



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Paula Gimenez de Souza

**APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS A VÁCUO NO DESENVOLVIMENTO DE  
SNACKS DE QUEIJO MUÇARELA**

FLORIANÓPOLIS

2021

Paula Gimenez de Souza

**APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS A VÁCUO NO DESENVOLVIMENTO DE  
SNACKS DE QUEIJO MUÇARELA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação  
de Engenharia de Alimentos da Universidade  
Federal de Santa Catarina para a obtenção do  
título de doutor em Engenharia de Alimentos.  
Orientador: Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar  
Carciofi  
Coorientador: Prof. Dr. João Borges Laurindo

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

SOUZA, PAULA GIMENEZ DE  
APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS A VÁCUO NO DESENVOLVIMENTO DE  
SNACKS DE QUEIJO MUÇARELA / PAULA GIMENEZ DE SOUZA ;  
orientador, BRUNO AUGUSTO MATTAR CARCIOFI, coorientador,  
JOÃO BORGES LAURINDO, 2021.  
186 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. SECAGEM A VÁCUO. 3.  
SNACK DE QUEIJO. 4. TEXTURA. 5. ARMAZENAMENTO. I. AUGUSTO  
MATTAR CARCIOFI, BRUNO . II. BORGES LAURINDO, JOÃO. III.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós  
Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Paula Gimenez de Souza

**APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS A VÁCUO NO DESENVOLVIMENTO DE  
SNACKS DE QUEIJO MUÇARELA**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz, Dr(a).

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Bárbara Porciuncula, Dr(a).

Universidade Estadual de Maringá

Prof. Cristiano José de Andrade, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutor em Engenharia de Alimentos.

---

Prof. Dr.(a) Jaciane Lutz Ienczak

Subcoordenador(a) do Programa

---

Prof. Dr.(a) Bruno Augusto Mattar Carciofi

Orientador

Florianópolis, 20 de dezembro de 2021.

Este trabalho é dedicado à minha família e ao Felipe de Oliveira  
Manente (*in memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

À Deus por colocar em meu caminho pessoas especiais que me permitiram concluir esta tese.

Aos meus pais e meus irmãos pelo amor e suporte incondicionais.

Ao Felipe de Oliveira Manente (*in memoriam*) por percorrer grandes desafios ao meu lado, sempre acreditando nos meus sonhos e nunca me deixando desanimar. Por me fornecer suporte durante tantas turbulências e crises. Por me ensinar tanto sobre o amor e compartilhar comigo a sua vida. Por me apresentar o mundo. Você estará para todo o sempre em meu coração. Você faz tanta falta aqui. Eu sei que você estaria na primeira fileira para comemorar essa nossa conquista, então esse trabalho também é para você. Espero que esteja orgulhoso.

À família Tedesco Bolzan, especialmente ao Lucas. Sem seu incentivo essa tese ainda estaria guardada apenas como um arquivo de computador. Você tem me ensinado a viver plenamente e me mostrado novas possibilidades para ser feliz. Não tem ideia como você é importante na minha vida e como foi essencial para a conclusão dessa tese.

À minha terapeuta Tatiana Brum Mendes que me guiou durante o pior momento da minha vida para um caminho de luz.

Ao meu orientador Bruno Augusto Mattar Carciofi pela parceria e, principalmente, pelo apoio absoluto em todas as dificuldades que percorri nestes tantos anos de trabalho juntos.

Aos meus colegas de trabalho, especialmente o Ricardo Lemos Monteiro e a Raquel Simão, que possibilitaram grandes ensinamentos sobre o assunto discutido na tese.

Às minhas amigas inseparáveis Amada Coelho da Costa e Nathália Buss da Silva pela presença diária na minha vida.

Aos meus amigos Marcelo de Souza dos Santos e Édipo Almeida que compartilharam comigo os rolês mais aleatórios e sempre me fizeram rir.

Aos demais amigos, colegas e família que sempre torceram pelo meu sucesso.

*O que não te desafia, não te transforma*  
*(Autor desconhecido)*

## RESUMO

O presente estudo avaliou o desenvolvimento de *snacks* de queijo muçarela utilizando a secagem por micro-ondas a vácuo (MWVD). Parâmetros de processo como densidade de potência das micro-ondas ( $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ ), pressão (40 mbar e 60 mbar), temperatura inicial ( $8 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e conteúdo de gordura do queijo (tradicional e *light*) foram avaliados de forma combinada. Pontos ao longo da cinética de secagem foram caracterizados quanto à umidade, atividade de água, cor, textura e acústica para a definição do tempo adequado de processo. Além disso, a estabilidade frente a oxidação lipídica do *snack* foi determinada pelo método TBARS durante 120 dias de armazenamento em pressão atmosférica e sob vácuo. O método MWVD se apresentou adequado para a desidratação de queijo muçarela. As cinéticas não sofreram influência da pressão empregada. O tempo de processo variou entre 24 min e 40 min. Os *snacks* obtidos a partir da versão *light* do queijo apresentaram uma estrutura mais crocante e maior resistência à oxidação lipídica. O armazenamento sob vácuo também garantiu menores danos oxidativos ao produto. Apesar das diferentes condições estudadas se apresentarem viáveis para a produção de *snacks* de queijo muçarela em MWVD, a que apresentou a melhor viabilidade de produção atingindo as melhores características de textura e armazenamento foi a que utilizou o queijo muçarela *light* com a pressão de vácuo de 60 mbar, temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e acondicionamento a vácuo.

**Palavras-chave:** Secagem a vácuo. Alimento proteico. Textura. Crocância. Vida útil.



## ABSTRACT

The present study evaluated the development of mozzarella cheese snacks using vacuum microwave drying (MWVD). Process parameters such as microwave power ( $1,0 \text{ W g}^{-1}$  and  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ ), vacuum pressure (40 mbar and 60 mbar), initial temperature ( $8 \text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) and cheese fat content (traditional and light) were evaluated. Drying kinetics points were characterized by moisture, water activity, color, texture and acoustics for the definition of the appropriate final process time. In addition, the stability against lipid oxidation of the snack was determined by the TBARS method during 120 days of storage in atmospheric pressure and under vacuum. The MWVD method was adequate for mozzarella cheese dehydration. Kinetics were not influenced by the pressure employed. The process time varied between 24 min and 40 min. The snacks obtained from the light version of the cheese presented a crispier structure and more resistance to lipid oxidation. Vacuum storage also ensured less oxidative damage to the product. Although the different conditions studied were viable for the production of mozzarella cheese snacks in MWVD, the one that presented the best production viability, reaching the best texture and storage characteristics was the one that used light mozzarella cheese with a vacuum pressure of 60 mbar, initial temperature of  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , power density of  $1.5 \text{ W g}^{-1}$  and vacuum conditioning.

**Keywords:** Vacuum drying. Protein food. Texture. Crispness. Shelf life.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de produção do queijo muçarela.....	18
Figura 2 - Esquema de como um alimento pode reagir à força aplicada com os dentes. .....	27
Figura 3 - Emissão acústica durante a ruptura de um produto crocante.....	28
Figura 4 - Interações entre parâmetros relacionados à crocância de um alimento.....	30
Figura 5 - Catabolismo dos ácidos graxos livres.....	32
Figura 6 - Dispositivo experimental para desidratação de queijos muçarela.....	36
Figura 7 - Representação esquemática do procedimento experimental utilizado para definição da influência dos parâmetros – conteúdo de gordura no queijo, temperatura inicial da amostra, pressão de vácuo aplicada na câmara e potência do micro-ondas - nas cinéticas de secagem do queijo muçarela em MWVD.....	36
Figura 8 - Avaliação da influência do conteúdo de gordura ( <i>light</i> ou tradicional) na cinética de secagem de queijo muçarela em MWVD nas diferentes condições de secagem. ..	39
Figura 9 - Gordura expelida do queijo muçarela tradicional no tambor rotativo do MWVD.....	43
Figura 10 - Avaliação da influência da temperatura inicial (8 °C ou 20 °C) da amostra na cinética de secagem de queijo muçarela em MWVD.....	43
Figura 11 - Avaliação da influência da pressão de vácuo (40 mbar ou 60 mbar) aplicada no sistema MWVD na cinética de secagem de queijo muçarela.....	47
Figura 12 - Avaliação da influência da densidade de potência (1,0 W g <sup>-1</sup> ou 1,5 W g <sup>-1</sup> ) aplicada na cinética de secagem de queijo muçarela em MWVD.....	51
Figura 13 - Representação esquemática do procedimento experimental utilizado para o estudo da formação dos <i>snacks</i> de queijo muçarela e a influência dos parâmetros – conteúdo de gordura no queijo, temperatura inicial da amostra e potência do micro-ondas - nas características do produto.....	60
Figura 14 - Representação esquemática da caixa semi-aneecóica utilizada para análise acústica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela produzidos em MWVD.....	62
Figura 15 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.....	64

Figura 16 - Curva representativa do teste de perfuração para os <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.....	65
Figura 17 - Curva representativa do teste de compressão para os <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.....	66
Figura 18 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.....	68
Figura 19 - Curva representativa do teste de perfuração para os <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.....	70
Figura 20 - Curva representativa do teste de compressão para os <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.....	71
Figura 21 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.....	73
Figura 22 - Curva representativa do teste de perfuração para os <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.....	74
Figura 23 - Curva representativa do teste de perfuração para os <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.....	76
Figura 24 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.....	78
Figura 25 - Curva representativa do teste de perfuração para os <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.....	79
Figura 26 - Curva representativa do teste de compressão para os <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.....	81

Figura 27 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	82
Figura 28 - Curva representativa do teste de perfuração para os <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	84
Figura 29 - Curva representativa do teste de compressão para os <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	85
Figura 30 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	87
Figura 31 - Curva representativa do teste de perfuração para os <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	88
Figura 32 - Curva representativa do teste de compressão para os <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	90
Figura 33 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	92
Figura 34 - Curva representativa do teste de perfuração para os <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	93
Figura 35 - Curva representativa do teste de compressão para os <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	94
Figura 36 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	96
Figura 37 - Curva representativa do teste de perfuração para os <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	98

Figura 38 - Curva representativa do teste de compressão para os <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	99
Figura 39 - Representação esquemática do procedimento experimental utilizado para o estudo da influência do armazenamento dos <i>snacks</i> de queijo muçarela em pressão atmosférica e sob vácuo nas características do produto. ....	104
Figura 40 - Fluxograma das etapas para a realização da análise de oxidação lipídica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela.....	106
Figura 41 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	108
Figura 42 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e armazenados em pressão atmosférica nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.....	112
Figura 43 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	113
Figura 44 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e armazenados em pressão atmosférica nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.....	117
Figura 45 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	118
Figura 46 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e armazenados em pressão atmosférica nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente. ....	122
Figura 47 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	123

Figura 48 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e armazenados em pressão atmosférica nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente. ....	127
Figura 49 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo.....	128
Figura 50 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e armazenados sob vácuo nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente. ....	132
Figura 51 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo.....	133
Figura 52 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e armazenados sob vácuo nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente. ....	137
Figura 53 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo. ....	138
Figura 54 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e armazenados sob vácuo nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente. ....	142
Figura 55 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo.....	143
Figura 56 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e armazenados sob vácuo nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente. ....	147
Figura 57 - MWVD de muçarela <i>light</i> a 20 °C, 1,0 W g <sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	162
Figura 58 - MWVD de muçarela <i>light</i> a 20 °C, 1,5 W g <sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	162

Figura 59 - MWVD de muçarela <i>light</i> a 20 °C, 1,0 W g <sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	163
Figura 60 - MWVD de muçarela <i>light</i> a 20 °C, 1,5 W g <sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	163
Figura 61 - MWVD de muçarela <i>light</i> a 8 °C, 1,0 W g <sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	164
Figura 62 - MWVD de muçarela <i>light</i> a 8 °C, 1,5 W g <sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	164
Figura 63 - MWVD de muçarela <i>light</i> a 8 °C, 1,0 W g <sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	165
Figura 64 - MWVD de muçarela <i>light</i> a 8 °C, 1,5 W g <sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	165
Figura 65 - MWVD de muçarela integral a 20 °C, 1,0 W g <sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	166
Figura 66 - MWVD de muçarela integral a 20 °C, 1,5 W g <sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	166
Figura 67 - MWVD de muçarela integral a 20 °C, 1,0 W g <sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	167
Figura 68 - MWVD de muçarela integral a 20 °C, 1,5 W g <sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	167
Figura 69 - MWVD de muçarela integral a 8 °C, 1,0 W g <sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. ....	168

Figura 70 - MWVD de muçarela integral a 8 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. .... 168

Figura 71 - MWVD de muçarela integral a 8 °C, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. .... 169

Figura 72 - MWVD de muçarela integral a 8 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem. .... 169



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição básica do queijo muçarela. ....	18
Tabela 2 - Fatores críticos de processo no aquecimento por micro-ondas.....	24
Tabela 3 - Tabela nutricional do queijo muçarela Tirolez em uma porção de 30 g...34	
Tabela 4 - Taxas de secagem para as condições de secagem de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD. ....	54
Tabela 5 - Taxas de secagem para as condições de secagem de queijo muçarela tradicional em MWVD. ....	55
Tabela 6 - Caracterização do queijo muçarela <i>light</i> inserido no sistema MWVD e do <i>snack</i> produzido a partir dele nas diferentes condições de secagem. ....	56
Tabela 7 - Caracterização do queijo muçarela tradicional inserido no sistema MWVD e do <i>snack</i> produzido a partir dele nas diferentes condições de secagem. ....	56
Tabela 9 - Tempos de retirada das amostras de queijo muçarela do sistema MWVD para caracterização dos <i>snacks</i> . ....	60
Tabela 10 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.....	64
Tabela 11 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	65
Tabela 12 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	66
Tabela 13 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	67
Tabela 14 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	67
Tabela 15 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.....	69

Tabela 16 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	70
Tabela 17 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	71
Tabela 18 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	72
Tabela 19 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	72
Tabela 20 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	74
Tabela 21 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	75
Tabela 22 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	76
Tabela 23 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	77
Tabela 24 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	77
Tabela 25 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	78
Tabela 26 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	80

Tabela 27 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	80
Tabela 28 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	81
Tabela 29 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	82
Tabela 30 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	83
Tabela 31 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	84
Tabela 32 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	85
Tabela 33 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	86
Tabela 34 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	86
Tabela 35 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	88
Tabela 36 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	89
Tabela 37 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	90

Tabela 38 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	91
Tabela 39 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	91
Tabela 40 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	92
Tabela 41 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	93
Tabela 42 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	94
Tabela 43 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	95
Tabela 44 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C. ....	96
Tabela 45 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	97
Tabela 46 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	98
Tabela 47 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	99
Tabela 48 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	100

Tabela 49 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	100
Tabela 50 - Tempos de processo em MWVD para preparar os <i>snacks</i> de queijo muçarela para estudo do armazenamento em pressão atmosférica e sob vácuo. ....	104
Tabela 51 - Classificação das amostras conforme o processo utilizado em MWVD para a produção dos <i>snacks</i> de queijo muçarela e a condição de armazenamento aplicada. ....	105
Tabela 52 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em pressão atmosférica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	109
Tabela 53 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	110
Tabela 54 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	111
Tabela 55 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em pressão atmosférica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	114
Tabela 56 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	115
Tabela 57 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	116
Tabela 58 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em pressão atmosférica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	119
Tabela 59 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	120

Tabela 60 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	121
Tabela 61 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em pressão atmosférica dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	124
Tabela 62 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	125
Tabela 63 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica. ....	126
Tabela 64 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em vácuo dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	129
Tabela 65 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo. ....	130
Tabela 66 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo. ....	131
Tabela 67 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em vácuo dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	134
Tabela 68 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo. ....	135
Tabela 69 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela <i>light</i> produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo. ....	136
Tabela 70 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em vácuo dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	139

Tabela 71 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo. ....	140
Tabela 72 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo. ....	141
Tabela 73 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em vácuo dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C. ....	144
Tabela 74 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo. ....	145
Tabela 75 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos <i>snacks</i> de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g <sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo. ....	146

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MWVD - Micro-ondas a vácuo contínuo

$X_{b.s.}$  - Umidade em base seca ( $g\ g^{-1}$ )

$a_w$  - Atividade de água

pH - Potencial Hidrogeniônico

$L^*$  - Luminosidade (preto – branco)

$a^*$  - cromaticidade (verde – vermelho)

$b^*$  - cromaticidade (azul – amarelo)

M - Massa (g)

$M_0$  - Massa inicial (g)

SPL - Nível de pressão sonora (*Sound Pressure Level*)

$SPL_{eq}$  - Nível médio de pressão sonora

$SPL_{máx}$  - Nível máximo de pressão sonora

$SPL_{máx,10}$  - Nível de pressão sonora equivalente dos 10 maiores picos sonoros



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1	QUEIJOS.....	17
<b>2.1.1</b>	<b>Queijo muçarela .....</b>	<b>17</b>
2.1.1.1	Muçarela <i>light</i> .....	19
<b>2.1.2</b>	<b>Queijos desidratados .....</b>	<b>20</b>
2.2	DESIDRATAÇÃO E SECAGEM .....	20
<b>2.2.1</b>	<b>Métodos de Secagem .....</b>	<b>21</b>
2.2.1.1	Uso de Vácuo: motivos e consequência .....	21
2.2.1.2	Micro-ondas a vácuo contínuo (MWVD) .....	22
2.2.1.2.1	<i>Mecanismo de secagem no MWVD</i> .....	22
2.2.1.2.2	<i>Períodos de secagem</i> .....	23
2.2.1.2.3	<i>Fatores críticos para a secagem em micro-ondas</i> .....	24
2.2.1.2.4	<i>Vantagens na secagem por micro-ondas a vácuo</i> .....	24
2.3	<i>SNACKS</i> .....	25
2.4	TEXTURA DE ALIMENTOS CROCANTES .....	26
<b>2.4.1</b>	<b>Técnicas sensoriais .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Técnicas instrumentais.....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Técnicas morfológicas .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Técnicas combinadas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Textura em alimentos produzidos por diferentes métodos de secagem .....</b>	<b>30</b>
2.5	ESTABILIDADE AO ARMAZENAMENTO DE QUEIJOS .....	31

<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE PROCESSO NA CINÉTICA DE DESIDRATAÇÃO DO QUEIJO MUÇARELA .....</b>	<b>33</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	33
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.2.1	<b>Matéria-prima .....</b>	<b>34</b>
3.2.2	<b>Dispositivo experimental para a desidratação .....</b>	<b>35</b>
3.2.3	<b>Procedimento experimental.....</b>	<b>36</b>
3.2.4	<b>Caracterização das amostras.....</b>	<b>37</b>
3.2.4.1	Umidade e Atividade de água .....	37
3.2.4.2	Temperatura.....	37
3.2.4.3	Teor de Gordura .....	38
3.2.5	<b>Determinação da taxa de secagem .....</b>	<b>38</b>
3.2.6	<b>Análise estatística .....</b>	<b>38</b>
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
3.3.1	<b>Influência da concentração de gordura na cinética de secagem do queijo muçarela</b>	<b>38</b>
3.3.2	<b>Influência da temperatura inicial da amostra na cinética de secagem do queijo muçarela .....</b>	<b>43</b>
3.3.3	<b>Influência da pressão de vácuo no MWVD na cinética de secagem do queijo muçarela .....</b>	<b>47</b>
3.3.4	<b>Influência da potência no MWVD na cinética de secagem do queijo muçarela.</b>	<b>50</b>
3.3.5	<b>Taxas de secagem.....</b>	<b>54</b>
3.3.6	<b>Caracterização anterior e posterior à secagem em MWVD do queijo muçarela</b>	<b>55</b>
3.4	CONCLUSÃO.....	57
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 2 – EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO QUEIJO MUÇARELA EM MWVD DURANTE A FORMAÇÃO DOS <i>SNACKS</i> .....</b>	<b>58</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	58
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	59

4.2.1	Matéria-prima .....	59
4.2.2	Dispositivo experimental.....	59
4.2.3	Procedimento experimental.....	59
4.2.4	Caracterização das amostras.....	61
4.2.4.1	Umidade e Atividade de água .....	61
4.2.4.2	Cor.....	61
4.2.4.3	Análise mecânica.....	61
4.2.4.4	Análise acústica.....	62
4.2.4.5	Análise estatística.....	63
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	63
4.3.1	Produção de <i>snacks</i> de muçarela <i>light</i> a 1,0 W g <sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 8 °C	63
4.3.2	Produção de <i>snacks</i> de muçarela <i>light</i> a 1,0 W g <sup>-1</sup> com temperatura inicial de 20 °C	68
4.3.3	Produção de <i>snacks</i> de muçarela <i>light</i> a 1,5 W g <sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 8 °C	73
4.3.4	Produção de <i>snacks</i> de muçarela <i>light</i> a 1,5 W g <sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 20 °C	78
4.3.5	Produção de <i>snacks</i> de muçarela tradicional a 1,0 W g <sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 8 °C .....	82
4.3.6	Produção de <i>snacks</i> de muçarela tradicional a 1,0 W g <sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 20 °C.....	86
4.3.7	Produção de <i>snacks</i> de muçarela tradicional a 1,5 W g <sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 8 °C .....	92
4.3.8	Produção de <i>snacks</i> de muçarela tradicional a 1,5 W g <sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 20 °C.....	96
4.4	CONCLUSÃO.....	101
5	CAPÍTULO 3 – EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS <i>SNACKS</i> DE QUEIJO MUÇARELA DURANTE O ARMAZENAMENTO.....	102

5.1	INTRODUÇÃO.....	102
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	103
<b>5.2.1</b>	<b>Matéria-prima .....</b>	<b>103</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Dispositivo experimental.....</b>	<b>103</b>
	O dispositivo experimental utilizado no estudo está descrito no tópico 3.2.2.....	103
<b>5.2.3</b>	<b>Procedimento experimental.....</b>	<b>103</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Caracterizações dos <i>snacks</i> de queijo muçarela durante armazenamento .....</b>	<b>105</b>
5.2.4.1	Umidade e Atividade de água .....	105
5.2.4.2	Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	105
5.2.4.3	Oxidação lipídica.....	106
5.2.4.4	Cor.....	106
5.2.4.5	Análise mecânica.....	107
5.2.4.6	Microscopia óptica .....	107
5.2.4.7	Análise estatística .....	107
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	108
<b>5.3.1</b>	<b>Pressão atmosférica / <i>light</i> / 1,0 W g<sup>-1</sup> / 20 °C .....</b>	<b>108</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Pressão atmosférica / <i>light</i> / 1,5 W g<sup>-1</sup> / 20 °C .....</b>	<b>112</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Pressão atmosférica / tradicional / 1,0 W g<sup>-1</sup> / 20 °C .....</b>	<b>117</b>
<b>5.3.4</b>	<b>Pressão atmosférica / tradicional / 1,5 W g<sup>-1</sup> / 20 °C .....</b>	<b>122</b>
<b>5.3.5</b>	<b>Vácuo / <i>light</i> / 1,0 W g<sup>-1</sup> / 20 °C .....</b>	<b>127</b>
<b>5.3.6</b>	<b>Vácuo / <i>light</i> / 1,5 W g<sup>-1</sup> / 20 °C .....</b>	<b>132</b>
<b>5.3.7</b>	<b>Vácuo / tradicional / 1,0 W g<sup>-1</sup> / 20 °C .....</b>	<b>137</b>
<b>5.3.8</b>	<b>Vácuo / tradicional / 1,5 W g<sup>-1</sup> / 20 °C .....</b>	<b>142</b>
5.4	CONCLUSÃO.....	147
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>149</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>150</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>151</b>
	<b>APÊNDICE A – Cinéticas de secagem de queijo muçarela em MWVD .....</b>	<b>162</b>

## DIAGRAMA CONCEITUAL

### APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS A VÁCUO NO DESENVOLVIMENTO DE *SNACKS* DE QUEIJO MUÇARELA

#### Por quê?

- A muçarela é o queijo mais consumido no mundo, devido às características sensoriais agradáveis, preço acessível e versatilidade de uso na culinária;
- A desidratação gera o aumento da vida útil com redução do crescimento microbiano e das atividades enzimáticas;
- A secagem por micro-ondas a vácuo (MWVD) é uma alternativa para a obtenção de *snacks* de queijo com características crocantes.

#### O que foi feito?

- Liofilização, secagem convectiva e por micro-ondas a vácuo foram aplicadas na produção de alimentos desidratados;
- A secagem MWVD já se mostrou eficiente na produção de alimentos crocantes, utilizando temperaturas moderadas com altas taxas de secagem;
- Aplicação de MWVD para produção de *snacks* de queijo com baixo teor de gordura.

#### Hipóteses

- É possível produzir *snacks* de queijo a partir de queijos com teor de gordura intermediária;
- O teor de gordura presente no queijo muçarela interfere na estrutura do *snack* produzido por MWVD;
- É possível controlar a taxa de oxidação lipídica por meio do armazenamento sob vácuo.

#### Resultados esperados

- Condições de secagem adequadas para a obtenção de *snacks* de queijo muçarela crocantes;
- Determinar a influência dos parâmetros de secagem em MWVD na estrutura dos *snacks* de queijo muçarela



## 1 INTRODUÇÃO

Processos de desidratação estão relacionados ao prolongamento da vida útil de alimentos por meio da redução do crescimento microbiano e a limitação da atividade enzimática, prevenindo a deterioração física e bioquímica (HORSZWALD; JULIEN; ANDLAUER, 2013). Apesar da existência de diferentes tecnologias de secagem aplicadas aos alimentos, 85% de todos os secadores térmicos usados na indústria de alimentos são os convencionais (MENON; STOJCESKA; TASSOU, 2020), que incluem a secagem convectiva, a secagem a vácuo, o *spray-drying* e a liofilização (TSAMI; KROKIDA; DROUZAS, 1998).

