em: <https://www.rprobolic.com>. Acesso em: 5 jul. 2025.

ROBINSON, R. K. Proteolysis in cheese during ripening. In: Fox, P. F. (Ed.), **Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology**, Vol. 1, General Aspects. London: Elsevier Applied Science, 1987.

ROSA, F. C. P.; NOGUEIRA, V. F.; VILAS BOAS, B. M.; SILVA, A. C. F. M.; APARECIDO, L. E. O.; MARTINS, J. P.; ROCHA, M. V.; SILVA, D. B. Maturação de queijo parmesão embalado à vácuo: um estudo comparativo à maturação convencional. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 7, n. 4, p. 1-17, 2024.

SÁ, L. F. C.; MARTINS, J. M.; MARTINS, M. L.; ELLENA, E. A.; MOREIRA, B. C.; PEREIRA, L. L. C.; NASCIMENTO, W. C. A.; PEREIRA, D. A. Qualidade microbiológica do queijo Minas artesanal do Campo das Vertentes. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 110013-110028, 2021.

SANTOS, C. I. A.; SALGADO, C. A.; VANETTI, M. C. D. Lipases bacterianas: impactos na qualidade de produtos lácteos e potencial biotecnológico. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, e230101321213, 2021.

SANTOS, L. A. S. Influência da embalagem a vácuo na preservação da cor de queijos durante a maturação. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 13, n. 2, p. 199-209, 2019.

SARDARODIYAN, M.; MAHDIAN, E. Active packaging systems for a modern society. **International Journal of Pharm Tech Research**, v. 9, n. 7, p 357-363, 2016.

SCOT CONSULTORIA. 2013. **Produção de queijos no Brasil deve ultrapassar 1,0 milhão de toneladas em 2013**. Disponível em: <<http://www.scotconsultoria.com.br/noticias/artigos/28592/producao-dequeijos-no-brasil-deve-ultrapassar-10-milhao-de-toneladas-em-2013.htm>>. Acesso em: 07 de janeiro de 2018.

SCOTT, R., ROBINSON, RK e WILBEY, RA (1998). **Introdução à fabricação de queijos**. Em R. Scott (Ed.), *Prática de fabricação de queijos* (segunda edição, pp. 37-43. 2004.

SIRACUSA, V. Food Packaging Permeability Behaviour: A Report. **International Journal of Polymer Science**, v. 2012, n. 1 p. 302029, 2012.

SILVA, P. H. F., PINHEIRO, A. J. R., GOMES, J. C. PARREIRAS, J. F. M., MOSQUIM, M. C. A. V., FURTADO, M. M. Desenvolvimento de metodologia analítica para avaliação de proteólise em queijos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 50, n. 295, p. 15 - 29. 1995.

SILVA, J. P.; OLIVEIRA, M. A.; SANTOS, R. T. Composição de queijos Parmesão produzidos em diferentes regiões do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 35, n. 2, p. 123-130, 2015.

SINGH, R.; NALWA, H.S. Medical applications of nanoparticles in biological imaging, cell labeling, antimicrobial agents and anticancer nanodrugs. **Journal of Biomedical Nanotechnology**, v.7, p.489–503,2011.

SOARES, N. de F. F.; PIRES, A. C. S.; CAMILLOTO, G. P.; SANTIAGO-SILVA, P.; ESPITIA, P. J. P.; SILVA, W. A. Recent patents on active packaging for food application. **Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture**, v.1, n. 2, p.171–178, 2009.

SOUZA, B. M. de. **Efeito da utilização de embalagem ativa na maturação do Queijo minas artesanal da microrregião campo das vertentes**. 2022. 69f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2022.

SOUZA, V. G. L de. **Desenvolvimento de bio-nanocompósitos de quitosano / montmorilonite incorporados com extratos naturais como embalagens ativas para alimentos**. 2018. 229f. Dissertação (doutorado) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018.

SP NEWS. **Less moisture and cutting loss: cheese maturation with active packaging**. 2024. Disponível em: <https://spnews.com/less-moisture>. Acesso em: 5 jul. 2025.