A secagem utilizando micro-ondas a vácuo é uma técnica relativamente nova, em que a evaporação da água ocorre rapidamente devido ao rápido aquecimento do material e baixa temperatura de ebulição da água em um ambiente de pressão reduzida (ANDO *et al.*, 2019). Além dessa técnica apresentar uma alta taxa de secagem (ZIELINSKA & MICHALSKA, 2016; GIRI & PRASAD, 2007; BONDARUK; MARKOWSKI; BLASZCZAK, 2007) e um menor consumo de energia (JIANG *et al.*, 2017) quando comparado a secagem convectiva e a liofilização (ZHANG *et al.*, 2006), a estrutura porosa formada no alimento durante a secagem permite a produção de *snacks* crocantes (MONTEIRO *et al.*, 2020; MONTEIRO *et al.*, 2018; MONTEIRO *et al.*, 2016).

A utilização de micro-ondas a vácuo é amplamente difundida para a desidratação de frutas e vegetais (ANDO *et al.*, 2019). A mudança de padrão de consumo de alimentos com o aumento da ingestão de produtos industrializados, no entanto, tem gerado a busca por outros tipos de *snacks*, como os produtos lácteos.

O queijo é considerado um dos derivados lácteos mais consumidos no mundo devido à grande variedade de texturas, *flavours* e valor nutricional (SIQUEIRA; SCHETTINO, 2021; DEZANI *et al.*, 2015). Entre os tipos mais consumidos no Brasil, destaca-se o queijo muçarela (EMBRAPA, 2005) devido sua versatilidade de uso na culinária, suas características sensoriais agradáveis e preço acessível.

A elaboração de *snacks* de queijo muçarela através da desidratação em micro-ondas a vácuo ainda não foi relatada na literatura. Considerando que esse método de secagem depende de diversos fatores como composição e temperatura do alimento, da potência aplicada das micro-ondas e a pressão estabelecida no sistema, a combinação desses parâmetros deve ser avaliada para a definição de um tempo ideal de secagem que garanta a obtenção de um produto sensorialmente agradável. Além

disso, o estudo sobre as condições de armazenamento é essencial para verificar a estabilidade do produto frente as condições ambientais.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

No contexto apresentado avaliou-se o processo de desidratação de queijo muçarela tradicional e *light* por micro-ondas a vácuo (MWVD) para a produção de *snacks*, verificando a influência dos parâmetros de processo na cinética de secagem e nas propriedades físico-químicas do produto obtido, além da estabilidade oxidativa do produto durante o armazenamento.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a influência do conteúdo de gordura na matéria-prima (versão tradicional e *light*) na cinética de secagem de queijo muçarela em MWVD;
- Verificar a influência da pressão de vácuo (40 mbar e 60 mbar) aplicada no MWVD na cinética de secagem do queijo muçarela;
- Verificar a influência da temperatura inicial da amostra (8 °C e 20 °C) na cinética de secagem de queijo muçarela em MWVD;
- Verificar a influência da densidade de potência das micro-ondas aplicadas no MWVD (1,0 W g<sup>-1</sup> e 1,5 W g<sup>-1</sup>) na cinética de secagem de queijo muçarela;
- Avaliar a mudança na composição (teor de gordura) do *snack* ao final da desidratação em função dos parâmetros de processo.
- Determinar o tempo ideal de desidratação de queijo muçarela em MWVD para as diferentes condições de processo com base nas características de umidade, atividade de água, cor, textura e acústica dos *snacks*.
- Avaliar e comparar a estabilidade físico-química dos *snacks* de queijo muçarela tradicional e *light* produzidos em MWVD e acondicionados sob pressão atmosférica e sob vácuo, com base na variação dos valores de umidade, atividade de água, cor, textura, microscopia óptica e oxidação lipídica durante 120 dias de armazenamento.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 QUEIJOS

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) entende-se por queijo “o produto fresco ou maturado que se obtém por separação parcial do soro do leite ou leite reconstituído (integral, parcial ou totalmente desnatado), ou de soros lácteos, coagulados pela ação física do coalho, de enzimas específicas, de bactéria específica, de ácidos orgânicos, isolados ou combinados, todos de qualidade apta para uso alimentar, com ou sem agregação de substâncias alimentícias e/ou especiarias e/ou condimentos, aditivos especificamente indicados, substâncias aromatizantes e matérias corantes” (BRASIL, 1996).

As variações na origem do leite, nas técnicas de processamento, no tempo de maturação e nos microrganismos favorecidos garantem uma enorme diversidade de produtos contemplando aproximadamente 1000 tipos de queijos ao redor do mundo (SANDINE; ELLIKER, 1970; PERRY, 2004), que se diferem em valor nutritivo, aparência, *flavour*, textura e propriedades de cozimento (GUINEE, 2016).

A associação entre o consumo de queijo e a redução do risco de doenças devido aos níveis consideráveis de lipídeos, proteínas, minerais e vitaminas presentes no produto (MATERA *et al.*, 2018) tem alavancado a produção de queijos. No Brasil estima-se que um milhão de toneladas de queijo foi produzido em 2017 (ZOCCAL, 2016).

#### 2.1.1 Queijo muçarela

O queijo muçarela é definido pela legislação brasileira como “o queijo que se obtém por filagem de uma massa acidificada, (produto intermediário obtido por coagulação de leite por meio de coalho e/ou outras enzimas coagulantes apropriadas), complementada ou não pela ação de bactérias lácticas específicas” (BRASIL, 1997). É considerado o queijo de maior consumo mundial, com correspondentes 30% de todo o queijo consumido (EVANGELISTA, 2013) e um dos mais consumidos no Brasil (PERRY, 2004).

Em 1970, o consumo *per capita* de queijo muçarela nos Estados Unidos da América era de 0,54 kg. Em 2017, esse consumo aumentou para 5,25 kg, o que corresponde a uma ingestão de

aproximadamente 1,89 bilhões de quilogramas de produto apenas nesse país. Durante o mesmo período houve um aumento substancial global na produção e consumo de queijo muçarela. Nunca uma única variedade de queijo cresceu tão rapidamente para a proeminência e gerou uma rápida escala e transformação tecnológica da indústria de fabricação de queijo como ocorreu com o muçarela no século XX (KINDSTEDT, 2019).

Apresenta como características sensoriais uma consistência suave - de acordo com o grau de umidade, conteúdo de gordura e grau de maturação -; textura elástica, fibrosa e fechada; cor branca a amarelada; sabor láctico levemente picante; odor láctico pouco perceptível; e ausência de crosta ou de olhaduras (BRASIL, 1997; PERRY, 2004).

A composição básica do queijo muçarela compreende os valores apresentados na Tabela 1.

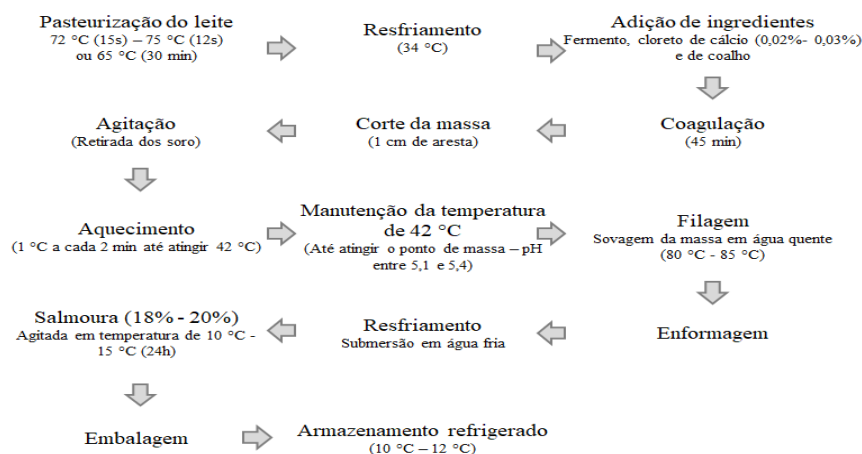
Tabela 1 - Composição básica do queijo muçarela.

Parâmetro	Valor Médio
Umidade	43% - 46%
Gordura	22% - 24%
Gordura no extrato seco	40% - 45%
Teor de sal	1,6% - 1,8%
pH	5,1 - 5,3

Fonte: EMBRAPA (2005).

O processamento do queijo muçarela compreende as seguintes etapas apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de produção do queijo muçarela.



Fonte: BRASIL (1997); PERRY (2004); EMBRAPA (2005).

O queijo muçarela pode ser consumido de forma imediata (consumo de mesa) ou apresentar um período de 10 a 15 dias de maturação na própria embalagem. Além disso, apresenta vida útil de até 90 dias sob refrigeração se devidamente embalado (QUEIJOS NO BRASIL, 2015a).

#### 2.1.1.1 Muçarela *light*

A versão *light* do queijo muçarela passa pelo mesmo processo de produção apresentado na Figura 1, no entanto utiliza o leite desnatado (conteúdo de gordura de 1,6% - 2%) como matéria-prima no lugar do leite integral (conteúdo de gordura de 3% - 3,2%) (QUEIJOS NO BRASIL, 2015b). Segundo a legislação brasileira, para um produto ser considerado *light* deve apresentar uma redução mínima de 25% no valor energético ou no conteúdo de determinado nutriente quando comparado a produtos similares convencionais (BRASIL, 2012).

A formulação de alimentos com reduzido teor de gordura acarreta no comprometimento de propriedades sensoriais importantes, uma vez que a gordura contribui para o sabor, cremosidade, aparência, aroma, odor, maciez e suculência (PINHEIRO; PENNA, 2004).

Usualmente queijos com reduzido conteúdo de gordura são caracterizados por propriedades funcionais, *flavour* e estrutura física comprometidos devido à alta umidade e baixo teor de sal. Dessa forma, a proteína apresenta uma maior função no desenvolvimento da textura do produto (MISTRY, 2001). Essas mudanças no microambiente do queijo em comparação com o produto tradicional afetam as suas características funcionais, sensoriais, microbiológicas e bioquímicas (BANKS; HUNTER; MUIR, 1993; MALIN; TUNICK, 1995; MISTRY, 2001).

Como a gordura do leite possui ácidos graxos de cadeia curta que são liberados através da ação das lipases e que contribuem para o *flavour* do queijo, quanto maior for a redução do conteúdo de gordura do leite, mais afetado será o *flavour* do produto. Além disso, como a gordura é responsável por fornecer uma determinada cremosidade ao alimento em função da sua distribuição uniforme dentro da matriz da caseína, quando a gordura é removida, ocorre uma quebra inadequada da caseína gerando uma textura relativamente mais firme (MISTRY, 2001).

Queijos muçarela com reduzido teor de gordura apresentam ainda baixa meltabilidade (TUNICK *et al.*, 1993), limitada liberação de óleo durante a fusão e elevado escurecimento quando submetido ao aquecimento comparado ao queijo muçarela tradicional (RUDAN *et al.*, 1998).

Devido ao seu elevado conteúdo de umidade e de gordura, como apresentados na Tabela 1, ambas as versões – tradicional e *light* - devem ser mantidos sob refrigeração de até 10 °C (PERRY, 2004) para a manutenção de sua integridade. Com o objetivo de eliminar essa necessidade e prolongar sua vida útil, podem-se utilizar processos de desidratação.

### 2.1.2 Queijos desidratados

Os queijos desidratados foram desenvolvidos durante a Segunda Guerra Mundial com o objetivo de preservar o alimento por um longo período de tempo. Devido à sua conveniência e grande importância econômica, diversos produtos à base de queijo desidratado foram desenvolvidos ao longo dos anos seguintes, como suplementos de nutrição, ingredientes funcionais, produtos de panificação e de uso em saladas, refeições prontas, entre outros (GUINEE, 2016).

Entre as vantagens principais dos queijos desidratados, pode-se citar a conveniência do uso para fabricantes de alimentos formulados, gestão de estoques facilitada, vida útil mais longa devido à menor atividade de água ( $a_w$ : 0,2-0,3), maior estabilidade e maior diversidade de sabores (GUINEE, 2016).

Os queijos mais adequados para a secagem são os considerados duros e quebradiços, que apresentam um sabor intenso, e que possuem baixo teor de água e de gordura na matéria seca como, por exemplo, o parmesão e o romano. Essas características são importantes devido à redução da susceptibilidade à oxidação e da agregação das partículas, de uma secagem mais eficiente e de um produto homogêneo (GUINEE, 2016).

As técnicas de desidratação de queijos mais utilizadas são a liofilização, secagem em ar quente e micro-ondas (PINHO *et al.*, 2017).

## 2.2 DESIDRATAÇÃO E SECAGEM

A desidratação é uma das mais antigas operações unitárias disseminada para a conservação e estabilização de alimentos, e se baseia na redução do teor de água do alimento a níveis baixos para melhorar a vida útil do produto (JAYAS, 2016) por meio de prensagem ou filtração, evaporação ou secagem. Os motivos para sua utilização em larga escala incluem fatores econômicos no transporte e no armazenamento devido à redução da massa e de volume, e da eliminação da necessidade de refrigeração após o processamento. Além disso, fatores físico-químicos são afetados com a redução da atividade de água que leva a inibição ou diminuição na velocidade do crescimento microbiano, nas

reações químicas e enzimáticas, reduzindo assim a deterioração do produto (GAUKEL; SIEBERT; ERLE, 2017; CORNEJO; NOGUEIRA; WILBERG, 2018; LUCAS; ZAMBIAZI; COSTA, 2018; OUAABOU *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2019). Além disso, os produtos secos apresentam um *flavour* único decorrente da quebra de proteínas durante a secagem, assim como uma melhora nas características de textura (WALDE *et al.*, 2006; TIAN *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2019).

O princípio da secagem se baseia no desequilíbrio entre a pressão de vapor de água contida no sólido ou em uma suspensão e a pressão de vapor de água do ar ambiente. A secagem é um processo de transferência de calor e massa, em que os mecanismos de transporte do líquido e vapor no interior do material dependem da estrutura e do teor de umidade (FELLOWS, 2006).

### 2.2.1 Métodos de Secagem

Um dos métodos mais populares de secagem é a secagem convencional por ar quente, onde o gênero alimentício é exposto a um fluxo constante de ar aquecido. Esse método é muito utilizado devido aos custos baixos e por ser de operação simples. No entanto, apresenta baixa eficiência na utilização de energia e um conteúdo de biocomponentes, normalmente, menor que os produtos frescos (ELMIZADEH; SHAHEDI; HAMDAMI, 2017; REN *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2019). Além disso, os produtos são caracterizados por baixa porosidade, elevada densidade aparente e qualidade reduzida (HORSZWALD; JULIEN; ANDLAUER, 2013).

A liofilização é um dos processos mais úteis para a secagem de materiais termossensíveis por se basear na desidratação por sublimação do produto congelado, utilizando temperaturas abaixo do ponto de congelamento e pressões reduzidas (27 a 133 Pa) (FELLOWS, 2006). Os produtos obtidos são geralmente caracterizados por apresentar baixa densidade, elevada porosidade e boa retenção de aroma e sabor (PELLICER *et al.*, 2019). As principais desvantagens desse processo são o longo tempo de secagem e, conseqüentemente, o alto custo energético (HORSZWALD; JULIEN; ANDLAUER, 2013).

#### 2.2.1.1 Uso de Vácuo: motivos e consequência

Considerando os métodos tradicionais, sabe-se que o uso de vácuo em sistemas de secagem reduz a temperatura aplicada no processo o que gera uma qualidade potencialmente melhor nos

produtos obtidos. Além disso, quando comparados com a secagem convencional, a secagem a vácuo apresenta uma melhor retenção de nutrientes e de compostos aromáticos (MONTEVALI; MINAEI; KHOSHTAGAZA, 2011; HORSZWALD; JULIEN; ANDLAUER, 2013).

Uma alternativa que visa a manutenção da qualidade do produto final é a secagem por micro-ondas (SOYSAL; ARSLAN; KESKIN, 2009, ZHAO *et al.*, 2014; AGHILINATEGH *et al.*, 2015; DEGHANNYA; HOSSEINLAR; HESHMATI, 2018) a vácuo, pois a combinação de micro-ondas e vácuo pode melhorar significativamente a eficiência energética e a qualidade do produto, além de aumentar as taxas de secagem e reduzir o tempo de processo (LV *et al.*, 2019). Além disso, essa técnica permite a criação de novas estruturas porosas, reduzindo o seu encolhimento (MONTEIRO *et al.*, 2015).

#### 2.2.1.2 Micro-ondas a vácuo contínuo (MWVD)

A secagem por micro-ondas a vácuo contínuo pode ser considerada um método alternativo para a desidratação de produtos, como frutas e vegetais, por meio da redução do conteúdo de umidade e da atividade de água evitando o crescimento microbiano, reduzindo as atividades enzimáticas e a taxa das reações químicas (GUNASEKARAN, 1999; DANDAMRONGRAK; YOUNG; MASON, 2002; SEREMET *et al.*, 2015). Além disso, as temperaturas reduzidas na pressão de vácuo e a ausência de oxigênio fazem desse um processo viável para utilização em produtos termossensíveis e susceptíveis à oxidação (HU *et al.*, 2006; ZHANG *et al.*, 2006; GUNASEKARAN, 1999).

##### 2.2.1.2.1 Mecanismo de secagem no MWVD

A secagem em micro-ondas a vácuo é uma técnica usada para secar alimentos rapidamente em temperaturas relativamente baixas, utilizando a irradiação de micro-ondas em um ambiente de pressão reduzida (ANDO *et al.*, 2019). Isto é, consiste na secagem em um campo eletromagnético uniforme onde o alimento é inserido de forma que o atrito e a colisão entre as moléculas de água são estimulados, aumentando assim sua temperatura e acelerando a evaporação da água, gerando uma rápida secagem (LV *et al.*, 2019; CHAHBANI *et al.*, 2018). Somado a isso, têm-se que a redução da pressão diminui o ponto de ebulição da água, podendo acelerar a vaporização de umidade desses alimentos durante o processo de secagem (ANDO *et al.*, 2019; MUI; DURANCE; SCAMAN, 2002).

A temperatura no interior das partículas secas é maior do que na superfície do produto, o que conduz ao aumento da pressão parcial, fazendo que a água de evaporação seja conduzida para a camada exterior. Além da transferência de massa, há um aumento da pressão total que acarreta no

escoamento hidrodinâmico (do líquido e do vapor), promovendo a drenagem e acelerando a desidratação (PORCIUNCULA *et al.*, 2013; CARCIOFI *et al.*, 2015; TELEKEN, 2017). O gradiente entre uma pressão de vapor no centro do material e na sua superfície resulta em altas taxas de secagem e diminuição do encolhimento do alimento (HU *et al.*, 2006; ZHANG *et al.*, 2006; GUNASEKARAN, 1999).

O aquecimento por micro-ondas é causado pela capacidade dos materiais de absorver a energia emitida pelo micro-ondas e convertê-la em calor. Esse aquecimento ocorre principalmente devido aos mecanismos dipolares e iônicos, em que as moléculas de água mudam de direção, afetadas pelo campo elétrico, interagindo com as moléculas circundantes e, como resultado, a energia cinética da água é convertida em energia térmica (HALLIDAY; RESNICK, 1973). Ou seja, a presença de umidade causa aquecimento dielétrico devido à natureza dipolar da água, pois quando um campo elétrico oscilante é incidente nas moléculas de água, o dipolo permanece polarizado e as moléculas tentam se realinhar na direção do campo elétrico. Devido à alta frequência desse campo, este realinhamento ocorre em um milhão de vezes por segundo e causa fricção interna de moléculas resultando no aquecimento volumétrico do material. Além disso, o aquecimento também pode ocorrer devido à migração oscilatória de íons em um alimento que gera calor na presença de uma oscilação de alta frequência em um campo elétrico (DATTA; DAVIDSON, 2000).

#### 2.2.1.2.2 *Períodos de secagem*

A secagem por micro-ondas a vácuo compreende três períodos. No primeiro período toda a energia é convertida em energia térmica dentro do material e, assim, a temperatura do produto aumenta com o tempo e começa a perda de umidade de forma lenta. No segundo período, o perfil de temperatura está estabilizado e a energia térmica é utilizada para vaporizar a umidade (maiores taxas de secagem). No terceiro período, por sua vez, a taxa de secagem começa a ser reduzida, e a temperatura local aumenta, pois a energia necessária para vaporizar a umidade torna-se menor que a energia emitida pelo micro-ondas, podendo, assim, gerar pontos de sobreaquecimento no produto (ZHANG *et al.*, 2006).

Para evitar esse sobreaquecimento podem-se utilizar tambores rotativos com o objetivo de homogeneizar a distribuição da onda dentro do alimento (MONTEIRO *et al.*, 2015). Além disso, a temperatura do produto pode ser regulada durante a secagem por micro-ondas através da taxa de

entrada de energia e pelo vácuo mantido na câmara. Os níveis de potência mais altos e níveis de pressão mais baixos geram uma secagem mais rápida (GUNASEKARAN, 1999).

#### 2.2.1.2.3 Fatores críticos para a secagem em micro-ondas

Os fatores críticos para a secagem por micro-ondas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores críticos de processo no aquecimento por micro-ondas.

Alimento	Formato, tamanho, composição, múltiplos componentes, conteúdo líquido e sólido.
Embalagem	Presença de elementos metálicos.
Processo	Potência, ciclo, presença de ar ou água quente envolta do alimento, tempo de equilíbrio.
Equipamento	Dimensões, formato e outras características eletromagnéticas do forno, frequência, agitação do alimento, presença de agitadores e de tambor rotativo.

Fonte: DATTA; DAVIDSON (2000).

Apesar de existirem diversos fatores que afetam o aquecimento por micro-ondas e a distribuição de calor, os mais importantes são as propriedades dielétricas e a profundidade de penetração. A propriedade dielétrica é dividida em duas partes: a parte real – definida como constante dielétrica – que significa a habilidade em estocar a energia elétrica, e a parte imaginária – definida como perda dielétrica – que significa a capacidade de conversão de energia elétrica em calor. As propriedades dielétricas são afetadas principalmente pela temperatura e frequência utilizadas no micro-ondas. Baseado na absorção das micro-ondas, os materiais são classificados em: absorvedores ou materiais de alta perda dielétrica, que são os materiais com alta absorção das micro-ondas; transparentes ou de baixa perda dielétrica, que são os materiais por onde a onda passa através deles com uma pequena atenuação; e opacos ou condutores que são os materiais que refletem as micro-ondas. A profundidade de penetração da micro-onda, por sua vez, é definida como a profundidade na qual a magnitude da energia incidente decai pela metade de seu valor inicial na superfície do material (CHANDRASEKARAN; RAMANATHAN; BASAK, 2013).

#### 2.2.1.2.4 Vantagens na secagem por micro-ondas a vácuo



Além dos curtos tempos de secagem em relação à liofilização, a secagem por micro-ondas a vácuo resulta em produtos de alta qualidade nutricional e sensorial, em termos de sabor, aroma, textura e aparência (GUNASEKARAN, 1999; ZHANG *et al.*, 2006). Por isso, é uma técnica que pode ser aplicada com sucesso para frutas, vegetais e grãos como banana, abóbora, tomate, cenoura, manga, entre outros (MONTEIRO *et al.*, 2018a; MONTEIRO *et al.*, 2015; SEREMET *et al.*, 2015; GUNASEKARAN, 1999).

Esse processo permite também o desenvolvimento de novos produtos crocantes (NOWACKA *et al.*, 2019; MONTEIRO *et al.*, 2015; SCAMAN *et al.*, 2014) com reduzidos tempos de secagem, melhora da qualidade final dos produtos (SEREMET *et al.*, 2015), com retenção dos compostos termolábeis, de nutrientes e da cor após o processamento, além do potencial de reidratação comparando com outros métodos de secagem (NOWACKA *et al.*, 2019; HU *et al.*, 2006).

Devido à estrutura porosa e crocante dos alimentos produzidos por MWVD, essa técnica surge como uma alternativa viável para a produção de “*snacks*” de queijo em diferentes formatos como cubos, *croutons*, esferas, cilindros, entre outros, transmitindo assim uma imagem de queijo mais similar ao natural em comparação com o queijo em pó. Além disso, a crocância das peças de queijo secas permite a liberação rápida do *flavour* na boca (GUINEE, 2016).

### 2.3 SNACKS

Uma extensa variedade de abordagens tem sido utilizada na literatura para definir ou classificar o termo “*snacks*”, dentre as quais se incluem o perfil de nutrientes, tempo de consumo do alimento, agrupamentos alimentares, frequência da refeição e autodesignação pelos consumidores (JOHNSON; ANDERSON, 2010).

Além de ser considerado um tipo de alimento ingerido entre as principais refeições, os “*snacks*” ainda apresentam uma conotação negativa e inadequada ao ser definido como um alimento com alta densidade calórica, pouco nutritivo e com alto teor de açúcar, sódio e/ou gorduras saturadas (HESS; SLAVIN, 2018), considerando que alguns desses tipos de alimentos são importantes fontes de nutrientes essenciais, vitaminas, fibras, ferro e de ácidos graxos monoinsaturados, como as barras de granola, iogurtes e castanhas (JOHNSON; ANDERSON, 2010).

O consumo de “*snacks*” é uma prática comum e não está relacionada com o sobrepeso ou obesidade, sendo que contribuem tanto para o fornecimento de energia como importante fonte de

nutrientes. Segundo Zizza (2014) a influência do consumo de “*snacks*” varia de acordo com o público-alvo, contribuindo para uma dieta saudável, especialmente entre os idosos ( $\geq 65$  anos).

Como existe grande interesse por parte dos consumidores em “*snacks*” crocantes, caso o produto não produza o som esperado durante a mordida então é considerado de má qualidade ou que foi produzido utilizando ingredientes ou processos inadequados, e por isso a percepção sensorial das características de textura é fundamental (DUIZER, 2001).

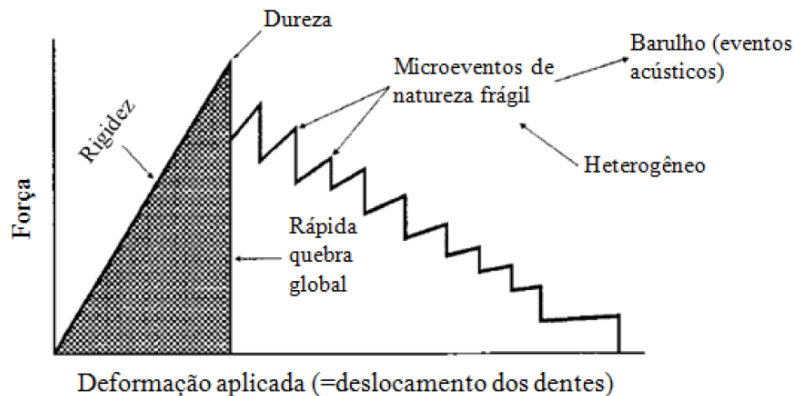
## 2.4 TEXTURA DE ALIMENTOS CROCANTES

A textura de um alimento é definida como a maneira como a sua estrutura reage quando uma força é aplicada, além de uma manifestação sensorial da estrutura do alimento, de forma que a visão, audição e a cinestesia estão envolvidas (SZCZESNIAK; KLEIN, 1963).

Quando se trata de crocância dois conceitos são apresentados: “*crispness*” e “*crunchiness*”. Segundo Barrett *et al.* (1994) “*crispness*” está associada ao som de deformação e grau de ruptura do alimento na primeira mordida com os dentes incisivos com a sua fratura completa, enquanto o “*crunchiness*” é a intensidade percebida de repetidas falhas incrementais do produto durante uma única mordida com os dentes molares. Enquanto isso, Jowitt (1974) definiu “*crispness*” como uma propriedade de textura que se manifesta pela tendência de se produzir subitamente um som característico quando submetido a uma força aplicada podendo ser utilizada para frutas e vegetais, além de alimentos secos porosos como biscoitos.

Segundo Vincent (1998) para um material ser considerado crocante ele deve apresentar vários microeventos de natureza frágil quando uma força é aplicada, emitindo eventos acústicos e sendo heterogêneo como apresentado na Figura 2, enquanto alimentos rígidos apresentam uma fratura única global ao ser aplicada determinada força. Para estudos de deformação e fraturas de alimentos crocantes, normalmente é utilizado taxas mais baixas de deformação em função do tempo a fim de avaliar os eventos separadamente, uma vez que a cada fratura ocorre uma queda na força e um evento acústico (SAELEAW; SCHLEINING, 2011; VINCENT, 1998).

Figura 2 - Esquema de como um alimento pode reagir à força aplicada com os dentes.



Fonte: VINCENT (1998).

As técnicas para determinação da crocância são definidas como sensoriais, instrumentais e morfológicas (SAELEAW; SCHLEINING, 2011).

#### 2.4.1 Técnicas sensoriais

As técnicas sensoriais são as mais sofisticadas e utilizam painéis treinados que conseguem diferenciar amostras “*crispness*” (som mais curto e agudo) e “*crunchiness*” (som mais duradouro que intercala sons altos e baixos) pelo som produzido, fratura característica, densidade e geometria (FILLION; KILCAST, 2002). Para isso, os painelistas utilizam os sentidos da visão, tato, olfato, audição e gosto (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

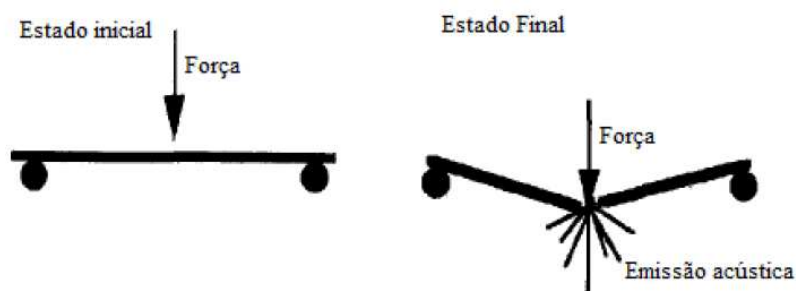
As técnicas sensoriais são divididas em descritivos, discriminativos e afetivos. Os testes descritivos avaliam os parâmetros sensoriais (aparência, odor e aroma, textura oral e manual, sabor e gosto, sensações táteis e superficiais) e medem a intensidade em que são percebidos nas propriedades intrínsecas da amostra. Os testes discriminativos medem os atributos específicos por comparações simples, ou seja, se existem ou não diferença estatística entre as amostras avaliadas. Os testes afetivos, por sua vez, são os testes de preferência ou aceitação, em que os julgadores expressam sua reação afetiva ao escolher um produto em detrimento de outro (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

#### 2.4.2 Técnicas instrumentais

As técnicas instrumentais, embora menos completas que as sensoriais, apresentam como vantagens a rapidez e facilidade de se obter resultados que podem ser comparados com os obtidos pelos painéis sensoriais de forma economicamente mais rentável, além de serem mais reproduzíveis. As fraturas avaliadas nos testes instrumentais dependem de fatores macroscópicos (geometria, comprimento, largura, espessura) e microscópicos (aspecto molecular e disposição atômica do produto, ligações químicas, impurezas, micro rachaduras pré-existentes), sendo que as principais técnicas incluem as mecânicas e as acústicas (ROUDAUT, 2002; CHAKRA; ALLAF; JEMAI, 1996).

Os testes mecânicos podem ser divididos em testes de flexão, cisalhamento e compressão, sendo que esse último é o mais utilizado por simular a mordida, através da determinação da resistência à compressão de uma sonda ou de um analisador de textura, onde os dados resultam em uma curva de força *versus* deformação (SAELEAW; SCHLEINING, 2011; ROUDAUT, 2002). A energia mecânica trazida ao sistema durante a deformação pode ser armazenada sob forma de um aumento na energia interna, resultante da modificação de ligações interatômicas. Assim, o trabalho realizado pelas forças externas durante a deformação é armazenado no sistema na forma de energia potencial elástica. Por isso, a ruptura obtida quando o estresse atinge um valor crítico induz a liberação da energia parcialmente transformada em energia acústica, como apresentado na Figura 3 (CHAKRA; ALLAF; JEMAI, 1996).

Figura 3 - Emissão acústica durante a ruptura de um produto crocante.



Fonte: CHAKRA; ALLAF; JEMAI (1996).

Como os testes mecânicos não apresentam uma correlação suficiente com a crocância sensorial e pela dificuldade de ser utilizado de forma geral, onde, por exemplo, alimentos com formatos irregulares não podem ser determinados, tem-se que esses testes podem ser utilizados apenas como indicadores desde que validados por dados sensoriais. Assim, surgiu a necessidade de se utilizar outros métodos de forma isolada ou combinada, como os métodos acústicos (SAELEAW; SCHLEINING, 2011; ROUDAUT, 2002).

Como os alimentos crocantes são formados por células planas ou por espaços celulares contendo gás, quando uma força é aplicada nessas paredes, elas se dobram e se quebram, de forma que as paredes remanescentes ou os fragmentos produzidos durante o rompimento retrocedem a forma original desencadeando vibrações que geram uma onda de pressão sonora (VICKERS; BOURNE, 1976). Assim, os testes acústicos avaliam a contribuição dos sons mastigatórios para a percepção das texturas ou ruídos de gravação produzidos durante a mastigação com o intuito de permitir a avaliação dos vários parâmetros acústicos a partir das curvas de tempo-amplitude resultantes (DUIZER, 2001).

A emissão sonora tem sido utilizada principalmente para entender e medir propriedades sensoriais dos alimentos, apesar da aplicação entre as relações formais entre som e propriedades estruturais ainda ser limitado (CHAKRA; ALLAF; JEMAI, 1996).

### **2.4.3 Técnicas morfológicas**

Para compreender a relação mecânica e acústica de um produto, é necessário o conhecimento de como a falha ocorre em materiais celulares frágeis como os alimentos e como as ondas sonoras são produzidas exatamente (TESCH; NORMAND; PELEG, 1996). Segundo a morfologia, um material pode ser caracterizado pela sua porosidade ou densidade relativa (que está relacionada com a fração de volume de ar no material); tamanho e formato das células, e a distribuição dessas propriedades; e pelo local de ausência das paredes celulares, por causa da coalescência das células de gás que causam a abertura da estrutura celular (LUYTEN; PLIJTER; VLIET, 2004).

Um aspecto genérico dos produtos crocantes é a sua classificação baseada em sua natureza celular, que pode ser de produto seco quando os espaços são preenchidos com gás (biscoitos), úmido quando preenchidos com líquido (frutas e vegetais) ou secos e fritos quando preenchidos com ar e óleo (“*snacks*” fritos) (LUYTEN; PLIJTER; VLIET, 2004).

Para se determinar as características morfológicas de um alimento podem ser utilizadas técnicas de microscopia eletrônica de varredura e microtomografia de raio X (GONDEK *et al.*, 2013).

### **2.4.4 Técnicas combinadas**

Como existem as interações entre os parâmetros, como apresentado na Figura 4, o uso de técnicas combinadas apresenta melhores resultados na análise da textura de um alimento quando comparado ao uso de técnicas isoladas (CHEN; KARLSSON; POVEY, 2005).

Figura 4 - Interações entre parâmetros relacionados à crocância de um alimento.



Fonte: Adaptado de SAELEAW; SCHLEINING (2011).

Diversos estudos foram publicados utilizando técnicas combinadas para biscoitos (CHEN; KARLSSON; POVEY, 2005; ARIMI *et al.*, 2010), pão torrado (GONDEK *et al.*, 2013), batatas *chips* (VICKERS, 1987; SALVADOR *et al.*, 2009), massa (CHAKRA; ALLAF; JEMAI, 1996), imitação de queijo (ARIMI *et al.*, 2012), produtos de panificação (PIAZZA; GIGLI; BALLABIO, 2007), entre outros.

A maior parte das publicações ainda se utiliza de dados obtidos entre análises mecânicas acopladas a testes de detecção acústica, sendo que as comparações com avaliações sensoriais são mais recentes (ANDREANI, 2018), como o de Andreani *et al.* (2020) que apresentou um aparato experimental construído para realizar medidas mecânicas e acústicas simultâneas tão eficiente quanto um painel sensorial em determinar a crocância de bananas texturizadas, representando uma interessante alternativa às soluções comerciais existentes.

De acordo com crocância, um alimento pode ser classificado em vegetais e frutas crus (como alface, cenoura, maçã e o aipo), produtos farináceos (como biscoitos, cereais, batata chips e torradas) e produtos fritos (como *bacon* e frango) (SZCZESNIAK, 1988).

#### 2.4.5 Textura em alimentos produzidos por diferentes métodos de secagem

A secagem convectiva forçada produz alimentos com uma menor dureza quando comparado com a secagem solar (SEERANGURAYAR *et al.*, 2019). A liofilização, por sua vez, produz *snacks*

com uma textura *crunchy* (KHAMPAKOOL; SOISUNGWAN; PARK, 2019), enquanto a secagem por micro-ondas a vácuo e *multi-flash drying* é capaz de produzir *snacks* com textura denominada de *crispy* (MONTEIRO *et al.*, 2018b). Caso se acrescente um aquecimento infravermelho de forma combinada com a liofilização, os produtos obtidos são denominados de *crispy* (KHAMPAKOOL; SOISUNGWAN; PARK, 2019). Ao utilizar um pré-tratamento com micro-ondas, o processo de *puffing explosion drying* obtém produtos mais porosos e com textura mais *crispy* em comparação com o processo tradicional de *explosion puffing drying* com ar quente (Yi *et al.*, 2016). A secagem a vácuo produz alimentos mais secos (menor umidade e atividade de água) e mais duros (maiores forças máxima e média nos testes mecânicos) que os produzidos pela secagem convectiva (ANDREANI, 2018).

Além das características de crocância, outras alterações podem ser ocorrer em decorrência do processamento, como a oxidação lipídica.

## 2.5 ESTABILIDADE AO ARMAZENAMENTO DE QUEIJOS

O *snack* de queijo é um produto lácteo com alto teor de gordura, de forma que a sua distribuição desempenha uma função importante no sabor. A degradação hidrolítica e/ou oxidativa pode ocorrer tanto durante o processamento como no armazenamento do produto (ERBAY; KOCA, 2019; COLLINS; McSWEENEY; WILKINSON, 2003).

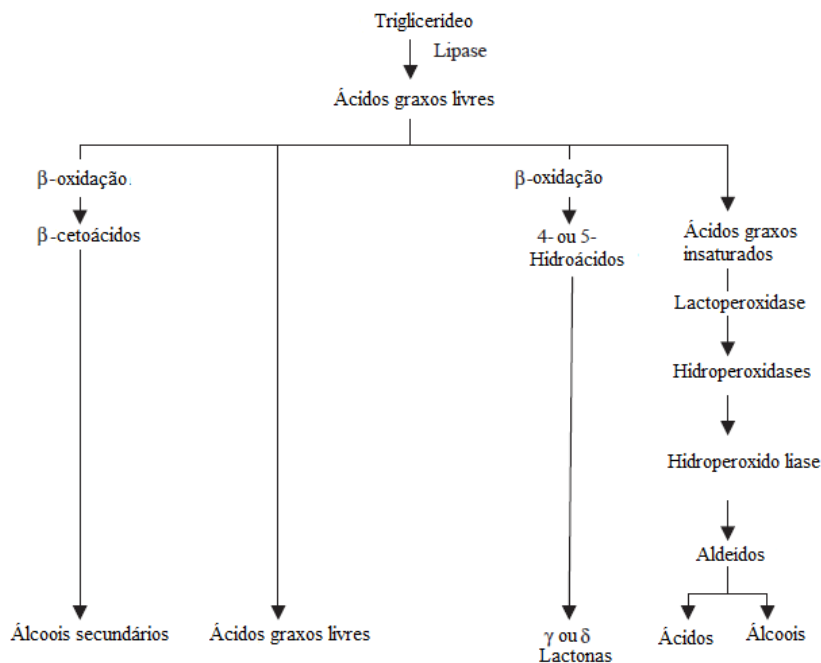
A rancidez hidrolítica e a auto-oxidação são os dois tipos principais de decomposição de lipídeos. A rancidez hidrolítica se refere à liberação de ácidos graxos livres da cadeia principal de glicerol e é atribuída a enzimas endógenas lipases lipoprotéicas, enquanto a auto oxidação envolve uma sequência complexa de mudanças químicas devido à interação dos lipídeos insaturados com o oxigênio e é responsável por decompor os ácidos graxos em componentes voláteis que causam o *off-flavour* nos produtos lácteos desidratados (PARK; DRAKE, 2014).

Os triglicerídeos representam cerca de 98% do total de lipídeos presentes nos produtos lácteos, enquanto os fosfolipídios correspondem a menos de 1% (COLLINS; McSWEENEY; WILKINSON, 2003). O *flavour* oxidativo presente nesse tipo de alimento é atribuído à oxidação dos fosfolipídios que se concentram na membrana dos glóbulos de gordura. Isso pode ser explicado pelo fato de os ácidos graxos dos fosfolipídios serem mais insaturados e, assim, mais susceptíveis à oxidação quando comparados aos triglicerídeos (ERICKSON; DUNKLEY; SMITH, 1964). Isto é,

ácidos graxos poli-insaturados são a principal fonte de oxidação que ocorrem por meio de reações catabólicas responsáveis pela produção de diversos aldeídos insaturados resultando em um *flavour* desagradável (ERBAY; KOCA, 2019).

Apesar de o queijo muçarela apresentar baixo conteúdo de ácidos graxos livres, que está associado ao seu sabor suave (COLLINS; McSWEENEY; WILKINSON, 2003; WOO; KOLLODGE; LINDSAY, 1984), os ácidos graxos livres são os principais produtos da hidrólise enzimática dos triglicerídeos e possuem influência direta no *flavour* do queijo (ERBAY; KOCA, 2019). Além disso, podem participar de reações catabólicas e causar o aumento de componentes aromáticos como metil cetonas, ésteres, alcanos, lactonas, aldeídos e álcoois secundários, como representado na Figura 5.

Figura 5 - Catabolismo dos ácidos graxos livres.



Fonte: MOLIMARD; SPINLER (1996).

A taxa e a extensão da oxidação lipídica nos produtos lácteos são influenciadas por uma gama de parâmetros, incluindo oxigênio, luz, metais endógenos e exógenos, antioxidantes como ácido ascórbico, tocoferóis, carotenóides, tióis, proteínas, enzimas e também pelos componentes da membrana do glóbulo de gordura e temperatura de armazenamento (O'BRIAN & O'CONNOR, 2022).

Os antioxidantes nos alimentos podem desempenhar uma função benéfica na proteção dos lipídeos da degradação oxidante (BALESTRIERI, 2002). Nos produtos lácteos, os oxidantes podem



ser eliminados pelo beta-caroteno e pelas vitaminas redutoras que se oxidam (O'CONNOR & O'BRIAN, 1995). Em particular, o alfa-tocoferol – o mais abundante antioxidante hidrofóbico presente no leite (ERICKSON; DUNKLEY; SMITH, 1964) – está principalmente envolvido com a eliminação dos radicais peroxil (BURTON & INGOLD, 1986).

A oxidação lipídica é o mecanismo principal do desenvolvimento de *off-flavour* em produtos lácteos desidratados com alto teor de gordura, especialmente quando há grande quantidade de gordura livre na superfície do produto (WOO; LINDSAY, 1982; SCHUCK, 2007; PARK; DRAKE, 2014), e por isso, deve ser minimizada durante a produção de *snacks* de queijo (ERBAY; KOCA, 2019).

### **3 CAPÍTULO 3 - INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE PROCESSO NA CINÉTICA DE DESIDRATAÇÃO DO QUEIJO MUÇARELA**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Dentre as diversas variedades de queijo, o muçarela é o tipo mais produzido no Brasil, pois seu consumo é amplamente difundido – principalmente na culinária – devido suas propriedades de fatiamento e derretimento fácil (REGINATO *et al.*, 2019; COELHO *et al.*, 2012; LIMA FILHO & POMBO, 2010). Como o queijo apresenta alto teor nutricional, a viabilidade e a multiplicação de microrganismos que podem afetar a qualidade do produto são favorecidas, o que pode gerar modificações nas suas características organolépticas (REGINATO *et al.*, 2019; PIETROWSKI *et al.*, 2008).

Métodos de desidratação podem ser utilizados tanto para redução do conteúdo de umidade e atividade de água do produto, como para o desenvolvimento de *snacks* crocantes. Considerando que o queijo muçarela não deve ser submetido a temperaturas superiores a 40 °C, devido à gordura parcialmente sólida torna-se totalmente liquefeita durante o aquecimento (YANG *et al.*, 2016), métodos de desidratação que submetem o produto a baixas temperaturas devem ser avaliados para a produção de *snacks* de queijo, como a secagem por micro-ondas a vácuo contínuo (MWVD).

A secagem por micro-ondas a vácuo tem sido considerada uma alternativa viável para a produção de alimentos crocantes com um reduzido tempo de desidratação e custos operacionais viáveis em comparação com outros métodos de secagem (DROUZAS & SCHUBERT, 1996;

LIN *et al.*, 1998; GUNASEKARAN, 1999; KROKIDA & MAROULIS, 1999; MOUSA & FARID, 2002; FIGIEL, 2009; SCAMAN *et al.*, 2014; MONTEIRO *et al.*, 2020).

Uma das principais desvantagens da secagem em micro-ondas a vácuo é a falta de uniformidade inerente à distribuição do campo eletromagnético dentro da cavidade de aplicação, que pode gerar problemas de aquecimento não uniforme, queimas e perdas de produto (COHEN & YANG, 1995; SEBERA *et al.*, 2012; MONTEIRO *et al.*, 2020).

Alguns dos principais fatores que afetam a uniformidade de aquecimento são a geometria, o tamanho, o volume, as propriedades dielétricas e térmicas, e a composição do alimento (MONTEIRO *et al.*, 2020; MEDA *et al.*, 2017; DATTA & ANANTHESWARAN, 2001; WAËPPLING-RAAHOLT & OHLSSON, 2005).

Assim, diferentes parâmetros – como a pressão de vácuo, a potência aplicada durante o processo, a temperatura inicial e a composição da matéria-prima - devem ser avaliados a fim de verificar qual a influência na secagem e produção de *snacks* de queijo muçarela em micro-ondas a vácuo contínuo.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Matéria-prima

As peças de queijo muçarela – tradicional e *light* - da marca Tirolez foram adquiridas no comércio local da cidade de Florianópolis-SC e mantidas em temperatura de refrigeração até o momento de sua utilização. Segundo a embalagem, a versão *light* apresenta uma redução de 31% no conteúdo de gorduras comparado com a versão tradicional. As tabelas nutricionais fornecidas pelo fabricante dos queijos muçarela tradicional e *light* estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Tabela nutricional do queijo muçarela Tirolez em uma porção de 30 g.

	Queijo muçarela tradicional	Queijo muçarela <i>light</i>
Energia (kJ)	444	364
Carboidratos (g)	0,00	0,00
Proteínas (g)	7,50	8,40
Gorduras (g)	8,40	5,70
Fibras (g)	0,00	0,00
Sódio (mg)	170	156

Fonte: TIROLEZ (2020).

As extremidades das peças de queijo foram desprezadas e as amostras foram cortadas em formato cúbico de 1,5 cm de aresta (houve estudos preliminares para a definição do tamanho mais adequado da amostra de queijo).

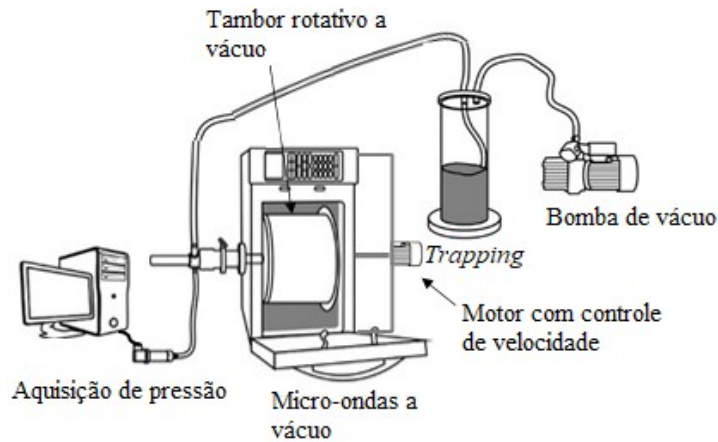
### 3.2.2 Dispositivo experimental para a desidratação

O dispositivo experimental utilizado para a secagem das amostras de queijo muçarela foi construído por Monteiro et al. (2015) e consistiu de um forno micro-ondas doméstico inverter adaptado (LG, modelo MS429, Brasil) com espaço interno de 42 litros, potência máxima de saída do *magnetron* de 1200 W e a frequência das ondas de 2450 MHz. As adaptações para o equipamento operar sob vácuo foram realizadas no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos e no Núcleo de Manutenção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Na parte interna do micro-ondas, um tambor rotativo de polipropileno – boa resistência mecânica e baixas propriedades dielétricas – foi utilizado como uma câmara de vácuo, ligada a uma bomba de vácuo de vazão nominal de 350 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> (DVP, modelo LC.305, Itália) e a um controlador de pressão (Warme, modelo WTP4010, Brasil).

Um sistema rotativo consistindo de uma válvula T conectada a uma junta rotativa formada por um eixo fixo – conectada à bomba de vácuo e ao controlador de pressão – e por um eixo livre – conectado ao tambor rotativo – que permite a homogeneização da distribuição das micro-ondas pelo acionamento do motor do prato giratório típico dos fornos de micro-ondas domésticos. Uma coluna de sílica gel foi utilizada para adsorver os vapores de água em baixas pressões no secador, ajudando o sistema a manter o nível de vácuo. O dispositivo experimental está apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Dispositivo experimental para desidratação de queijos muçarela.

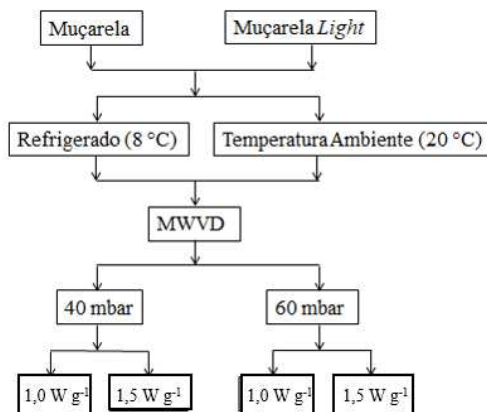


Fonte: Adaptado de Monteiro *et al.* (2015).

### 3.2.3 Procedimento experimental

Com o objetivo de avaliar a influência dos seguintes parâmetros - conteúdo de gordura, da temperatura inicial da amostra, da pressão de vácuo aplicada à câmara e a potência utilizada no micro-ondas - nas cinéticas de secagem do queijo muçarela, foram realizados experimentos conforme apresentados no fluxograma da Figura 7.

Figura 7 - Representação esquemática do procedimento experimental utilizado para definição da influência dos parâmetros – conteúdo de gordura no queijo, temperatura inicial da amostra, pressão de vácuo aplicada na câmara e densidade de potência do micro-ondas - nas cinéticas de secagem do queijo muçarela em MWVD.



Fonte: Autor (2021).

As peças de muçarela tradicional e *light* foram utilizadas a fim de verificar como o conteúdo de gordura da matéria-prima interfere na secagem do produto em MWVD. Além disso, as amostras

foram acondicionadas nas temperaturas de 8 °C e de 20 °C para simular uma condição de temperatura de refrigeração e uma de temperatura ambiente. Foram também avaliadas as pressões de 40 mbar e 60 mbar para o processo, considerando que as temperaturas de saturação da água nessas pressões são de 29 °C e de 36 °C, respectivamente, obedecendo ao critério de utilização de temperaturas abaixo de 40 °C durante o processamento de queijo. E, para finalizar, duas densidades de potência do micro-ondas, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 1,5 W g<sup>-1</sup>, foram selecionadas a partir de testes preliminares para averiguar sua influência nas cinéticas de secagem.

Para realização das cinéticas de secagem, 240 g de amostra - cortadas em formato cúbico com 1,5 cm de aresta - foram separadas igualmente em quatro quadrantes no tambor rotativo de polipropileno e inseridas no disposto experimental. A cada dois minutos de secagem, a massa do sistema (tambor rotativo e amostras) e a temperatura das amostras presentes nos quatro quadrantes do tambor eram determinadas. A secagem foi conduzida até a formação de plasma no interior do micro-ondas, ponto considerado final para a realização da secagem nas condições propostas no estudo.