STADHOUDERS, J.; HUP, G.; VAN DER WALLS, C. B. Determination of calf rennet in cheese. **Netherlands Milk and Dairy Journal**, v. 31, p. 3-15, 1977.

SUZUKI-IWASHIMA, A., MATSUURA, H., IWASAWA, A. e SHIOTA, M. Metabolomics analyses of the combined effects of lactic acid bacteria and *Penicillium camemberti* on the generation of volatile compounds in model mold-surface-ripened cheeses. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 129, n. 3, p. 333-347, 2020.

SWISSLOG. **How Pallet Automation is Revolutionizing Warehouse Operations**. Swisslog, 2025. Disponível em: <https://www.swisslog.com>. Acesso em: 5 jul. 2025.

TARAPATA, J.; SZYMAŃSKA, E.; VAN DER MEULEN, L.; MILTENBURG, J.; HUPPERTZ, T. Moisture Loss from Cheese During Baking: Influence of Cheese Type, Cheese Mass, and Temperature. **Foods**, v. 14, n. 2, p. 165, 2025.

THE JAMOVI PROJECT. **Jamovi**. (Version 2.6) [Computer Software], 2024. Disponível em: <https://www.jamovi.org>.

THIERRY, A.; COLLINS, Y. F.; ABEIJÓN MUKDSI, M. C.; MCSWEENEY, P. L. H.; WILKINSON, M. G.; SPINNLER, H. E. Lipolysis and metabolism of fatty acids in cheese. In: MCSWEENEY, P. L. H.; FOX, P. F.; COTTER, P. D.; EVERETT, D. W. **Cheese: Chemistry, physics and microbiology**. San Diego: Academic Press, 2015.

THOMAS, T. D.; CROW, V. L. Mechanism of D(--lactic acid formation in Cheddar cheese (Mecanismo de formação de ácido D(-- láctico no queijo Cheddar). **Journal of Dairy Science and Technology**, 18, 131-141, 1983.

TOPTIER. **How Smart Palletizing Strategies Lead to Cost Savings**. TopTier, 2025. Disponível em: <https://www.toptier.com>. Acesso em: 5 jul. 2025.

TROMBETE, F. M.; FRAGA, M. E.; SALDANHA, T. Avaliação da qualidade química e microbiológica de queijo Parmesão ralado comercializado no Rio de Janeiro. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 67, p. 6-11, 2012.

ZHENG, X.; SHI, X.; WANG, B. A Review on the General Cheese Processing Technology, Flavor Biochemical Pathways and the Influence of Yeasts in Cheese. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 703284, 2021.

VIOTTO, W. H. (2009). Caracterização físico-química, reológica e sensorial de queijos tipo Prato com teor reduzido de gordura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 3, p. 123-130, 2009.

VISSER, S.; SLANGEN, K. J. On the specificity of chymosin (rennin) in its action on bovine β -casein. **Netherlands Milk and Dairy Journal**, v. 31, p. 16–30, 1977.

WALSTRA, P.; WOUTERS, J. T. M.; GEURTS, T. J. **Dairy Science Technology**. Ed 2°, Taylor & Francis Group, CRC Press, 2006.

WOLFSHOON-POMBO A. F. **Índice de proteólise em alguns queijos brasileiros**. revista boletim do leite. Rio de Janeiro, v 51 n 661, p. 1-8 1983.

WOLFSCHOON-POMBO, A. F.; LIMA, A. Extensão e profundidade de proteólise em queijo Minas Frescal. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, p. 261-266, 1989.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD.
Case study: DSM's Pack-Age® reduces waste by 3–7% and increases efficiency up to 4%. 2019. Disponível em: https://docs.wbcsd.org/2019/07/WBCSD-Case-study_DSM.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

WYRWA, J.; BARSKA, A. Innovations in the food packaging market: Active packaging. **European Food Research and Technology**, v. 243, p. 1681-1692, 2017.

YILDIRIM, S. Active Packaging Applications for Food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, p. 165-199, 2018.

ZUILEN, D. V. **Case Study 2 – Tackling Food Loss and Waste**. World Business Council for Sustainable Development, Switzerland, 2019. Disponível em: https://docs.wbcsd.org/2019/07/WBCSD-Case-study_DSM.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.