### **3.2.4 Caracterização das amostras**

#### **3.2.4.1 Umidade e Atividade de água**

A umidade e a atividade de água do ponto inicial (antes do início da secagem) e final (ao final da secagem) foram determinadas por método gravimétrico em estufa a vácuo a 70 °C (A.O.A.C, 2005) e em higrômetro digital (Aqualab Modelo – Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, E.U.A.) pela medida do ponto de orvalho a 25 °C, respectivamente. Ambas as análises foram realizadas em triplicata.

#### **3.2.4.2 Temperatura**

A temperatura das amostras foi determinada por um termômetro de infravermelho (FLUKE®, modelo 62 MAX+, China), imediatamente após o desligamento do forno micro-ondas nos quatro quadrantes da câmara de vácuo, utilizando o valor de emissividade de 0,96.

### 3.2.4.3 Teor de Gordura

Para a determinação do teor de gordura presente nos *snacks* de muçarela após a secagem em MWVD, empregou-se o método 1.122 apresentado pela União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC (1979), com *n*-hexano (faixa de ebulição 68-70 °C). Os *snacks* de queijo muçarela foram triturados e pesados em balança analítica (5 g), colocados em um cartucho confeccionado utilizando papel filtro e colocados no extrator Soxhlet, encaixado em um balão volumétrico, onde o solvente (150 mL) utilizado foi acrescentado. O condensador foi conectado e a manta de aquecimento ligada, permanecendo em ebulição por 6 horas consecutivas, sendo o tempo calculado a partir da primeira sifonada. Foi fixada a velocidade/quantidade de 6 a 8 sifonagens por hora à temperatura constante. As extrações ocorreram em duplicata. Os extratos foram subsequentemente concentrados por rotaevaporação e armazenados em frascos âmbar, sob abrigo da luz a uma temperatura de 4°C, sendo os resultados expressos em média  $\pm$  desvio-padrão.

### 3.2.5 Determinação da taxa de secagem

A taxa de secagem para o período constante de cada condição estudada foi determinada por meio do ajuste linear da região constante da curva de decaimento da massa adimensionalizada vs. tempo de secagem.

### 3.2.6 Análise estatística

A análise unidirecional de variância (ANOVA) foi realizada para os parâmetros de taxa de secagem, umidade, atividade de água (em triplicata) e teor de gordura (em duplicata) para avaliar diferenças entre as amostras utilizando o *software* Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, EUA).

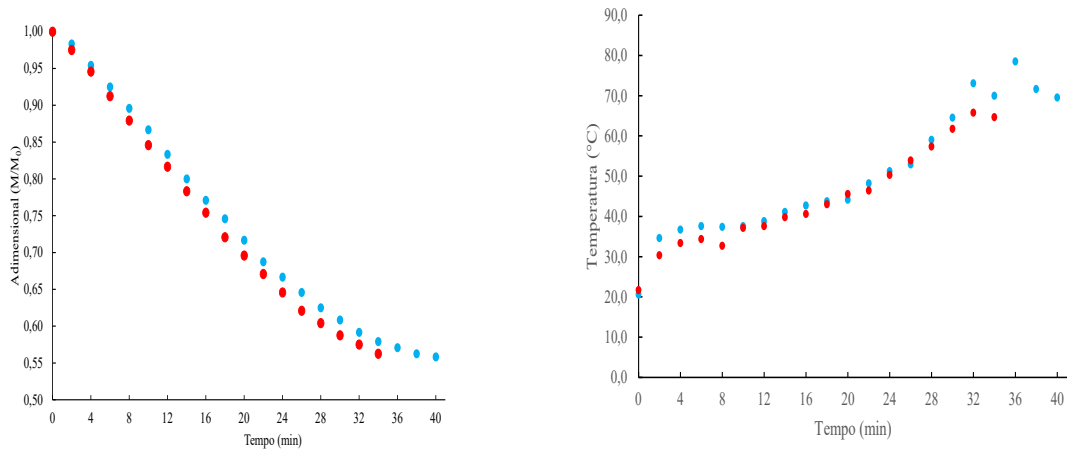
## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1 Influência da concentração de gordura na cinética de secagem do queijo muçarela

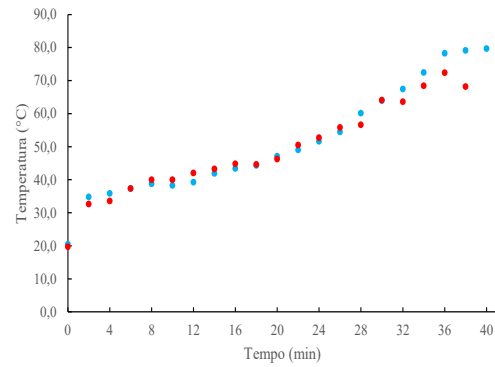
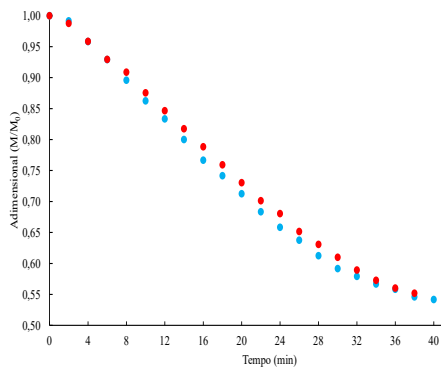
A Figura 8 apresenta uma curva representativa de cada processo - de forma comparativa entre as condições similares - variando apenas o conteúdo de gordura no queijo muçarela. Para facilitar a visualização das curvas, a cor vermelha será utilizada para as amostras de queijo tradicionais, enquanto a cor azul representará as amostras *light*.

Figura 8 - Avaliação da influência do conteúdo de gordura (*light* ou tradicional) na cinética de secagem de queijo muçarela em MWVD nas diferentes condições de secagem.

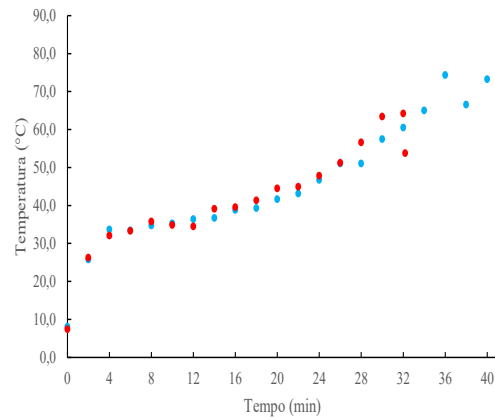
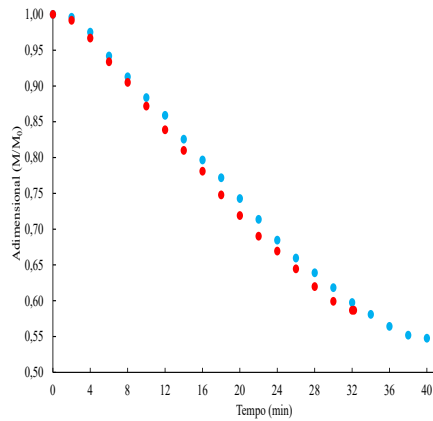
a) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela em um ambiente de pressão de vácuo de 40 mbar, densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor vermelha representa o queijo muçarela tradicional, enquanto a cor azul está relacionada o queijo muçarela *light*.



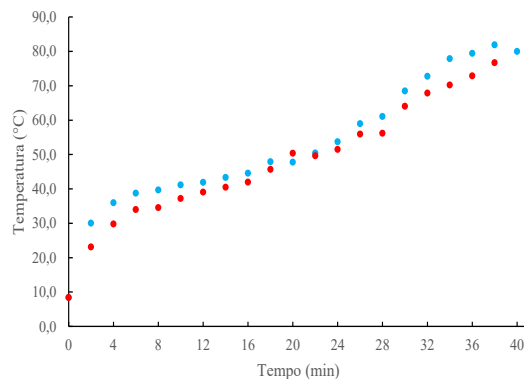
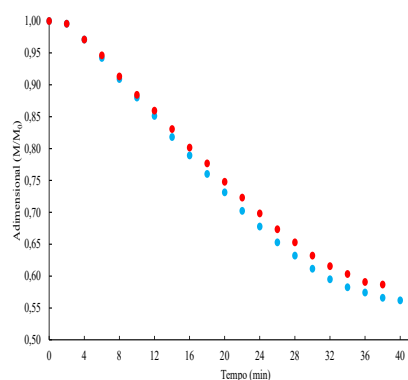
b) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela em um ambiente de pressão de vácuo de 60 mbar, densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor vermelha representa o queijo muçarela tradicional, enquanto a cor azul está relacionada o queijo muçarela *light*.



c) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela em um ambiente de pressão de vácuo de 40 mbar, densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor vermelha representa o queijo muçarela tradicional, enquanto a cor azul está relacionada o queijo muçarela *light*.

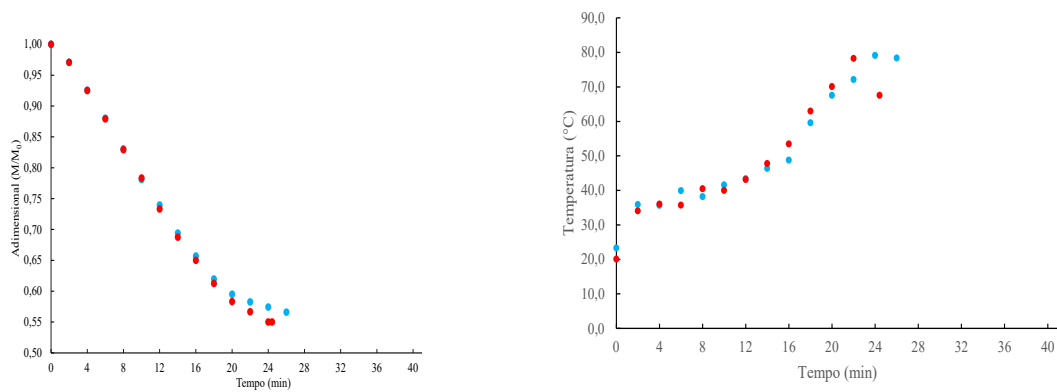


d) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela em um ambiente de pressão de vácuo de 60 mbar, densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor vermelha representa o queijo muçarela tradicional, enquanto a cor azul está relacionada o queijo muçarela *light*.

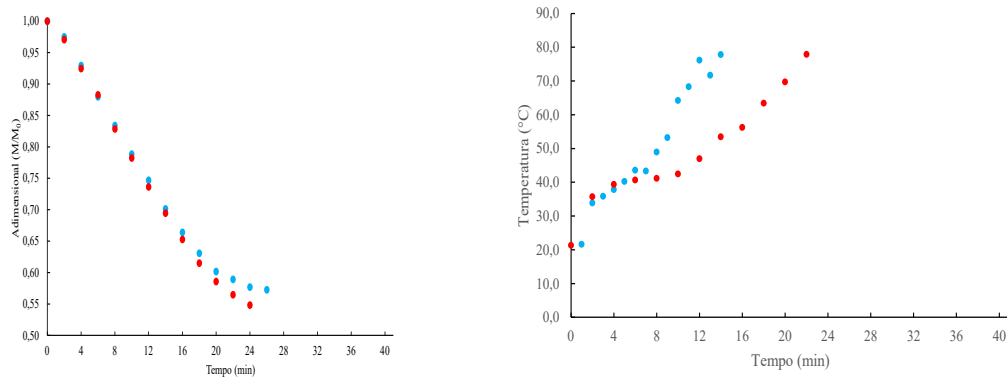


e) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela em um ambiente de pressão de vácuo de 40 mbar, densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor vermelha representa o queijo muçarela tradicional, enquanto a cor azul está relacionada o queijo muçarela *light*.

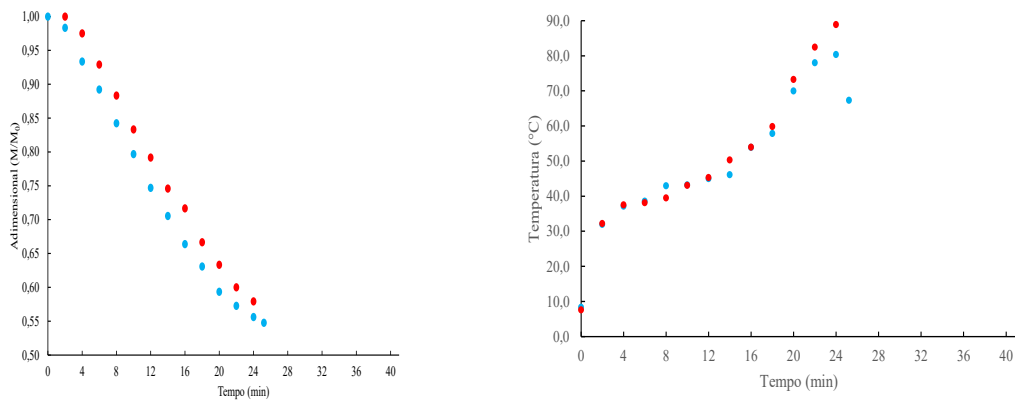




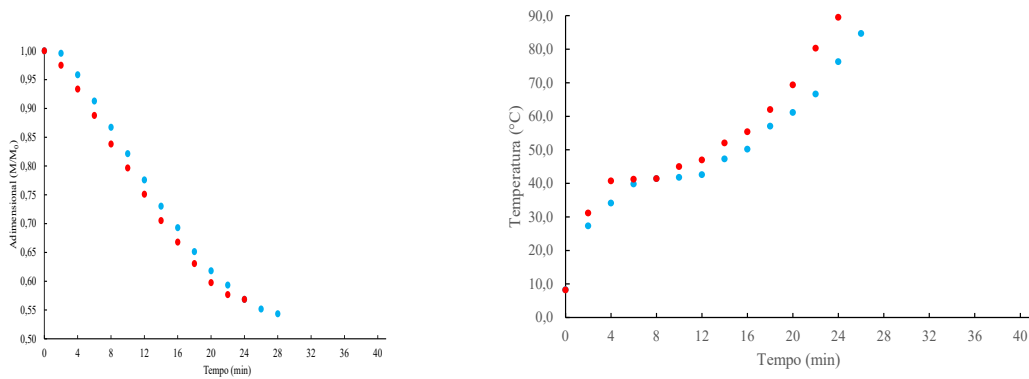
f) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela em um ambiente de pressão de vácuo de 60 mbar, densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor vermelha representa o queijo muçarela tradicional, enquanto a cor azul está relacionada o queijo muçarela *light*.



g) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela em um ambiente de pressão de vácuo de 40 mbar, densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor vermelha representa o queijo muçarela tradicional, enquanto a cor azul está relacionada o queijo muçarela *light*.



h) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela em um ambiente de pressão de vácuo de 60 mbar, densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor vermelha representa o queijo muçarela tradicional, enquanto a cor azul está relacionada o queijo muçarela *light*.



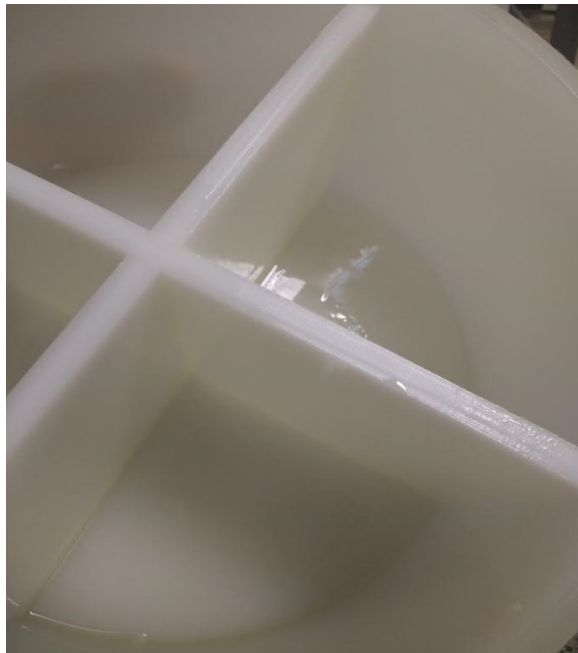
Fonte: Autor (2021).

É possível observar na Figura 8 que apesar da diferença de 31% no conteúdo de gordura entre as versões *light* e tradicional, as cinéticas de secagem do produto em MWVD apresentaram comportamento similar. O aumento no tempo de secagem para a versão *light* pode ser justificada pelo maior valor de umidade inicial em base seca -  $0,8311 \pm 0,0324 \text{ g g}^{-1}$  e de  $0,7681 \pm 0,0322 \text{ g g}^{-1}$ , respectivamente, para os queijos *light* e tradicional - que permite uma secagem mais prolongada para o produto *light* sem a formação de plasma.

A descarga de plasma pode ocorrer em baixas pressões, quando há a associação de micro-ondas e vácuo, tendo como causa principal a ionização do ar. Esse fenômeno é indesejado, pois consome grande parte da energia das micro-ondas e pode acarretar na queima do produto. Além disso, pode contribuir com a não-uniformidade de distribuição do campo eletromagnético na cavidade ressonante e produzir forte eco de ondas eletromagnéticas, que pode danificar o *magnetron* (LOMBRAÑA; ZUAZO; IKARA, 2001).

No decorrer das cinéticas de secagem, observou-se uma maior liberação de gordura no tambor rotativo para as amostras de queijo tradicional, como apresentado na Figura 9. A massa de gordura no sistema ao final do processo de secagem foi de  $3\pm 1$  g para a versão *light* e  $20\pm 2$  g para a tradicional, o que corresponde a 1,25% e 8,33% da massa inicial de amostra inserida no MWVD, respectivamente.

Figura 9 - Gordura expelida do queijo muçarela tradicional no tambor rotativo do MWVD.



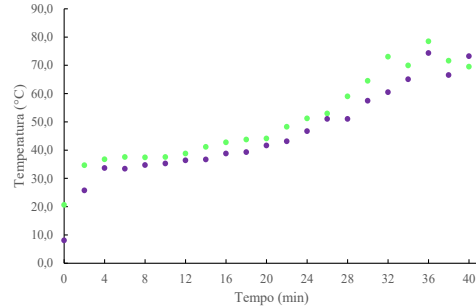
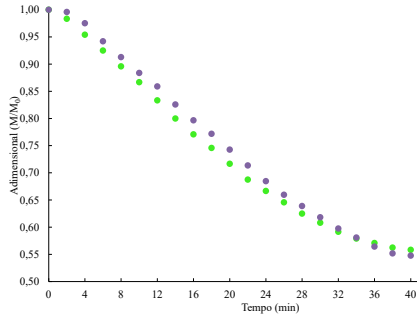
Fonte: Autor (2021).

### 3.3.2 Influência da temperatura inicial da amostra na cinética de secagem do queijo muçarela

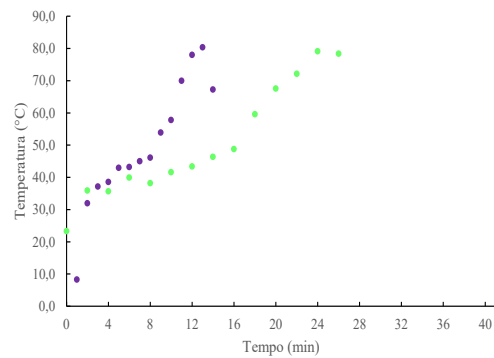
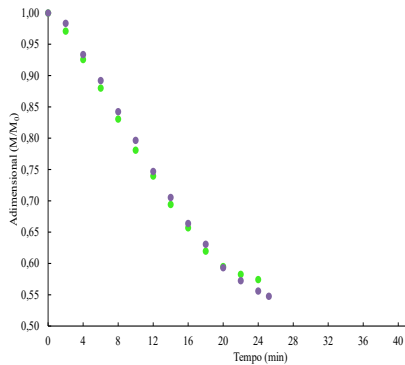
A Figura 10 apresenta uma curva representativa de cada processo de forma comparativa entre as condições similares, variando apenas a temperatura inicial (8 °C e 20 °C) do queijo muçarela.

Figura 10 - Avaliação da influência da temperatura inicial (8 °C ou 20 °C) da amostra na cinética de secagem de queijo muçarela em MWVD.

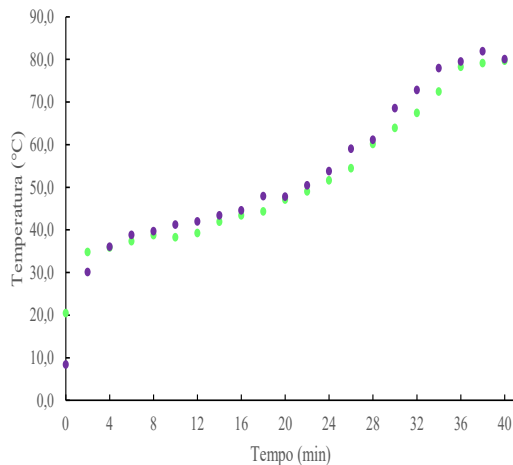
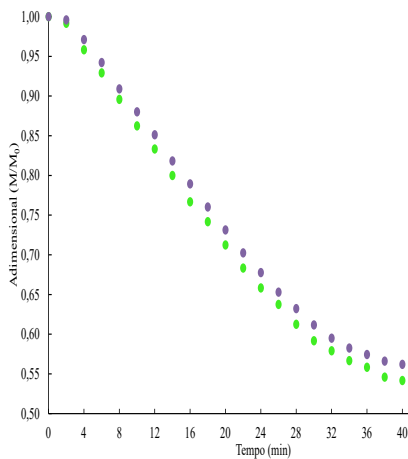
a) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* a 40 mbar e  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ . A cor roxa representa a condição inicial a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto a cor verde está relacionada a condição inicial a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



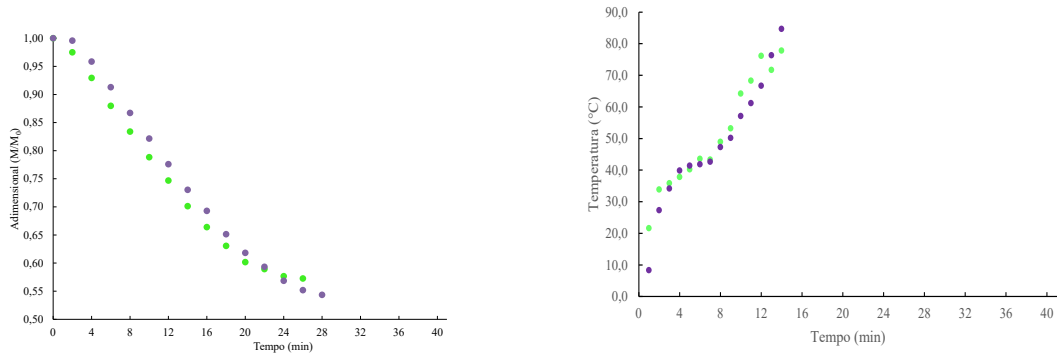
b) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* a 40 mbar e  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ . A cor roxa representa a condição inicial a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto a cor verde está relacionada a condição inicial a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



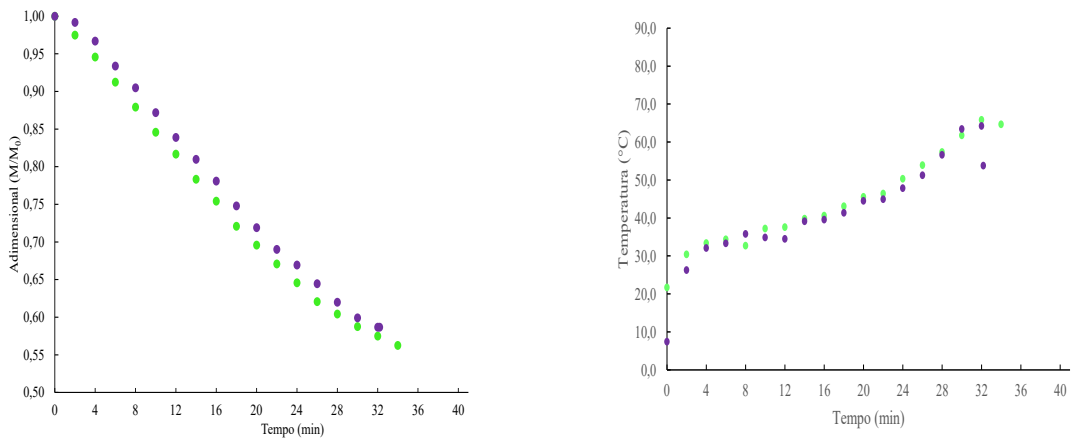
c) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* a 60 mbar e  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ . A cor roxa representa a condição inicial a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto a cor verde está relacionada a condição inicial a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



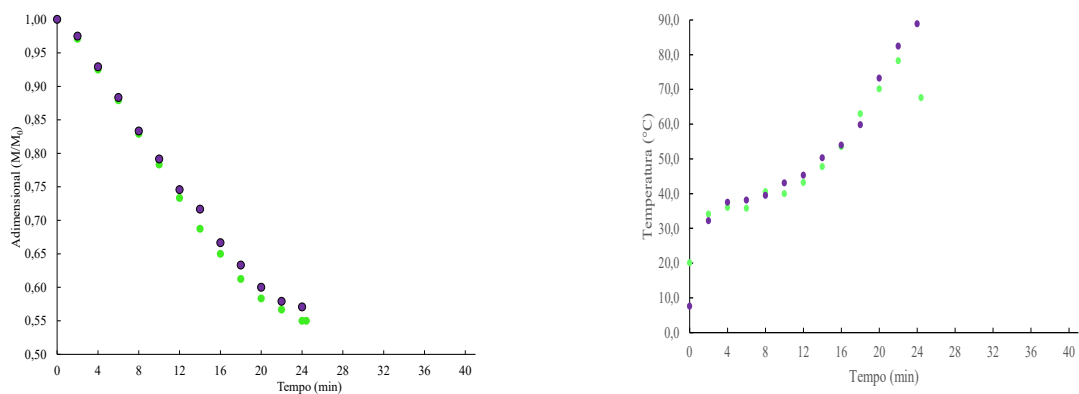
d) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela light a 60 mbar e  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ . A cor roxa representa a condição inicial a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto a cor verde está relacionada a condição inicial a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



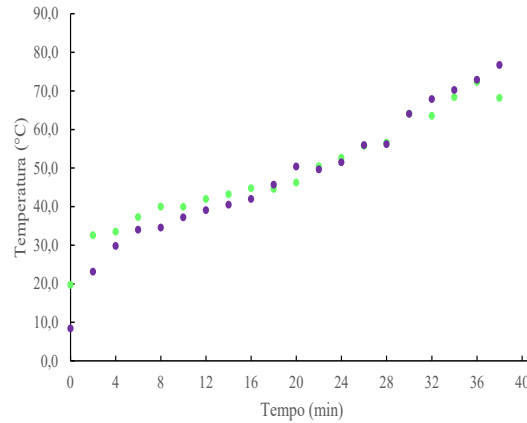
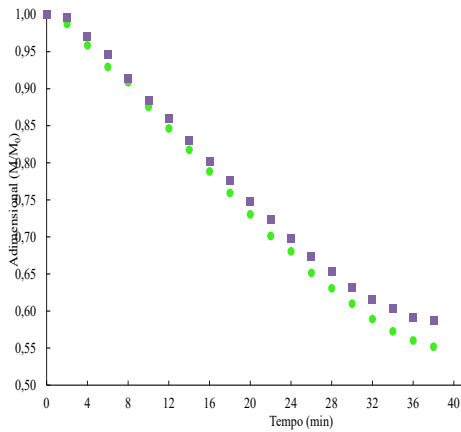
e) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional a 40 mbar e  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ . A cor roxa representa a condição inicial a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto a cor verde está relacionada a condição inicial a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



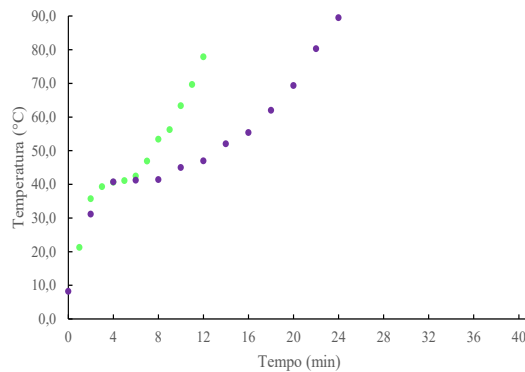
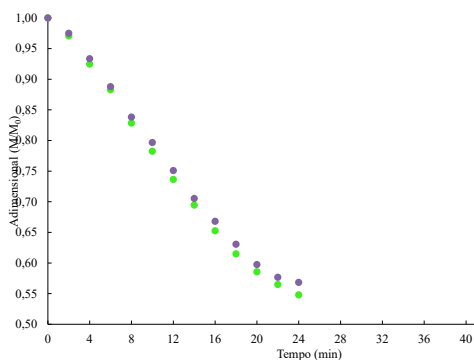
f) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional a 40 mbar e  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ . A cor roxa representa a condição inicial a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto a cor verde está relacionada a condição inicial a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



g) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional a 60 mbar e  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ . A cor roxa representa a condição a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto a cor verde está relacionada a condição inicial a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



h) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional a 60 mbar e  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ . A cor roxa representa a condição a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , enquanto a cor verde está relacionada a condição inicial a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

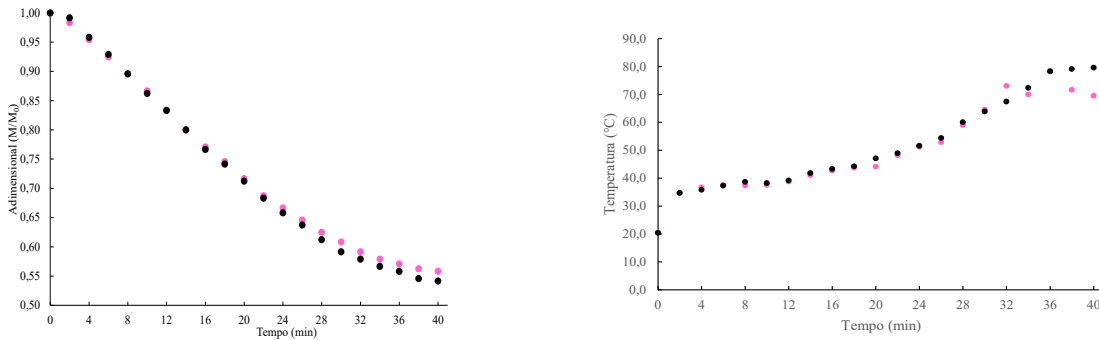
Assim como a Figura 8, a Figura 10 mostra que o comportamento das cinéticas de massa adimensional e de temperatura é similar para as duas condições de temperatura inicial ( $8 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) da amostra de queijo. Isso pode ser justificado pelo fato da temperatura de refrigeração e ambiente alcançarem temperaturas muito próximas logo nos primeiros pontos da cinética. Assim, seria possível concluir que ao se utilizar cubos de queijo muçarela diretamente refrigerados ou manuseá-los de forma a atingirem a temperatura ambiente antes do processamento com micro-ondas a vácuo contínuo não iria interferir consideravelmente na desidratação. No entanto, durante os experimentos foi possível verificar diferenças na estrutura dos queijos quando inseridos no equipamento a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  ou a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , com uma estrutura mais compactada e uma maior concentração de óleo no tambor para a condição à  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Por isso, foi definido a continuidade do estudo com as duas temperaturas de entrada para verificar essas possíveis alterações no *snack* de queijo.

### 3.3.3 Influência da pressão de vácuo no MWVD na cinética de secagem do queijo muçarela

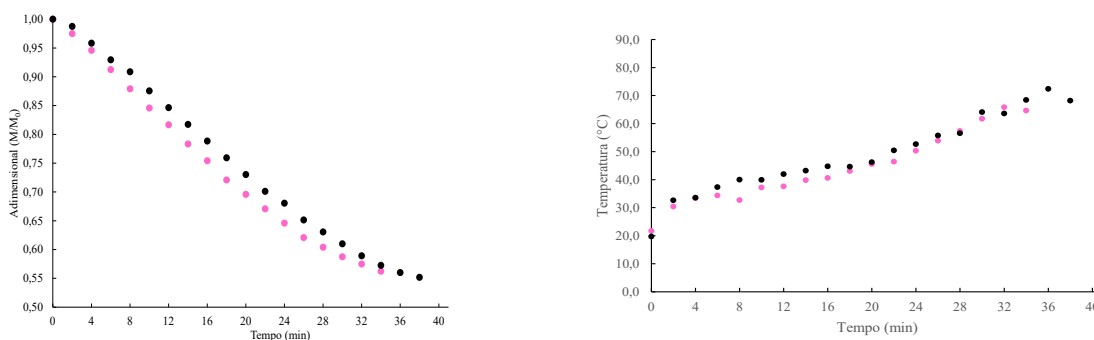
A Figura 11 apresenta uma curva representativa de cada processo de forma comparativa entre as condições similares, variando apenas a pressão de vácuo (40 mbar e 60 mbar) aplicada ao tambor rotativo que continha as amostras.

Figura 11 - Avaliação da influência da pressão de vácuo (40 mbar ou 60 mbar) aplicada no sistema MWVD na cinética de secagem de queijo muçarela.

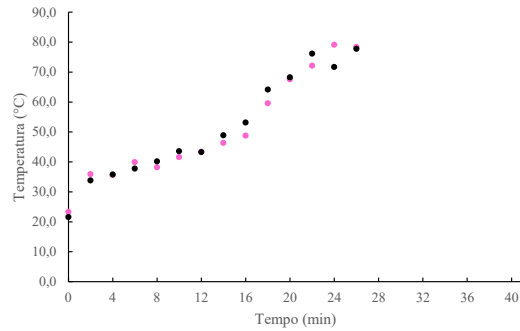
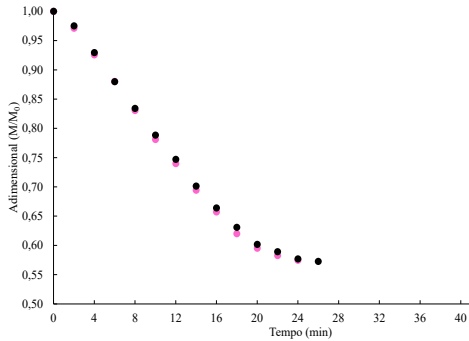
a) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* em micro-ondas a vácuo com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor rosa representa a pressão de vácuo de 40 mbar no tambor rotativo, enquanto a cor preta está relacionada a pressão de vácuo de 60 mbar aplicado ao sistema.



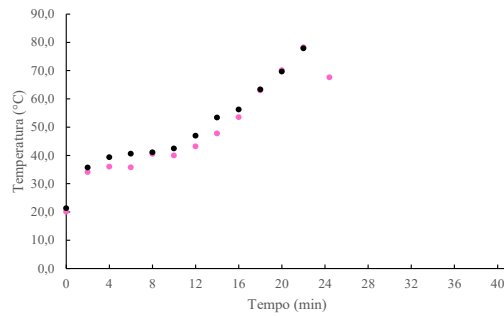
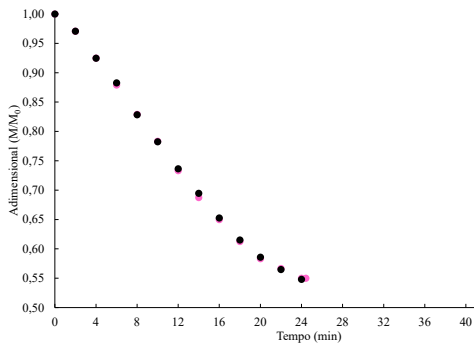
b) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional em micro-ondas a vácuo com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor rosa representa a pressão de vácuo de 40 mbar no tambor rotativo, enquanto a cor preta está relacionada a pressão de vácuo de 60 mbar aplicado ao sistema.



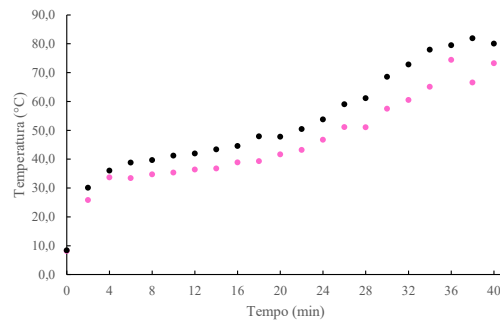
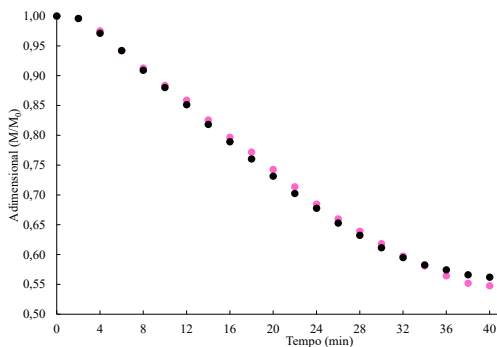
c) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* em micro-ondas a vácuo com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor rosa representa a pressão de vácuo de 40 mbar no tambor rotativo, enquanto a cor preta está relacionada a pressão de vácuo de 60 mbar aplicado ao sistema.



d) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional em micro-ondas a vácuo com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor rosa representa a pressão de vácuo de 40 mbar no tambor rotativo, enquanto a cor preta está relacionada a pressão de vácuo de 60 mbar aplicado ao sistema.

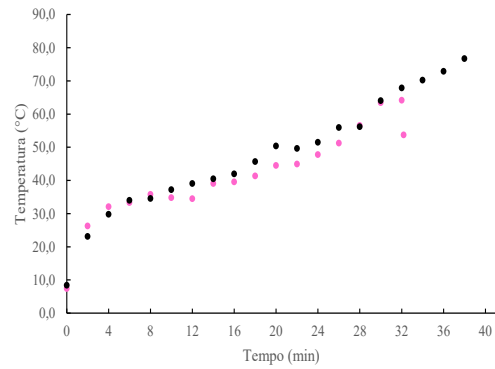
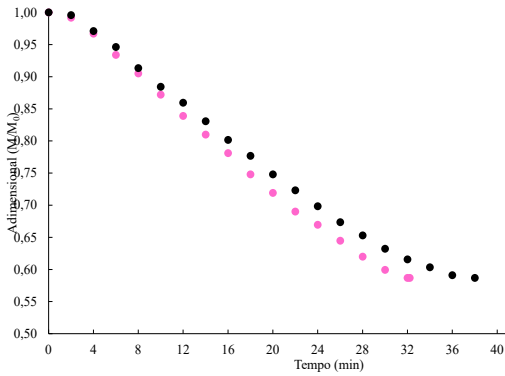


e) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* em micro-ondas a vácuo com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor rosa representa a pressão de vácuo de 40 mbar no tambor rotativo, enquanto a cor preta está relacionada a pressão de vácuo de 60 mbar aplicado ao sistema.

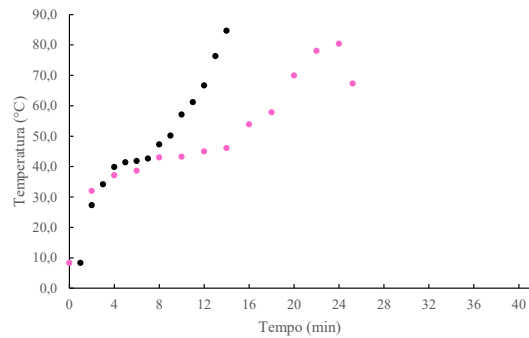
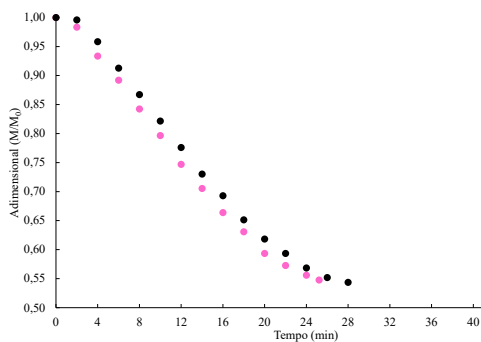




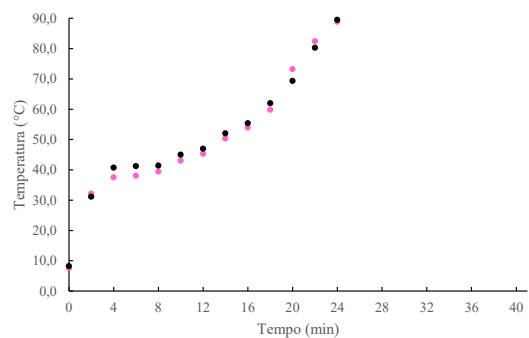
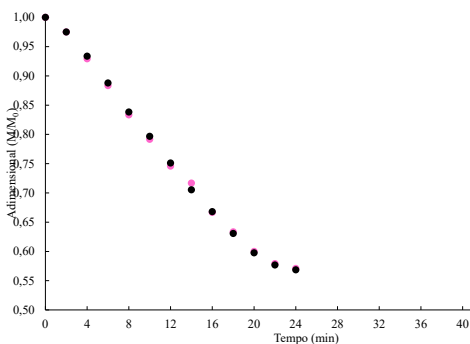
f) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional em micro-ondas a vácuo com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor rosa representa a pressão de vácuo de 40 mbar no tambor rotativo, enquanto a cor preta está relacionada a pressão de vácuo de 60 mbar aplicado ao sistema.



g) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* em micro-ondas a vácuo com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor rosa representa a pressão de vácuo de 40 mbar no tambor rotativo, enquanto a cor preta está relacionada a pressão de vácuo de 60 mbar aplicado ao sistema.



h) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional em micro-ondas a vácuo com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial da amostra de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor rosa representa a pressão de vácuo de 40 mbar no tambor rotativo, enquanto a cor preta está relacionada a pressão de vácuo de 60 mbar aplicado ao sistema.



Fonte: Autor (2021).

Assim como as Figuras 8 e 10, a Figura 11 também mostra que o comportamento das cinéticas de massa adimensional e de temperatura é similar para as duas condições de pressão de vácuo (40 mbar e 60 mbar) aplicadas ao sistema.

Esse resultado não foi condizente com o afirmado por Makul, Vongpradubchai e Rattanadecho (2018) que demonstraram que pressões mais altas requerem uma taxa mais elevada de potência-tempo, devido à maior capacidade de baixas pressões extraírem a água livre interna do produto. Isto é, quanto maior a pressão utilizada no sistema de micro-ondas a vácuo, maior seria o tempo necessário para a secagem do produto. No entanto, esses resultados seguem os apresentados por Drouzas & Schubert (1996) que não obtiveram variação significativa taxa de secagem de fatias de bananas em micro-ondas a vácuo, ao variar o nível de pressão de vácuo entre 15 mbar e 300 mbar, mantendo a potência de 280 W no sistema.

Os resultados apresentados na Figura 11 podem ser justificados pelo fato de as temperaturas de saturação da água nas pressões avaliadas serem de 29 °C para a pressão de 40 mbar, e de 36 °C para a pressão de 60 mbar. Conseqüentemente, as cinéticas alcançam temperaturas muito próximas logo nos primeiros pontos da cinética. Por isso, é possível concluir que neste caso poderia ser utilizada qualquer uma das duas pressões de vácuo (40 mbar e 60 mbar) no sistema MWVD para queijo muçarela sem que houvesse prejuízo em relação ao tempo de secagem.

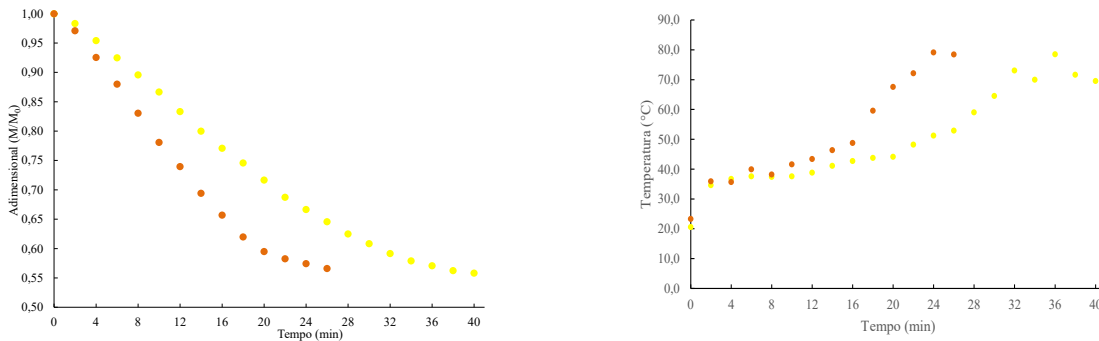
### **3.3.4 Influência da potência no MWVD na cinética de secagem do queijo muçarela**

Ao aplicar uma potência constante durante o processo de secagem em MWVD, ocorre uma variação na densidade de potência, que compreende a potência em relação a massa de amostra contida no tambor rotativo. Isso ocorre porque a massa de amostra se reduz durante a desidratação pela retirada da água do interior do produto.

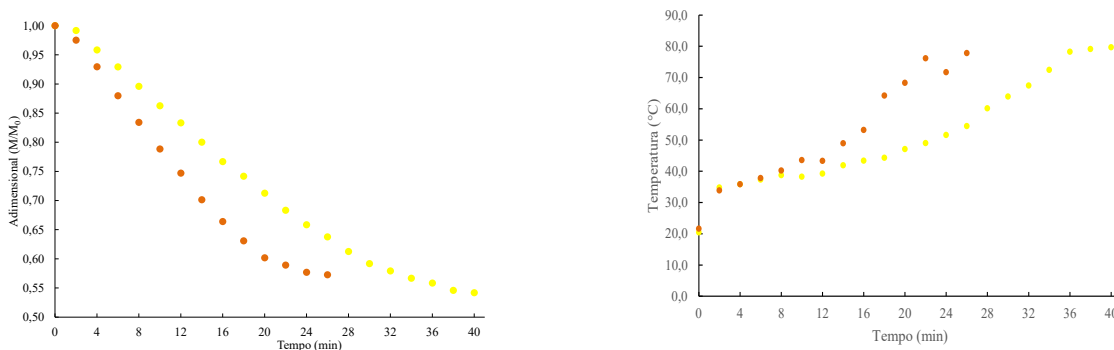
A Figura 12 apresenta uma curva representativa de cada processo de forma comparativa entre as condições similares, variando apenas a densidade de potência ( $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ ) aplicada ao tambor rotativo que continha as amostras.

Figura 12 - Avaliação da influência da densidade de potência ( $1,0 \text{ W g}^{-1}$  ou  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ ) aplicada na cinética de secagem de queijo muçarela em MWVD.

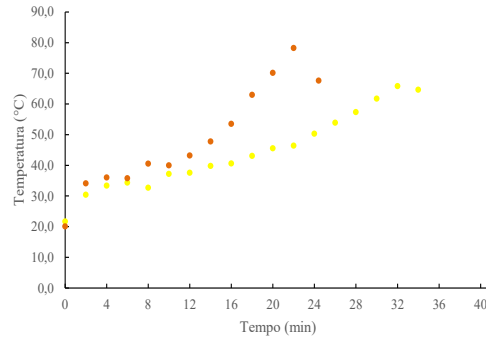
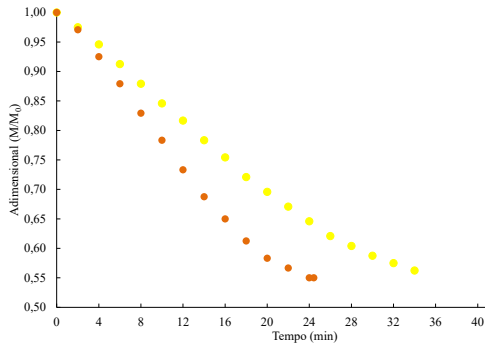
a) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* em MWVD com pressão de vácuo aplicado ao sistema de 40 mbar e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor amarela representa a densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  aplicada no tambor rotativo, enquanto a cor alaranjada está relacionada a densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  aplicada ao sistema.



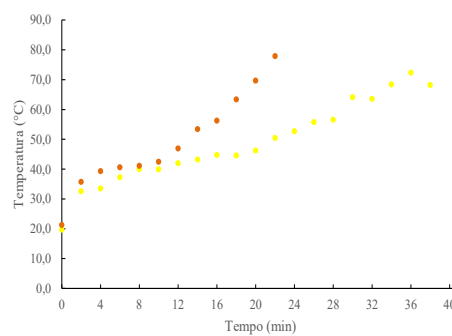
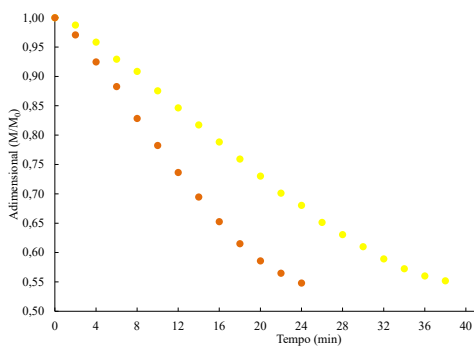
b) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* em MWVD com pressão de vácuo aplicado ao sistema de 60 mbar e temperatura inicial da amostra de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . A cor amarela representa a densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  aplicada no tambor rotativo, enquanto a cor alaranjada está relacionada a densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  aplicada ao sistema.



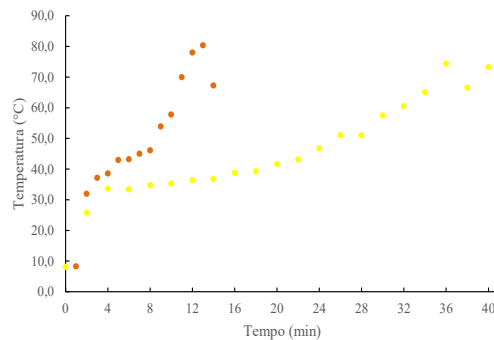
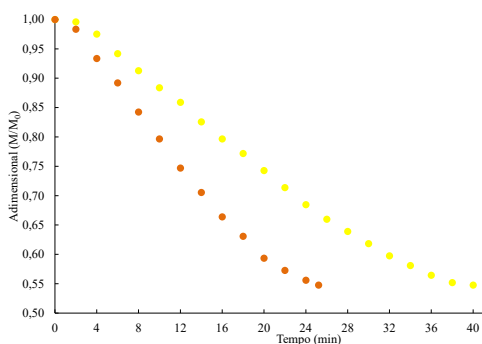
c) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional em MWVD com pressão de vácuo aplicado ao sistema de 40 mbar e temperatura inicial da amostra de 20 °C. A cor amarela representa a densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> aplicada no tambor rotativo, enquanto a cor alaranjada está relacionada a densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> aplicada ao sistema.



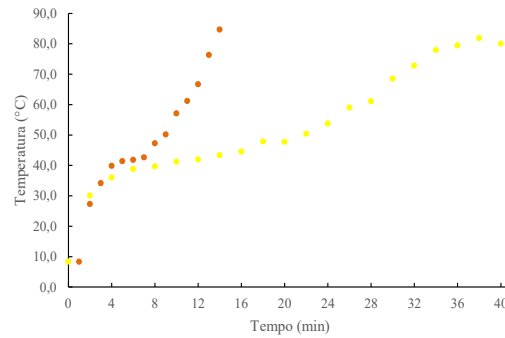
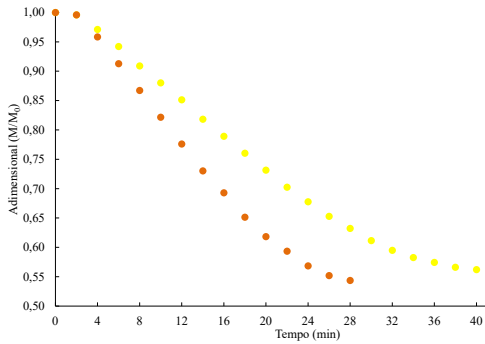
d) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional em MWVD com pressão de vácuo aplicado ao sistema de 60 mbar e temperatura inicial da amostra de 20 °C. A cor amarela representa a densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> aplicada no tambor rotativo, enquanto a cor alaranjada está relacionada a densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> aplicada ao sistema.



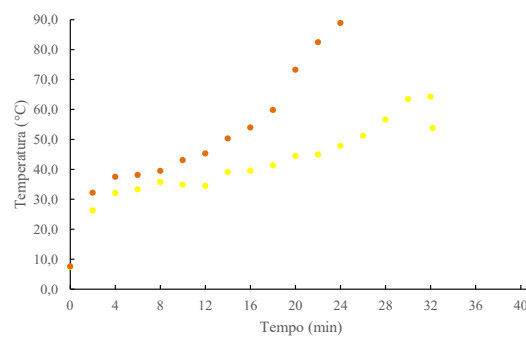
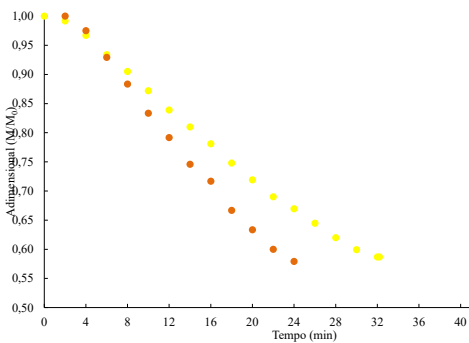
e) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* em MWVD com pressão de vácuo aplicado ao sistema de 40 mbar e temperatura inicial da amostra de 8 °C. A cor amarela representa a densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> aplicada no tambor rotativo, enquanto a cor alaranjada está relacionada a densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> aplicada ao sistema.



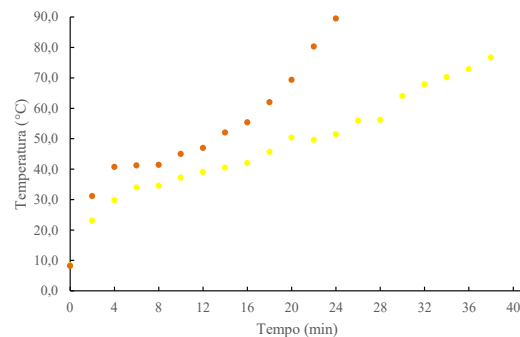
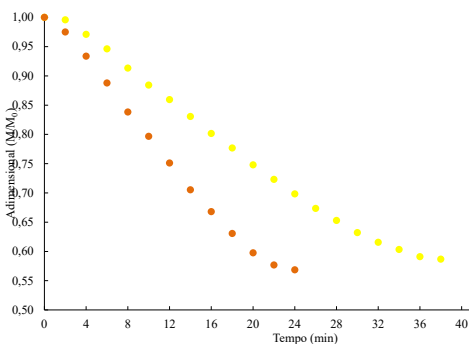
f) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela *light* em MWVD com pressão de vácuo aplicado ao sistema de 60 mbar e temperatura inicial da amostra de 8 °C. A cor amarela representa a densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> aplicada no tambor rotativo, enquanto a cor alaranjada está relacionada a densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> aplicada ao sistema.



g) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional em MWVD com pressão de vácuo aplicado ao sistema de 40 mbar e temperatura inicial da amostra de 8 °C. A cor amarela representa a densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> aplicada no tambor rotativo, enquanto a cor alaranjada está relacionada a densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> aplicada ao sistema.



h) Cinéticas de massa e de temperatura do queijo muçarela tradicional em MWVD com pressão de vácuo aplicado ao sistema de 60 mbar e temperatura inicial da amostra de 8 °C. A cor amarela representa a densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> aplicada no tambor rotativo, enquanto a cor alaranjada está relacionada a densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> aplicada ao sistema.



Fonte: Autor (2021).

Pode-se concluir pela Figura 12 que o aumento da densidade de potência utilizada de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  para  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  foi decisiva para reduzir o tempo de secagem dos queijos em condições de processos semelhantes. Esse resultado era esperado, visto que a potência é diretamente proporcional à velocidade de secagem do produto, pois a potência das micro-ondas aumenta em um tempo mais curto de aplicação (MAKUL, VONGPRADUBCHAI, RATTANADECHO; 2018).

Resultados semelhantes foram reportados por Monteiro *et al.* (2015) - que avaliaram três níveis diferentes de potência do magnetron (400, 700 e 1000 W) em um processo de secagem de bananas (variedade Prata) em MWVD utilizando uma pressão de vácuo de 40 mbar – e por Drouzas & Schubert (1996) – que também estudaram três níveis diferentes de potência do magnetron (150 W, 280 W e 850 W) na secagem de fatias de bananas em micro-ondas a vácuo mantendo constante uma pressão de vácuo de 30 mbar.

### 3.3.5 Taxas de secagem

As taxas de secagem constante foram obtidas por meio do ajuste linear ajustado para os dados experimentais do decaimento da massa adimensionalizada com o tempo de secagem e estão apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Taxas de secagem para as condições de secagem de queijo muçarela *light* em MWVD.

Condição experimental – <i>light</i>	Taxa de secagem constante ( $\text{h}^{-1}$ )	$R^2$
40 mbar, $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , $20 \text{ }^\circ\text{C}$	$0,84 \pm 0,02^b$	0,9936
40 mbar, $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , $20 \text{ }^\circ\text{C}$	$1,31 \pm 0,02^a$	0,9960
60 mbar, $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , $20 \text{ }^\circ\text{C}$	$0,82 \pm 0,01^b$	0,9916
60 mbar, $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , $20 \text{ }^\circ\text{C}$	$1,30 \pm 0,03^a$	0,9962
40 mbar, $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , $8 \text{ }^\circ\text{C}$	$0,80 \pm 0,01^b$	0,9950
40 mbar, $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , $8 \text{ }^\circ\text{C}$	$1,26 \pm 0,00^a$	0,9944
60 mbar, $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , $8 \text{ }^\circ\text{C}$	$0,81 \pm 0,02^b$	0,9935
60 mbar, $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , $8 \text{ }^\circ\text{C}$	$1,27 \pm 0,04^a$	0,9934

Nota: Os dados na mesma coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Tabela 5 - Taxas de secagem para as condições de secagem de queijo muçarela tradicional em MWVD.

Condição experimental - tradicional	Taxa de secagem constante (h <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
40 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,84±0,02 <sup>b</sup>	0,9942
40 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	1,25±0,02 <sup>a</sup>	0,9922
60 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,78±0,01 <sup>c</sup>	0,9949
60 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	1,24±0,01 <sup>a</sup>	0,9938
40 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,83±0,01 <sup>b,c</sup>	0,9950
40 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	1,23±0,02 <sup>a</sup>	0,9948
60 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,78±0,01 <sup>b,c</sup>	0,9967
60 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	1,19±0,04 <sup>a</sup>	0,9952

Nota: Os dados na mesma coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Como observado nas Figuras 8, 10, 11 e 12, os valores de taxa de secagem – apresentados nas Tabelas 4 e 5 - variaram basicamente com a potência das micro-ondas aplicadas no processo. O ajuste linear aos dados experimentais representou adequadamente o perfil de secagem de queijo muçarela em MWVD ( $R^2 > 0,99$ ).

A elevada linearidade ( $R^2 > 0,99$ ) das curvas de secagem sugere um período longo de taxa de secagem constante. Ao final do período de taxa constante, existe ainda um período de taxa decrescente, onde ocorre uma maior lentidão na redução da massa com o tempo de secagem. O mesmo comportamento de duas fases bem definidas na secagem foi relatado por Monteiro *et al.* (2015) para secagem de banana, cenoura e tomate em MWVD, e por Monteiro *et al.* (2018) para secagem de fatias de abóbora em MWVD.

### 3.3.6 Caracterização anterior e posterior à secagem em MWVD do queijo muçarela

As Tabelas 6 e 7 apresentam a caracterização dos queijos muçarela ao serem introduzidos no sistema MWVD e dos *snacks* produzidos, sendo que a Tabela 6 contempla as amostras de queijo *light* e a Tabela 7 apresenta os resultados para as amostras de queijo tradicional.

Tabela 6 - Caracterização do queijo muçarela light inserido no sistema MWVD e do snack produzido a partir dele nas diferentes condições de secagem.

Condição de secagem	$X_{b.s. \text{ antes da secagem}} (g g^{-1})$	$a_w \text{ antes da secagem}$	$X_{b.s. \text{ snack}} (g g^{-1})$	$a_w \text{ snack}$	Teor de gordura <i>snack</i> (%)
40 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,8336±0,0528 <sup>a,b</sup>	0,971±0,005 <sup>a</sup>	0,0397±0,0060 <sup>b</sup>	0,433±0,080 <sup>a,b,c</sup>	22,7±0,3 <sup>a</sup>
40 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,8123±0,0318 <sup>b</sup>	0,973±0,004 <sup>a</sup>	0,0284±0,0130 <sup>c,d</sup>	0,379±0,124 <sup>a,b,c</sup>	21,9±0,2 <sup>a</sup>
40 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,8618±0,0387 <sup>a,b</sup>	0,969±0,005 <sup>a</sup>	0,0519±0,0032 <sup>a</sup>	0,472±0,029 <sup>a</sup>	22,8±0,6 <sup>a</sup>
40 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,8321±0,0361 <sup>a,b</sup>	0,968±0,002 <sup>a</sup>	0,0373±0,0063 <sup>b,c</sup>	0,375±0,034 <sup>a,b,c</sup>	21,2±0,3 <sup>a</sup>
60 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,8269±0,0292 <sup>a,b</sup>	0,968±0,004 <sup>a</sup>	0,0423±0,0036 <sup>a,b</sup>	0,448±0,056 <sup>a,b,c</sup>	23,7±0,5 <sup>a</sup>
60 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,7602±0,0321 <sup>c</sup>	0,972±0,002 <sup>a</sup>	0,0198±0,0019 <sup>d</sup>	0,332±0,052 <sup>d</sup>	22,3±0,1 <sup>a</sup>
60 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,8728±0,0178 <sup>a</sup>	0,967±0,002 <sup>a</sup>	0,0393±0,0071 <sup>b</sup>	0,365±0,059 <sup>b,c,d</sup>	23,1±0,8 <sup>a</sup>
60 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,8488±0,0204 <sup>a,b</sup>	0,968±0,003 <sup>a</sup>	0,0239±0,0040 <sup>d</sup>	0,270±0,043 <sup>d</sup>	21,8±0,2 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Tabela 7 - Caracterização do queijo muçarela tradicional inserido no sistema MWVD e do *snack* produzido a partir dele nas diferentes condições de secagem.

Condição de secagem	$X_{b.s. \text{ antes da secagem}} (g g^{-1})$	$a_w \text{ antes da secagem}$	$X_{b.s. \text{ snack}} (g g^{-1})$	$a_w \text{ snack}$	Teor de gordura <i>snack</i> (%)
40 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,8204±0,0677 <sup>a</sup>	0,977±0,006 <sup>a</sup>	0,0742±0,0082 <sup>a</sup>	0,604±0,018 <sup>a,b</sup>	41,6±0,4 <sup>a</sup>
40 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,7799±0,0499 <sup>a,b,c</sup>	0,971±0,002 <sup>a,b</sup>	0,0350±0,0087 <sup>c</sup>	0,393±0,058 <sup>c,d</sup>	40,8±0,3 <sup>a</sup>
40 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,7658±0,0284 <sup>a,b,c</sup>	0,966±0,005 <sup>b,c,d</sup>	0,0734±0,0129 <sup>a</sup>	0,637±0,015 <sup>a</sup>	42,1±0,1 <sup>a</sup>
40 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,7606±0,0615 <sup>a,b,c</sup>	0,970±0,007 <sup>a,b,c</sup>	0,0439±0,0078 <sup>c</sup>	0,467±0,035 <sup>c</sup>	40,5±0,2 <sup>a</sup>
60 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,7703±0,0765 <sup>a,b,c</sup>	0,964±0,002 <sup>b,c,d</sup>	0,0461±0,0038 <sup>b,c</sup>	0,539±0,038 <sup>b</sup>	41,9±0,2 <sup>a</sup>
60 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0,8023±0,0454 <sup>a,b</sup>	0,964±0,006 <sup>b,c,d</sup>	0,0347±0,0041 <sup>c</sup>	0,417±0,030 <sup>d</sup>	40,9±0,1 <sup>a</sup>
60 mbar, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,7169±0,0441 <sup>c</sup>	0,963±0,003 <sup>c,d</sup>	0,0502±0,0071 <sup>a,b</sup>	0,499±0,044 <sup>b</sup>	42,2±0,5 <sup>a</sup>
60 mbar, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0,7283±0,0343 <sup>b,c</sup>	0,962±0,007 <sup>d</sup>	0,0457±0,0175 <sup>c</sup>	0,417±0,046 <sup>c,d</sup>	40,7±0,3 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.



É possível concluir pelos dados apresentados nas Tabelas 6 e 7, que apesar dos valores de umidade e de atividade de água serem similares para as versões *light* e tradicional do queijo muçarela, os *snacks* produzidos a partir de cada uma das versões apresentam características consideravelmente diferentes, com valores de umidade e de  $a_w$  mais elevados para a versão tradicional. Isso pode ser explicado pelo fato do queijo muçarela tradicional ter em sua composição um teor de gordura superior, o que gera no processo de secagem uma maior liberação de óleo no tambor rotativo do MWVD. Esse óleo liberado, ao permanecer no tambor (como apresentado na Figura 9), entra em contato direto com as amostras de queijo que estão sendo submetidas à secagem, vedando os poros formados na superfície da amostra e dificultando a retirada de água do interior do produto.

Como esperado, o teor de gordura dos *snacks* de queijo muçarela em MWVD não foi influenciado pelos parâmetros de pressão de vácuo, potência das micro-ondas e temperatura inicial da amostra aplicados ao sistema MWVD.

### 3.4 CONCLUSÃO

O MWVD que era considerado uma ferramenta viável para a secagem de frutas e vegetais, também se mostrou apto para a secagem e produção de *snacks* de produtos com teor de gordura intermediário como é o caso do queijo muçarela. Diferentes parâmetros podem ser utilizados de forma combinada para garantir uma secagem mais eficiente do produto, como o teor de gordura do queijo, pressão de vácuo aplicado ao sistema, a potência das micro-ondas e a temperatura inicial da amostra. Observou-se que a potência das micro-ondas foi o parâmetro que resultou em uma maior variação nas cinéticas de secagem, enquanto a diferença entre as pressões de vácuo aplicadas ao sistema pode ser considerada irrelevante dentre as condições de processo avaliadas. As maiores diferenças resultantes do teor de gordura no queijo e da temperatura inicial da amostra foram nas caracterizações do produto. Assim, optou-se por selecionar apenas a pressão de vácuo de 60 mbar para dar prosseguimento ao estudo de forma combinada com os demais parâmetros.

## 4 CAPÍTULO 2 – EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO QUEIJO MUÇARELA EM MWVD DURANTE A FORMAÇÃO DOS *SNACKS*

### 4.1 INTRODUÇÃO

Mudanças no estilo de vida da população como resultado do desenvolvimento econômico e industrial têm causado alterações nos padrões alimentares (SALDAÑA et al., 2015) com o aumento no consumo de *snacks*. Os *snacks* são importantes fontes de nutrientes consumidos entre as refeições ditas principais (GREGORI & MAFFEIS, 2007). Nesse tipo de produto, a textura é um importante atributo sensorial, sendo fundamental na aceitação pelos consumidores (LAWLESS & HEYMANN, 2010).

O consumo de produtos lácteos como o queijo muçarela tem se tornado cada vez mais popular devido ao baixo custo, versatilidade e sabor agradável. Infelizmente, esse tipo de produto apresenta uma conotação negativa devido aos altos teores de gordura. Por essa razão, estudos sobre a reformulação e substituição desse componente nas formulações estão cada vez mais difundidos (SALDAÑA et al., 2015).

A redução no conteúdo de gordura, no entanto, modifica a composição, estrutura e as interações entre os componentes, causando alterações nas propriedades sensoriais, como aparência, *flavour* e, especialmente, a textura (BAYARRI; CHULIÁ; COSTELL, 2010).

Produtos crocantes podem ser obtidos naturalmente, como no caso das frutas e vegetais, ou a partir de métodos de secagem. Atualmente, na indústria de alimentos desidratados, existe um grande número de técnicas de secagem que buscam produzir alimentos desidratados com maior porosidade, menor encolhimento e conseqüentemente, mais crocantes. As técnicas mais comuns são a secagem por ar ou convectiva, a liofilização, secagem a vácuo condutiva, a secagem por micro-ondas a vácuo, entre outros (CHEN e MUJUMDAR, 2008).

Entre os métodos de secagem, a liofilização é considerada o melhor método de desidratação para produtos sensíveis e com alto valor agregado (OIKONOMOPOULOU; KROKIDA; KARATHANOS, 2011), pois o estado sólido da água durante a liofilização protege a estrutura primária e a forma dos produtos com mínima redução de volume. No entanto, os custos com o equipamento e o processo e os longos tempos de secagem tornam a liofilização o processo de secagem mais caro (RATTI, 2001). Métodos alternativos que produzam alimentos crocantes e com baixo custo operacional são de grande importância para a indústria de alimentos.

Recentemente, alguns processos inovativos de secagem têm sido desenvolvidos como a secagem por micro-ondas a vácuo e o *multi-flash drying* que podem ser utilizados para a produção de alimentos de alta qualidade, crocantes e com curto tempo de processo (CHANDRASEKARAN *et al.*, 2013; MONTEIRO *et al.*, 2015; MONTEIRO *et al.*, 2016; MONTEIRO *et al.*, 2018).

Uma das principais dificuldades na produção de *snacks* é a definição do tempo necessário para o alimento produzido seja obtido com as características de umidade, atividade de água, cor, textura e acústica desejadas. No caso do micro-ondas a vácuo, tempos mais longos poderiam causar a formação de plasma no equipamento danificando o produto e o *magnetron*, enquanto tempos insuficientes acarretam na formação de produtos com características indesejadas.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Matéria-prima

Assim como descrito no tópico 3.2.1, as peças de queijo muçarela – tradicional e *light* - da marca Tirolez foram adquiridas no comércio local da cidade de Florianópolis-SC e mantidas em temperatura de refrigeração até o momento de sua utilização. As extremidades das peças de queijo foram desprezadas e as amostras foram cortadas em formato cúbico de 1,5 cm de aresta.

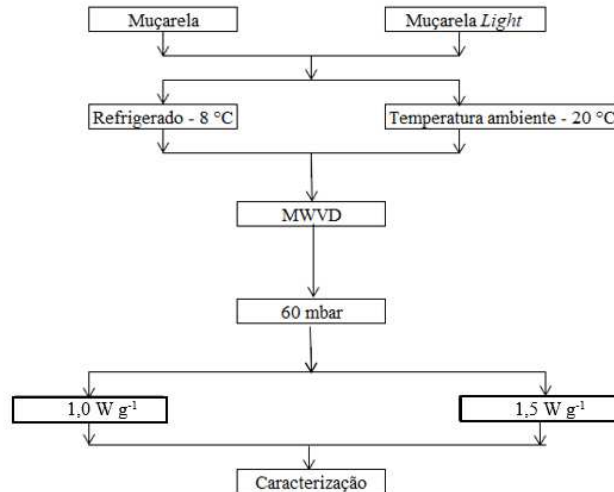
### 4.2.2 Dispositivo experimental

O dispositivo experimental utilizado no estudo está descrito no tópico 3.2.2.

### 4.2.3 Procedimento experimental

Com o objetivo de avaliar o desenvolvimento na formação dos *snacks* de queijo muçarela e verificar a influência dos parâmetros de secagem – teor de gordura no queijo, temperatura inicial da amostra e potência das micro-ondas – nas características do produto, foram realizados experimentos conforme apresentados no fluxograma da Figura 13.

Figura 13 - Representação esquemática do procedimento experimental utilizado para o estudo da formação dos *snacks* de queijo muçarela e a influência dos parâmetros – conteúdo de gordura no queijo, temperatura inicial da amostra e densidade de potência do micro-ondas - nas características do produto.



Fonte: Autor (2021).

Para realização das secagens, 240 g de amostra - cortadas em formato cúbico com 1,5 cm de aresta - foram separadas igualmente em quatro quadrantes no tambor rotativo de polipropileno e inseridas no disposto experimental. A partir das cinéticas de secagem apresentadas no Capítulo 1, alguns pontos foram selecionados de cada curva para o estudo mais detalhado das características de formação dos *snacks*. A Tabela 8 apresenta os tempos de retirada de amostra para cada condição de secagem.

Tabela 8 - Tempos de retirada das amostras de queijo muçarela do sistema MWVD para caracterização dos *snacks*.

Condição avaliada	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
<i>Light</i> , 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
<i>Light</i> , 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
<i>Light</i> , 1,0 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
<i>Light</i> , 1,5 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0 min	14 min	18 min	22 min	26 min
Tradicional, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Tradicional, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Tradicional, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Tradicional, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 8 °C	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min

Fonte: Autor (2021).

Os experimentos foram realizados em triplicada e cada ponto foi obtido de forma destrutiva.

#### 4.2.4 Caracterização das amostras

Cada ponto selecionado das curvas foi avaliado em relação a umidade, atividade de água, cor, medidas mecânicas (perfuração e compressão) e acústicas, conforme apresentado nas metodologias a seguir.

##### 4.2.4.1 Umidade e Atividade de água

A umidade e a atividade de água dos pontos selecionados foram determinadas por método gravimétrico em estufa a vácuo a 70 °C (A.O.A.C, 2005) e em higrômetro digital (Aqualab Modelo – Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, E.U.A.) pela medida do ponto de orvalho a 25 °C, respectivamente. Ambas as análises foram realizadas em triplicata.

##### 4.2.4.2 Cor

Os parâmetros de cor das amostras foram determinados utilizando um sistema de visão computacional, de acordo com a metodologia descrita por Cárdenas-Pérez *et al.* (2017) com adaptações. As imagens foram obtidas por uma câmera fotográfica (Nikon D5500, Nikon Corporation, Japão) e tratadas com o *software* ImageJ v.1.6.o (National Institutes of Health, E.U.A.). Foi utilizado o conversor plug-in para converter as cores da escala RGB para a CIELab. Essa análise foi realizada em quintuplicada.

##### 4.2.4.3 Análise mecânica

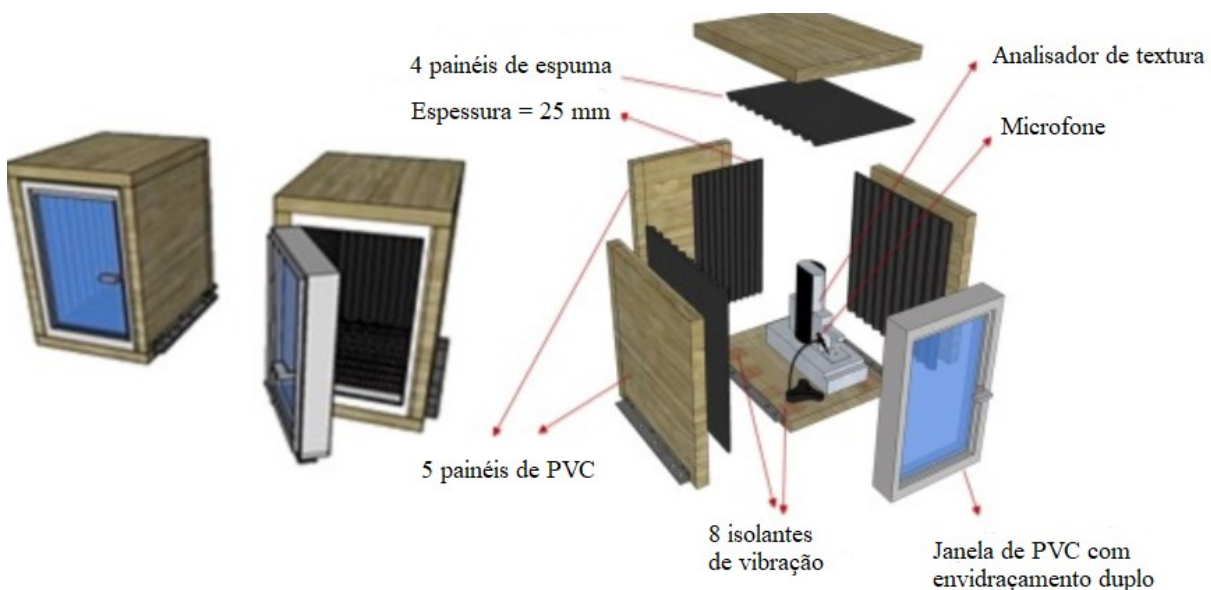
Um analisador de textura TA-XT plus (Stable Micro Systems, Godalming, UK) com uma célula de carga de 50 kg, juntamente com um cilindro P/2 (2 mm de diâmetro) foi usado para ensaios de penetração e com um cilindro P/50 (50 mm de diâmetro) para ensaios de compressão. As amostras foram penetradas ou compactadas a uma profundidade de 70% da espessura total com uma velocidade de 1 mm s<sup>-1</sup>. Ambos os ensaios foram realizados com 10 amostras cada. Um valor de limite máximo de 0,049 N foi usado para determinar o Número de Picos de Força. A taxa de aquisição de dados foi

de 500 Hz para sinais de força. Todos os testes foram realizados dentro de uma sala com temperatura controlada de  $25 \pm 1$  °C.

#### 4.2.4.4 Análise acústica

A análise acústica seguiu a metodologia descrita por Andreani *et al.* (2020). Uma caixa semi-aneecóica de 800 x 600 x 680 mm foi construída com painéis de MDF de alta densidade com 25 mm de espessura formando as paredes, teto e base. O objetivo era reduzir a influência do ruído de fundo da sala. Uma janela de PVC com vidro duplo foi instalada para oferecer acesso ao equipamento e visibilidade do experimento. O interior da caixa semi-aneecóica foi forrado com espuma absorvente de som de 25 mm de espessura (SONEX, Illtec, São Paulo, Brasil). O analisador de textura (Stable Micro Systems, Godalming, REINO UNIDO) e o microfone foram colocados dentro da câmara acústica, como esboçado em Figura 14.

Figura 14 - Representação esquemática da caixa semi-aneecóica utilizada para análise acústica dos *snacks* de queijo muçarela produzidos em MWVD.



Fonte: Andreani *et al.* (2020).

A aquisição de sinal utilizou um microfone condensador de meia polegada de campo livre tipo 1 (G.R.A.S. Modelo 46AE, sensibilidade: 52,27 MV/Pa), seu pré-amplificador IEPE e um conversor National Instrument 9234AD com resolução de 24 bits e 102 dB de alcance dinâmico. A taxa de amostragem foi fixada em 51.200 Hz, permitindo a investigação de frequências que abrangem

toda a faixa auditiva humana (20-20.000 Hz). O diafragma do microfone foi posicionado a 50 mm de distância e com um ângulo de 45° para a sonda.

Os dados foram registrados usando *software* interno no MATLAB® (MathWorks Inc, E.U.A.) enquanto todos os códigos pós-processamento foram implementados em um pacote Python. O procedimento de processamento de sinal incluiu uma etapa de filtragem, seguida de contagem de picos sonoros e cálculo do nível de pressão sonora (SPL). O sistema foi calibrado com um tom puro de 1 kHz a 94 dB usando um calibrador acústico de referência B&K 4231.

Os dados das medições acústicas foram processados com um filtro de *band-pass* projetado seguindo recomendações de literatura. O *band-pass* FIR foi definido com atenuação de 60 dB e frequência inferior de *stopband* de 1 kHz, frequência inferior de banda de passagem de 3.125 kHz, frequência superior de *stopband* de 22 kHz, e uma frequência de banda de transmissão superior de 20 kHz.

#### 4.2.4.5 Análise estatística

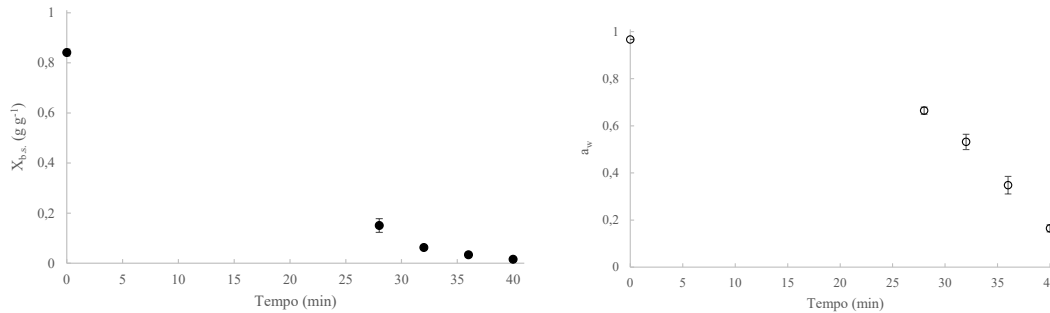
A análise unidirecional de variância (ANOVA) foi realizada para os parâmetros de cor, textura e acústica para avaliar diferenças entre as amostras utilizando o *software* Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, EUA).

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Produção de *snacks* de muçarela *light* a 1,0 W g<sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 8 °C

A variação da umidade e da atividade de água durante a formação dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD a 1,0 W g<sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 8 °C estão apresentadas na Figura 15.

Figura 15 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 15 mostra uma redução de  $0,0340 \pm 0,0096 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0159 \pm 0,0027 \text{ g g}^{-1}$  para a umidade e de  $0,348 \pm 0,037$  para  $0,165 \pm 0,015$  para a atividade de água entre os tempos de 36 min e 40 min, indicando a possibilidade de alterar as características de umidade,  $a_w$  e textura do produto de forma considerável ao realizar a secagem até o tempo final estabelecido pelas cinéticas do Capítulo 1 (40 min).

A Tabela 9 apresenta a variação nas características de cor durante o processo de secagem em MWVD utilizando uma densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , queijo muçarela *light* e temperatura inicial da amostra de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tabela 9 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tempo de secagem (min)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	$91,835 \pm 6,302^a$	$-4,757 \pm 0,822^a$	$26,704 \pm 4,120^c$
28	$90,306 \pm 4,967^a$	$-4,920 \pm 0,748^a$	$29,374 \pm 1,939^a$
32	$92,122 \pm 4,375^a$	$-4,842 \pm 0,627^a$	$28,442 \pm 1,206^b$
36	$92,311 \pm 4,561^a$	$-4,652 \pm 0,624^a$	$28,568 \pm 1,501^b$
40	$92,440 \pm 4,488^a$	$-4,341 \pm 0,742^a$	$28,118 \pm 1,140^{b,c}$

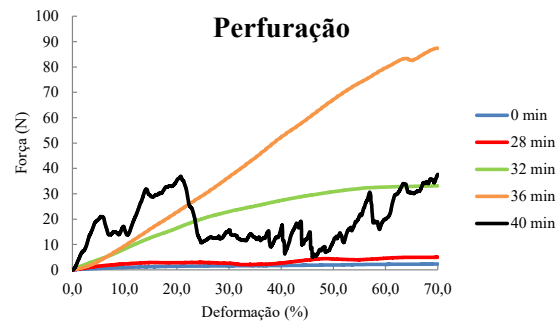
Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Observa-se pela Tabela 9 a manutenção da luminosidade ( $L^*$ ) e da cromaticidade  $a^*$  no decorrer da secagem, e o aumento da cromaticidade  $b^*$ , o que indica um aumento na intensidade da cor amarela em tempos maiores de processo.



As Figuras 16 e 17 apresentam as curvas representativas do comportamento dos *snacks* submetidos ao teste de perfuração e de compressão, respectivamente.

Figura 16 - Curva representativa do teste de perfuração para os *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

Ao analisar a Figura 16, pode-se concluir que – nessas condições de processo – é necessária a condução da desidratação até o tempo final de secagem (40 min) quando o objetivo for a produção de um alimento crocante. Para melhor visualizar o comportamento indicado pela Figura 16, os dados mecânicos do teste de perfuração estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
Nº de picos de força	$2 \pm 0^d$	$4 \pm 0^d$	$12 \pm 2^c$	$29 \pm 6^b$	$166 \pm 8^a$
Área (N.mm)	$2,05 \pm 0,34^d$	$31,04 \pm 8,53^c$	$154,30 \pm 18,40^b$	$290,13 \pm 32,49^a$	$312,24 \pm 53,19^a$
Distância linear	$22,46 \pm 1,73^c$	$26,25 \pm 2,51^c$	$44,62 \pm 3,43^c$	$367,39 \pm 25,77^b$	$500,90 \pm 50,28^a$
Força máxima (N)	$1,75 \pm 0,46^d$	$4,09 \pm 0,52^d$	$29,47 \pm 5,65^c$	$113,51 \pm 10,35^a$	$92,58 \pm 10,45^b$
Força média (N)	$1,52 \pm 0,20^c$	$2,46 \pm 0,25^c$	$13,81 \pm 1,54^b$	$24,87 \pm 5,15^a$	$27,92 \pm 5,75^a$

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Por meio dos dados mecânicos obtidos no teste de perfuração (Tabela 10) é possível concluir que o aumento no número de picos de força é mais expressivo no período final da secagem (40 min)

e que, assim como exemplificado na Figura 16, a secagem até 36 min não é suficiente para a produção de um *snack* crocante.

A Tabela 11 apresenta, por sua vez, os dados acústicos relacionados ao teste de perfuração.

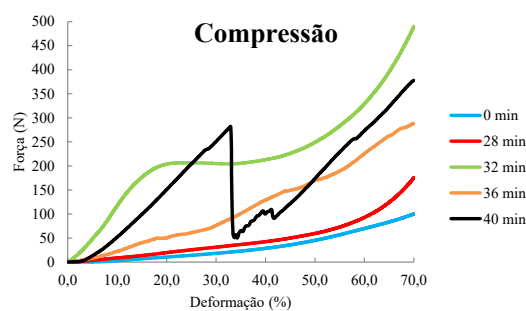
Tabela 11 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
Nº de picos acústicos	178±16 <sup>d</sup>	237±25 <sup>d</sup>	898±780 <sup>c</sup>	11739±1430 <sup>b</sup>	28887±1905 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	52,12±1,01 <sup>b</sup>	52,52±0,85 <sup>b</sup>	62,00±7,04 <sup>a</sup>	63,62±4,19 <sup>a</sup>	62,83±1,70 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	61,22±4,98 <sup>c</sup>	67,98±6,79 <sup>c</sup>	87,75±13,01 <sup>b</sup>	98,86±8,43 <sup>a</sup>	98,05±4,68 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx,10</sub> (dB)	57,72±3,71 <sup>c</sup>	61,29±4,58 <sup>c</sup>	85,26±14,48 <sup>b</sup>	93,82±7,47 <sup>a</sup>	94,14±4,13 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Como esperado, observa-se por meio da Tabela 11, que o tempo de secagem de 40 min proporcionou a ocorrência de um maior número de eventos acústicos em virtude da maior quantidade de poros formados, que resultam em um maior número de fraturas durante o teste.

Figura 17 - Curva representativa do teste de compressão para os *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

As curvas obtidas pelo teste de compressão (Figura 17) também evidenciam a necessidade de se conduzir a secagem por tempos superiores a 36 min para a obtenção de um alimento crocante. Os dados mecânicos e acústicos desse teste estão apresentados nas Tabelas 12 e 13, respectivamente.

Tabela 12 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.

Parâmetro	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
Nº de picos de força	2±1 <sup>c</sup>	2±1 <sup>c</sup>	7±3 <sup>c</sup>	120±16 <sup>b</sup>	226±12 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	81,66±7,28 <sup>c</sup>	232,88±29,82 <sup>c</sup>	2444,48±231,49 <sup>a</sup>	1388,48±263,90 <sup>b</sup>	1154,64±140,32 <sup>b</sup>
Distância linear	3,84±0,36 <sup>c</sup>	162,20±28,05 <sup>c</sup>	545,26±18,59 <sup>b</sup>	2672,78±165,97 <sup>a</sup>	2609,59±228,32 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	87,52±13,35 <sup>c</sup>	235,82±25,05 <sup>b</sup>	462,53±25,54 <sup>a</sup>	482,92±45,63 <sup>a</sup>	278,28±57,12 <sup>b</sup>
Força média (N)	10,35±0,76 <sup>d</sup>	60,18±5,62 <sup>c</sup>	256,48±25,80 <sup>a</sup>	125,48±19,54 <sup>b</sup>	90,11±23,13 <sup>b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 12 mostra o aumento da fragilidade dos *snacks* no decorrer do processo de secagem. Observa-se que em períodos inferiores a 32 min, não há evidências de formação de poros que pode ser justificada pelo alto teor de água presente na matriz ainda nesses pontos (Figura 15). Os dados acústicos associados ao teste de compressão estão explicitados na Tabela 13.

Tabela 13 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.

Parâmetro	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
Nº de picos acústicos	101±32 <sup>d</sup>	157±41 <sup>d</sup>	533±69 <sup>c</sup>	1324±44 <sup>b</sup>	2635±27 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	53,05±2,36 <sup>b</sup>	52,31±1,97 <sup>b</sup>	59,26±2,48 <sup>a</sup>	61,90±1,33 <sup>a</sup>	62,15±2,04 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	59,48±1,26 <sup>c</sup>	57,87±3,45 <sup>c</sup>	65,33±1,99 <sup>b</sup>	93,54±6,30 <sup>a</sup>	93,72±4,21 <sup>a</sup>
SPL <sub>10</sub> (dB)	58,23±2,29 <sup>c</sup>	55,12±3,72 <sup>c</sup>	64,96±5,03 <sup>b</sup>	91,70±5,32 <sup>a</sup>	91,87±8,44 <sup>a</sup>

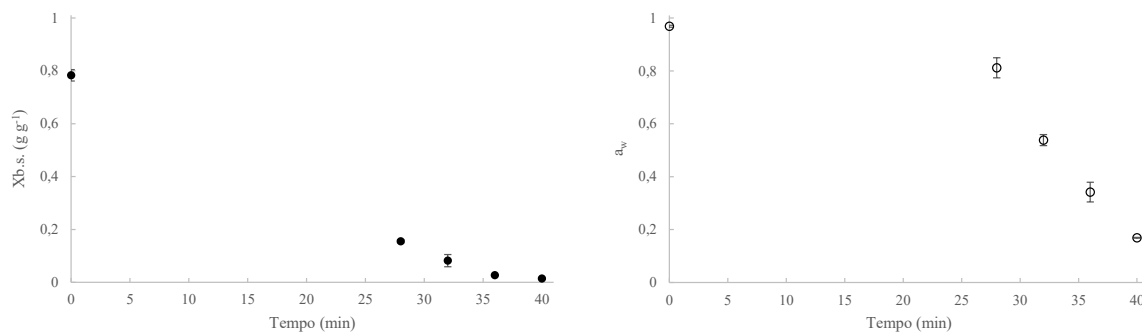
Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Os dados acústicos apresentados na Tabela 13 sugerem o aumento da crocância a partir do 32 min de processo, com um aumento significativo no número de picos acústicos e no nível de pressão sonora.

#### 4.3.2 Produção de *snacks* de muçarela *light* a $1,0 \text{ W g}^{-1}$ com temperatura inicial de $20 \text{ }^\circ\text{C}$

A Figura 18 apresenta a variação dos valores de umidade e de atividade de água durante a formação dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e com temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Figura 18 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

O queijo muçarela *light* apresentou uma redução no valor de umidade de  $0,0266 \pm 0,0012 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0139 \pm 0,0023 \text{ g g}^{-1}$  e no valor de atividade de água de  $0,342 \pm 0,037$  para  $0,169 \pm 0,001$  entre os pontos de 36 min e de 40 min de secagem como apresentado na Figura 18, indicando a existência de um grande potencial de secagem nos últimos 4 min de processo. Esse comportamento é semelhante ao apresentado na Figura 15, indicando uma baixa influência da temperatura inicial da amostra na obtenção de *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ .

Além dos parâmetros de umidade e de atividade de água, que são fundamentais para caracterização um alimento desidratado, a determinação de cor também é essencial para a definição de qualidade sensorial de um produto. Por isso, a Tabela 14 apresenta a variação nos parâmetros de cor durante a formação do *snack* na condição definida.

Tabela 14 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

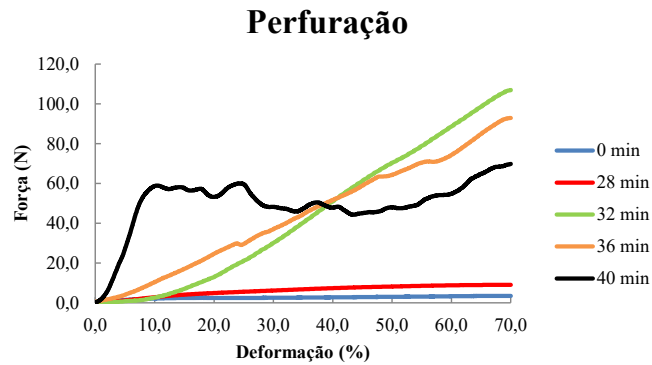
Tempo de secagem (min)	L*	a*	b*
0	90,836±0,364 <sup>b</sup>	-4,619±0,260 <sup>b</sup>	28,375±3,062 <sup>b</sup>
28	91,093±1,117 <sup>b,c</sup>	-4,372±0,185 <sup>a,b</sup>	28,189±3,969 <sup>b</sup>
32	92,126±0,958 <sup>a</sup>	-4,356±0,265 <sup>a,b</sup>	30,573±2,796 <sup>a</sup>
36	91,821±0,725 <sup>a,c</sup>	-4,261±0,336 <sup>a</sup>	30,879±1,551 <sup>a</sup>
40	92,285±0,594 <sup>a</sup>	-4,103±0,306 <sup>a</sup>	30,531±1,579 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Por meio da análise da Tabela 14, é possível constatar pouca variação nos parâmetros de luminosidade ( $L^*$ ) e de cromaticidade  $a^*$ , o que representa a obtenção de um produto claro e com uma coloração mais próxima a cor verde do que vermelha. O parâmetro de cromaticidade  $b^*$  que mostra a tendência a cor amarela, apresentou um ligeiro aumento na intensidade desse tom com a diminuição do teor de água.

Além das características de umidade, atividade de água e de cor, a qualidade de um produto desidratado também é definida por meio das análises mecânicas e acústicas que determinam a crocância do produto. Por isso testes de perfuração e compressão foram realizados nos diferentes pontos na curva de desidratação e os resultados estão apresentados nas Figuras 19 e 20, e nas Tabelas 15, 16, 17 e 18.

Figura 19 - Curva representativa do teste de perfuração para os *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

É possível notar pela Figura 19 que as amostras desidratadas de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , apresentam certa crocância apenas no tempo final de secagem (40 min), o que também pode ser observado pela análise de dados presentes na Tabela 15 (dados mecânicos) e 16 (dados acústicos).

Tabela 15 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
Nº de picos de força	$2 \pm 1^d$	$11 \pm 1^d$	$30 \pm 4^c$	$140 \pm 15^b$	$188 \pm 6^a$
Área (N.mm)	$25,13 \pm 2,42^c$	$70,85 \pm 5,03^c$	$516,64 \pm 44,50^a$	$524,59 \pm 105,77^a$	$292,31 \pm 55,69^b$
Distância linear	$20,78 \pm 1,11^d$	$30,80 \pm 1,18^d$	$241,73 \pm 31,35^c$	$745,78 \pm 26,23^b$	$804,12 \pm 45,69^a$
Força máxima (N)	$3,40 \pm 0,22^c$	$11,44 \pm 1,69^d$	$63,00 \pm 6,05^c$	$94,98 \pm 3,20^a$	$71,13 \pm 6,32^b$
Força média (N)	$2,47 \pm 0,23^b$	$5,44 \pm 0,74^b$	$34,55 \pm 8,48^a$	$38,87 \pm 6,78^a$	$38,27 \pm 11,27^a$

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Os dados mecânicos que representam a textura no teste de perfuração (Tabela 15) mostram que, apesar do *snack* apresentar uma baixa umidade e atividade de água (Figura 18), o produto obtido não apresentou um grau de crocância elevado, o que pode ser comprovado pelo baixo número de picos de força mesmo em tempos elevados de processo.

Tabela 16 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

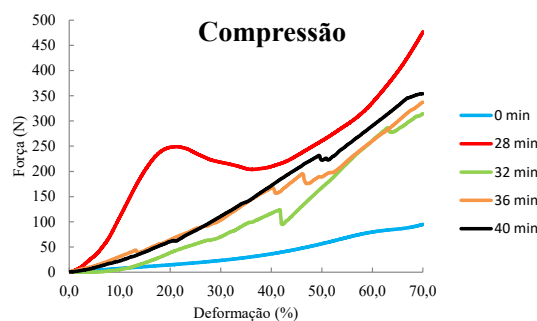
Parâmetro	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
Nº de picos acústicos	112±10 <sup>c</sup>	9743±735 <sup>b</sup>	11388±2842 <sup>b</sup>	11244±1228 <sup>b</sup>	23454±1643 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	51,46±0,50 <sup>c</sup>	60,06±4,60 <sup>b</sup>	64,28±4,13 <sup>a</sup>	62,63±2,65 <sup>a</sup>	63,42±3,21 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	56,33±2,91 <sup>c</sup>	85,46±8,71 <sup>b</sup>	94,64±5,74 <sup>a</sup>	95,54±7,40 <sup>a</sup>	97,77±6,83 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx,10</sub> (dB)	54,34±1,91 <sup>c</sup>	81,82±10,60 <sup>b</sup>	91,36±5,61 <sup>a</sup>	90,98±6,97 <sup>a</sup>	93,68±6,34 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Os resultados na Tabela 16 são condizentes com os dados mecânicos apresentados na Tabela 15, ou seja, existe um aumento no número de picos acústicos com o aumento no número de picos de força no decorrer do processo de secagem, com o valor máximo em 40 min. Apesar disso, o nível de pressão sonora média e máxima foram similares entre os tempos de 32 min, 36 min e 40 min de processo.

Os resultados do teste de compressão estão apresentados na Figura 20 e Tabelas 17 (dados mecânicos) e 18 (dados acústicos).

Figura 20 - Curva representativa do teste de compressão para os *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

Por meio da Figura 20 constata-se que as amostras são rígidas, mas apresentam um aumento na capacidade de se quebrar com o aumento do tempo de secagem. Ou seja, quanto maior o tempo de processo, maior será a sensação de crocância durante a desintegração do alimento através da mordida.

Tabela 17 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Parâmetro	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
Nº de picos de força	2±1 <sup>d</sup>	4±1 <sup>d</sup>	55±9 <sup>c</sup>	155±15 <sup>b</sup>	170±18 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	351,21±29,06 <sup>c</sup>	3233,54±128,31 <sup>a</sup>	3337,91±338,49 <sup>a</sup>	1236,03±182,16 <sup>b</sup>	1258,15±156,51 <sup>b</sup>
Distância linear	99,32±4,70 <sup>d</sup>	555,81±24,93 <sup>c</sup>	2246,54±183,74 <sup>b</sup>	2460,85±279,34 <sup>a,b</sup>	2522,06±327,33 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	106,13±2,51 <sup>d</sup>	536,36±19,89 <sup>a</sup>	339,08±9,55 <sup>c</sup>	351,44±25,81 <sup>b,c</sup>	356,30±33,26 <sup>b</sup>
Força média (N)	33,59±2,87 <sup>d</sup>	278,26±9,82 <sup>a</sup>	134,68±24,62 <sup>b</sup>	112,21±9,55 <sup>c</sup>	137,72±17,84 <sup>b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Como esperado, a Tabela 17 mostra que tempos maiores de secagem acarretam números maiores de picos de força. No entanto, nesse caso as forças máxima e média se mantiveram desde o 32 min de processo. Isso pode representar o aumento no número de poros com a secagem, mas a manutenção da fragilidade das paredes dos *snacks*.

Tabela 18 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Parâmetro	0 min	28 min	32 min	36 min	40 min
Nº de picos acústicos	133±7 <sup>e</sup>	341±42 <sup>d</sup>	1100±137 <sup>c</sup>	6938±201 <sup>b</sup>	10214±157 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	52,20±2,02 <sup>b</sup>	54,66±1,79 <sup>b</sup>	61,91±3,44 <sup>a</sup>	62,35±1,98 <sup>a</sup>	62,48±2,72 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	55,87±3,46 <sup>b</sup>	61,12±2,50 <sup>b</sup>	89,45±2,76 <sup>a</sup>	91,77±2,09 <sup>a</sup>	92,46±5,74 <sup>a</sup>
SPL <sub>10</sub> (dB)	53,22±2,11 <sup>c</sup>	59,63±3,07 <sup>b</sup>	87,15±1,39 <sup>a</sup>	90,34±3,53 <sup>a</sup>	90,82±2,69 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 18 mostra que existe a formação de poros com o aumento do tempo de secagem, mas que os níveis de pressão sonora máxima e equivalente se mantiveram iguais desde o tempo de 32 min.

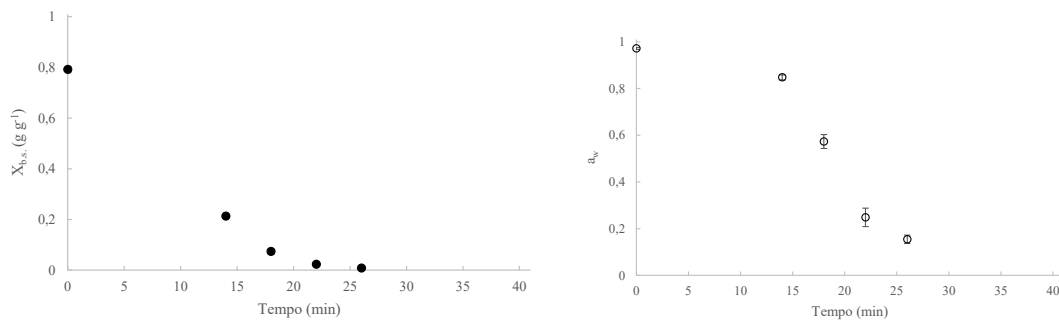


### 4.3.3 Produção de *snacks* de muçarela *light* a $1,5 \text{ W g}^{-1}$ e com temperatura inicial de $8 \text{ }^\circ\text{C}$

Seguindo a mesma linha de pensamento do tópico 4.3.1, amostras de queijo muçarela *light* a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  foram desidratadas em MWVD, mas utilizando uma densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  de micro-ondas.

A Figura 21 mostra a variação da umidade e da atividade de água dos *snacks* produzidos sob essa condição de secagem.

Figura 21 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

Observa-se na Figura 21 uma condição semelhante à apresentada na Figura 15, mas com uma redução de  $0,0236 \pm 0,0054 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0087 \pm 0,0029 \text{ g g}^{-1}$  para a umidade e de  $0,248 \pm 0,040$  para  $0,154 \pm 0,018$  para a atividade de água entre os pontos de 22 min e 26 min. Como esperado esses valores foram inferiores aos encontrados para a mesma condição de secagem que utilizou  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  de densidade de potência no micro-ondas.

A Tabela 19 apresenta a variação nos parâmetros de cor no decorrer do processamento dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tabela 19 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.

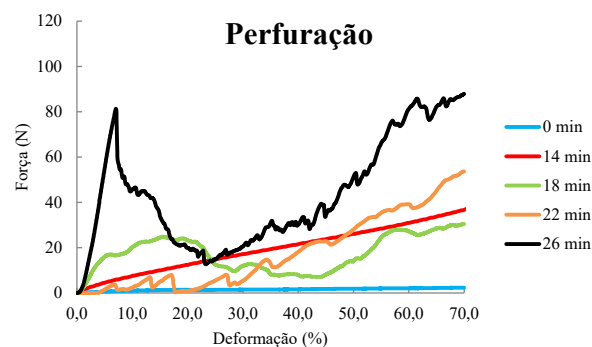
Tempo de secagem (min)	L*	a*	b*
0	87,226±1,497 <sup>b</sup>	-4,613±0,415 <sup>c</sup>	26,142±3,792 <sup>b</sup>
14	87,154±1,218 <sup>b</sup>	-4,478±0,430 <sup>b,c</sup>	27,030±2,357 <sup>a,b</sup>
18	89,161±0,672 <sup>a</sup>	-4,899±0,356 <sup>d</sup>	28,778±1,435 <sup>a</sup>
22	90,063±0,703 <sup>a</sup>	-4,135±0,198 <sup>a</sup>	27,594±1,401 <sup>a,b</sup>
26	89,803±0,561 <sup>a</sup>	-4,984±0,180 <sup>d</sup>	28,351±1,195 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes (p<0,05). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Por meio da Tabela 19, nota-se que houve pouca variação nos parâmetros de luminosidade (L\*) e cromaticidade a\* durante o processamento nessas condições. Em compensação, a cromaticidade b\* resultou em um ligeiro aumento.

As análises de textura foram conduzidas através dos testes de perfuração e de compressão, e estão de - forma representativa - apresentadas nas Figuras 22 e 23, respectivamente.

Figura 22 - Curva representativa do teste de perfuração para os *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.



Fonte: Autor (2021).

A Figura 22 mostra que o produto desidratado apresenta um aumento na fraturabilidade aos 26 min de secagem e que períodos anteriores à 18 min não são suficientes para a produção de *snacks* crocantes. Isso pode ser observado visualmente através da formação de um maior número de poros e uma maior fragilidade das paredes dos *snacks* no decorrer da secagem. Esse resultado era esperado

devido à redução significativa da umidade e de  $a_w$  entre os pontos de 18 min e 26 min. Para melhor visualizar essa afirmação, pode-se observar os dados mecânicos e acústicos obtidos durante o teste de perfuração nas Tabelas 20 e 21, respectivamente.

Tabela 20 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	14 min	18 min	22 min	26 min
Nº de picos de força	2±1 <sup>d</sup>	34±3 <sup>c</sup>	148±22 <sup>b</sup>	146±18 <sup>b</sup>	224±17 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	1,66±0,30 <sup>d</sup>	38,41±6,94 <sup>d</sup>	253,63±34,96 <sup>c</sup>	784,20±121,66 <sup>a</sup>	556,04±78,27 <sup>b</sup>
Distância linear	20,92±1,24 <sup>c</sup>	82,10±3,66 <sup>d</sup>	332,12±20,70 <sup>c</sup>	658,09±79,37 <sup>b</sup>	1029,00±122,43 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	2,82±0,46 <sup>c</sup>	27,89±4,01 <sup>d</sup>	54,76±4,21 <sup>c</sup>	57,66±9,94 <sup>b</sup>	91,48±6,73 <sup>a</sup>
Força média (N)	1,52±0,21 <sup>d</sup>	16,16±2,73 <sup>c</sup>	26,43±5,77 <sup>b</sup>	26,32±12,58 <sup>b</sup>	50,62±14,25 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Observa-se pela Tabela 20 que o número de picos de força se mantém entre os tempos de 18 min e 22 min, mas aumentam consideravelmente no tempo de 26 min, assim como as forças máxima e média. Isso indica que a secagem entre os tempos 22 min e 26 min ainda é efetiva para a obtenção de um *snack* mais crocante, pois o aumento no número de picos de força indica a formação de mais poros na estrutura da amostra.

Assim como o esperado, o número de picos de força foi superior ao encontrado para a mesma condição de secagem a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  (Tabela 10). Isso pode ser justificado pelos menores valores de umidade e de atividade de água obtidos para os *snacks* produzidos a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ .

Tabela 21 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

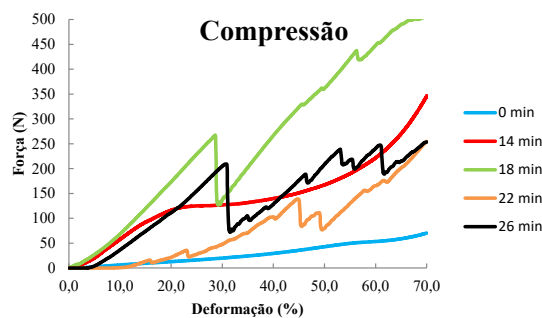
Parâmetro	0 min	14 min	18 min	22 min	26 min
Nº de picos acústicos	119±14 <sup>c</sup>	159±14 <sup>c</sup>	1507±506 <sup>b</sup>	1736±423 <sup>b</sup>	5855±1105 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	51,86±0,71 <sup>b</sup>	53,78±1,72 <sup>b</sup>	63,11±5,35 <sup>a</sup>	62,69±2,10 <sup>a</sup>	62,65±3,13 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	60,10±4,67 <sup>d</sup>	72,45±6,40 <sup>c</sup>	88,59±10,78 <sup>b</sup>	96,76±6,31 <sup>a</sup>	97,46±6,83 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx,10</sub> (dB)	56,81±3,20 <sup>d</sup>	64,68±5,16 <sup>c</sup>	85,68±11,48 <sup>b</sup>	92,12±5,83 <sup>a</sup>	92,40±6,42 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Da mesma forma que os dados mecânicos (Tabela 20), os eventos acústicos descritos na Tabela 21, mostram uma semelhança entre o número de picos entre os tempos de 18 min e 22 min de secagem, e um aumento considerável na fragilidade da amostra aos 26 min de processo, o que indica um produto mais crocante ao final da secagem.

Os resultados referentes ao teste de compressão estão apresentados na Figura 23 e Tabelas 22 (dados mecânicos) e 23 (dados acústicos).

Figura 23 - Curva representativa do teste de compressão para os *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 23 também comprova a necessidade de desidratação do queijo muçarela *light*, nessas condições, em tempos superiores a 18 min para a formação de um *snack*, por ser o ponto em que se inicia a formação de uma textura mais rígida. Além disso, a Figura 23 mostra ainda que para a formação de um produto crocante tempos maiores de secagem são exigidos.

Tabela 22 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.

Parâmetro	0 min	14 min	18 min	22 min	26 min
Nº de picos de força	2±0 <sup>c</sup>	5±1 <sup>c</sup>	61±10 <sup>b</sup>	162±16 <sup>a</sup>	163±15 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	375,97±26,99 <sup>c</sup>	1698,05±106,42 <sup>b</sup>	2916,70±807,62 <sup>a</sup>	1236,14±254,74 <sup>b</sup>	1210,19±69,99 <sup>b</sup>
Distância linear	87,71±7,85 <sup>c</sup>	347,86±30,50 <sup>b,c</sup>	556,34±12,81 <sup>b</sup>	2504,21±275,70 <sup>a</sup>	2691,01±431,58 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	80,99±7,43 <sup>d</sup>	342,70±34,71 <sup>b</sup>	485,86±51,05 <sup>a</sup>	209,98±28,11 <sup>c</sup>	249,48±22,15 <sup>c</sup>
Força média (N)	39,81±5,53 <sup>d</sup>	133,47±14,23 <sup>b</sup>	239,23±64,53 <sup>a</sup>	85,04±8,01 <sup>c</sup>	83,52±6,73 <sup>c</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Diferentemente do resultado do teste de perfuração, em que o tempo de 26 min de secagem é recomendado para a obtenção de um produto mais crocante, o teste de compressão indica diferenças pouco significativas entre os tempos de 22 min e 26 min para o atributo de textura.

Tabela 23 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.

Parâmetro	0 min	14 min	18 min	22 min	26 min
Nº de picos acústicos	102±7 <sup>c</sup>	117±12 <sup>c</sup>	356±25 <sup>b</sup>	594±103 <sup>a</sup>	721±156 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	52,71±4,03 <sup>b</sup>	53,09±2,27 <sup>b</sup>	62,18±3,29 <sup>a</sup>	63,96±1,58 <sup>a</sup>	65,23±2,97 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	61,14±3,35 <sup>c</sup>	63,72±4,08 <sup>c</sup>	85,56±5,67 <sup>b</sup>	97,30±2,66 <sup>a</sup>	99,42±3,84 <sup>a</sup>
SPL <sub>10</sub> (dB)	60,19±2,44 <sup>c</sup>	59,67±1,72 <sup>c</sup>	83,06±3,12 <sup>b</sup>	94,35±1,62 <sup>a</sup>	97,87±3,25 <sup>a</sup>

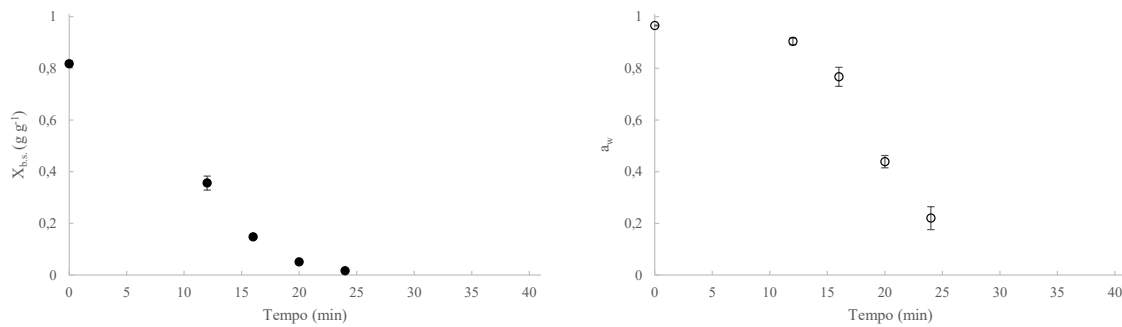
Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Os dados da Tabela 23 estão em conformidade com o apresentado na Tabela 25, sendo pouco perceptível a diferença nos parâmetros acústicos entre os pontos de 22 min e 26 min para o teste de compressão.

#### 4.3.4 Produção de *snacks* de muçarela *light* a $1,5 \text{ W g}^{-1}$ e com temperatura inicial de $20 \text{ }^\circ\text{C}$

A formação dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  também foi avaliada utilizando densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  aplicada ao sistema. A Figura 24 mostra a evolução da umidade e da atividade de água nessas condições.

Figura 24 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

Por meio da Figura 24, observa-se uma redução de  $0,0505 \pm 0,0042 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0164 \pm 0,0005 \text{ g g}^{-1}$  para a umidade e de  $0,439 \pm 0,024$  para  $0,221 \pm 0,044$  para a atividade de água entre os pontos de 20 min e 24 min, que correspondem a valores ligeiramente superiores aos encontrados para a mesma condição de secagem a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ . A variação na escala de cor durante o processamento nessas condições está apresentada na Tabela 24.

Tabela 24 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

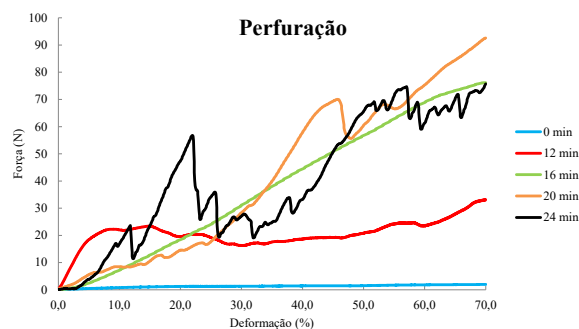
Tempo de secagem (min)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	$92,421 \pm 3,968^a$	$-3,505 \pm 1,030^a$	$24,702 \pm 2,308^{a,b}$
12	$91,733 \pm 4,242^a$	$-3,743 \pm 0,865^a$	$26,834 \pm 3,544^a$
16	$92,073 \pm 4,117^a$	$-3,392 \pm 0,935^a$	$24,931 \pm 2,804^{a,b}$
20	$92,955 \pm 2,423^a$	$-3,135 \pm 0,947^a$	$22,965 \pm 2,471^b$
24	$92,764 \pm 3,198^a$	$-3,484 \pm 0,680^a$	$24,323 \pm 1,066^{a,b}$

Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

A Tabela 24 mostra a manutenção dos três parâmetros de cor da escala CIELab – luminosidade ( $L^*$ ), cromaticidade  $a^*$  e cromaticidade  $b^*$  - no decorrer da desidratação do queijo muçarela *light* em MWVD a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A Figura 25 apresenta as curvas representativas do comportamento dos *snacks* submetidos ao teste de perfuração.

Figura 25 - Curva representativa do teste de perfuração para os *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 25 mostra claramente que a amostra de queijo muçarela *light* utilizada nos experimentos passa a apresentar um grau crescente de crocância no decorrer da secagem com o aumento no número de picos de força em tempos mais prolongados de processo. Para uma visualização mais efetiva das características de textura obtidas no teste de perfuração, os valores de  $\text{média} \pm \text{desvio-padrão}$  dos parâmetros estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos de força	2±1 <sup>c</sup>	185±31 <sup>b</sup>	168±98 <sup>b</sup>	185±90 <sup>b</sup>	273±91 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	13,91±3,31 <sup>c</sup>	301,13±141,21 <sup>a,b</sup>	293,55±158,26 <sup>a,b</sup>	381,25±102,38 <sup>a</sup>	241,26±127,52 <sup>b</sup>
Distância linear	22,79±1,62 <sup>c</sup>	165,91±126,22 <sup>c</sup>	531,07,90±273,46 <sup>b</sup>	892,90±291,67 <sup>a</sup>	891,69±209,62 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	1,90±0,42 <sup>c</sup>	38,43±15,92 <sup>b</sup>	67,39±24,98 <sup>a</sup>	70,94±22,52 <sup>a</sup>	60,39±23,49 <sup>a</sup>
Força média (N)	1,30±0,26 <sup>c</sup>	20,96±12,29 <sup>b</sup>	25,92±15,15 <sup>a,b</sup>	33,37±10,91 <sup>a</sup>	26,40±12,69 <sup>a,b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 25 mostra que apesar da força máxima ser significativamente igual nos tempos de secagem de 16 min, 20 min e 24 min, o número de picos de força foi crescente com o decorrer do tempo de processo, indicando que o número de poros formados aumenta até o final da secagem com a retirada de água pelo sistema MWVD. Essa diferença também pode ser observada nos dados acústicos apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos acústicos	149±20 <sup>c</sup>	2335±431,54 <sup>d</sup>	5424,75±481,53 <sup>c</sup>	12743±1225,25 <sup>b</sup>	15338±1984 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	51,76±1,24 <sup>c</sup>	60,97±2,04 <sup>b</sup>	62,34±2,42 <sup>a,b</sup>	63,22±4,07 <sup>a,b</sup>	63,49±1,37 <sup>a,b</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	59,30±4,65 <sup>d</sup>	85,01±3,03 <sup>c</sup>	92,13±5,27 <sup>b</sup>	99,35±5,46 <sup>a</sup>	98,77±2,46 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx,10</sub> (dB)	56,36±4,07 <sup>d</sup>	81,70±4,74 <sup>c</sup>	87,81±4,97 <sup>b</sup>	94,30±4,92 <sup>a</sup>	94,79±2,15 <sup>a</sup>

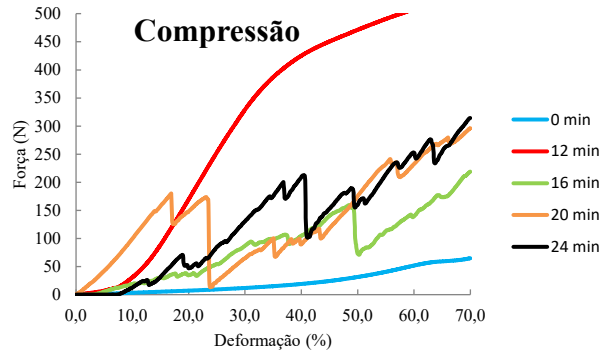
Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 26 segue o mesmo comportamento da Tabela 25, com a apresentação de um maior número de eventos acústicos em maiores tempos de processo. Isso indica que ocorre a formação de poros até o final da secagem.

Para avaliar as propriedades estruturais dos *snacks* foi também realizado o teste de compressão, sendo os resultados apresentados na Figura 26 e Tabelas 27 (dados mecânicos) e 28 (dados acústicos).



Figura 26 - Curva representativa do teste de compressão para os *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

Observa-se através da Figura 26 que aos 12 min a estrutura da amostra ainda é rígida devido, possivelmente, à maior desidratação da superfície e ainda pouca formação de poros internamente. Com o avanço da secagem, ocorre uma diminuição da umidade e aumento no número de poros do produto, o que gera um produto mais crocante. Os parâmetros mecânicos e acústicos do teste de compressão estão apresentados nas Tabelas 27 e 28, respectivamente.

Tabela 27 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos de força	$1 \pm 0^c$	$3 \pm 2^c$	$13 \pm 1^c$	$161 \pm 11^b$	$178 \pm 12^a$
Área (N.mm)	$237,21 \pm 25,78^c$	$2573,93 \pm 793,07^a$	$1158,53 \pm 110,64^b$	$861,61 \pm 80,46^b$	$703,56 \pm 81,68^{b,c}$
Distância linear	$77,14 \pm 8,82^c$	$551,80 \pm 28,41^c$	$1565,48 \pm 926,75^b$	$2703,77 \pm 621,78^a$	$2399,09 \pm 691,41^a$
Força máxima (N)	$72,67 \pm 9,03^d$	$418,59 \pm 77,07^a$	$370,28 \pm 105,53^{a,b}$	$280,47 \pm 75,43^{b,c}$	$275,55 \pm 52,27^c$
Força média (N)	$23,09 \pm 2,51^d$	$281,55 \pm 35,90^a$	$135,18 \pm 59,23^b$	$80,61 \pm 17,70^c$	$92,56 \pm 23,27^c$

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Apesar do número de picos de força não se alterarem de forma tão abrupta como no teste de perfuração, ocorre um pequeno aumento nesse parâmetro, enquanto a força máxima e média também se mantém entre os tempos de 20 min e 24 min de secagem.

Tabela 28 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos acústicos	$171 \pm 23^e$	$1143 \pm 55^d$	$4227 \pm 109^c$	$9893 \pm 172^b$	$11062 \pm 241^a$
SPL <sub>eq</sub> (dB)	$51,23 \pm 1,21^b$	$61,11 \pm 3,52^a$	$62,49 \pm 1,76^a$	$63,24 \pm 2,03^a$	$64,18 \pm 2,38^a$
SPL <sub>máx</sub> (dB)	$60,40 \pm 4,37^d$	$77,83 \pm 2,69^c$	$88,15 \pm 3,14^b$	$95,76 \pm 1,99^a$	$98,01 \pm 2,24^a$
SPL <sub>10</sub> (dB)	$57,16 \pm 3,12^d$	$74,62 \pm 5,38^c$	$86,93 \pm 4,47^b$	$94,00 \pm 3,64^a$	$95,82 \pm 5,34^a$

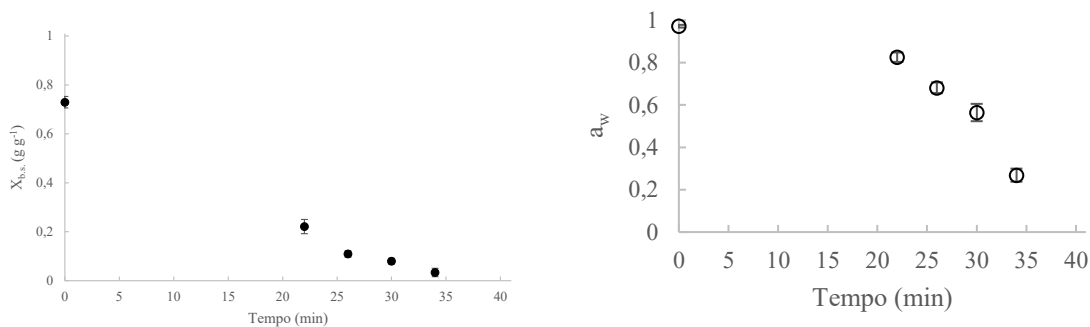
Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Os dados apresentados na Tabela 28 sugerem a formação de poros até o processo final de secagem (24 min), com o aumento do número de picos acústicos.

#### 4.3.5 Produção de *snacks* de muçarela tradicional a $1,0 \text{ W g}^{-1}$ e com temperatura inicial de $8 \text{ }^\circ\text{C}$

Assim como as amostras de queijo muçarela *light*, esse estudo também avaliou os *snacks* de queijo muçarela tradicional a fim de verificar a influência do teor de gordura nas características de desidratação do produto. A Figura 27 mostra a variação da umidade e da atividade de água dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  com temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Figura 27 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

O teor de água e a atividade de água nessa condição de secagem apresentaram uma redução de  $0,0793 \pm 0,0120 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0192 \pm 0,0083 \text{ g g}^{-1}$  na umidade e de  $0,564 \pm 0,041$  para  $0,269 \pm 0,031$  na atividade de água entre os pontos de 30 min e de 34 min de secagem como apresentado na Figura 27, indicando uma elevada taxa de secagem ainda no final do processo.

A variação na escala de cor dos *snacks* com o decorrer da secagem está apresentada na Tabela 29.

Tabela 29 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tempo de secagem (min)	L*	a*	b*
0	$80,192 \pm 0,875^a$	$-5,889 \pm 0,526^{a,b}$	$31,927 \pm 1,282^{a,b}$
22	$75,113 \pm 1,643^c$	$-6,564 \pm 0,187^c$	$32,864 \pm 1,731^a$
26	$77,607 \pm 0,844^b$	$-6,285 \pm 0,219^{b,c}$	$32,234 \pm 1,604^{a,b}$
30	$76,151 \pm 2,783^{b,c}$	$-6,402 \pm 0,438^c$	$32,809 \pm 2,728^a$
34	$79,571 \pm 1,537^a$	$-5,579 \pm 0,616^a$	$30,592 \pm 1,624^b$

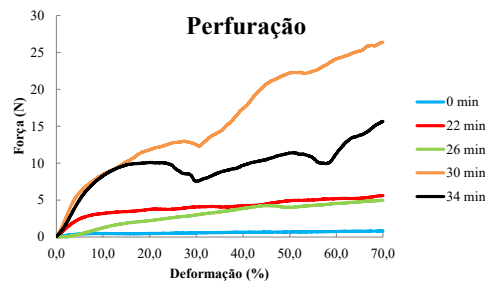
Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Por meio da comparação entre as Tabelas 9 e 29 pode-se observar que os valores iniciais da luminosidade (L\*) e da cromaticidade a\* para a amostra de queijo muçarela tradicional são menores para a versão *light*, enquanto o valor da cromaticidade b\* é maior, devido a diferença do conteúdo de gordura entre as duas.

Em relação ao tempo de processo, observa-se que todos os parâmetros da escala CIELab aplicados não apresentaram diferença significativa entre a amostra não processada e a processada (34 min) em MWVD na condição avaliada.

A Figura 28 apresenta as curvas representativas obtidas pelo teste de perfuração.

Figura 28 - Curva representativa do teste de perfuração para os *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

Constata-se pela Figura 28 que existe um ganho pequeno na crocância das amostras desidratadas no tempo final de secagem (34 min) em relação aos tempos anteriores. Os dados do teste de perfuração encontram-se na Tabela 30.

Tabela 30 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Nº de picos de força	$1 \pm 0^d$	$5 \pm 1^c$	$5 \pm 1^c$	$7 \pm 1^b$	$9 \pm 2^a$
Área (N.mm)	$6,64 \pm 0,93^d$	$28,42 \pm 4,75^c$	$28,52 \pm 4,81^c$	$80,92 \pm 6,20^b$	$128,80 \pm 20,09^a$
Distância linear	$21,26 \pm 0,82^b$	$22,50 \pm 2,26^b$	$21,91 \pm 1,09^b$	$34,67 \pm 2,70^a$	$34,19 \pm 2,57^a$
Força máxima (N)	$0,88 \pm 0,06^d$	$3,45 \pm 0,32^c$	$4,21 \pm 0,67^c$	$12,79 \pm 1,47^b$	$21,67 \pm 3,65^a$
Força média (N)	$0,39 \pm 0,05^d$	$2,55 \pm 0,30^c$	$2,48 \pm 0,21^c$	$4,88 \pm 1,00^b$	$11,54 \pm 1,35^a$

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

A Tabela 30 revela que existe uma diferença pouco expressiva no número de picos de força e nas forças máxima e média do ponto de 34 min com os demais tempos de secagem, demonstrando que apesar de baixos valores de umidade e de atividade de água, o produto oriundo dessa secagem não é satisfatoriamente crocante.

Os dados acústicos do teste de perfuração encontram-se na Tabela 31.

Tabela 31 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

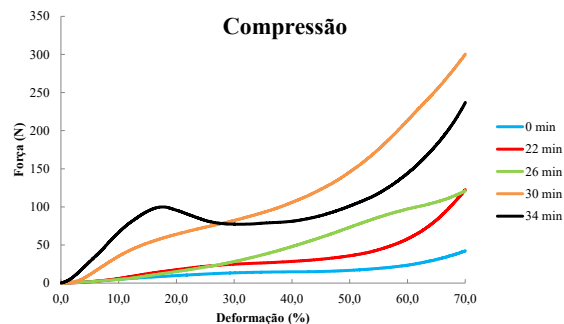
Parâmetro	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Nº de picos acústicos	148±7 <sup>c</sup>	166±9 <sup>b</sup>	171±6 <sup>b</sup>	180±13 <sup>a</sup>	193±8 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	51,93±0,65 <sup>c</sup>	52,81±1,43 <sup>b,c</sup>	52,36±1,36 <sup>c</sup>	54,54±2,23 <sup>a</sup>	53,77±1,67 <sup>a,b</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	59,63±3,56 <sup>d</sup>	65,63±4,75 <sup>b,c</sup>	63,69±5,58 <sup>c</sup>	72,16±6,43 <sup>a</sup>	68,80±5,41 <sup>a,b</sup>
SPL <sub>máx,10</sub> (dB)	56,54±2,43 <sup>c</sup>	59,99±3,71 <sup>b</sup>	58,50±3,85 <sup>b,c</sup>	65,60±5,90 <sup>a</sup>	63,70±5,25 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Observa-se ainda pela Tabela 31 que, assim como na Tabela 30, existe um aumento pouco representativo no número de picos acústicos com o aumento do tempo de secagem, o que confirma a necessidade de se conduzir a secagem até o tempo de 34 min.

As curvas representativas do teste de compressão estão apresentadas na Figura 29.

Figura 29 - Curva representativa do teste de compressão para os *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 29 mostra que, assim como no teste de perfuração (Figura 28), os *snacks* não podem ser considerados crocantes nessa condição de secagem pelo fato de que não existirem fraturas no processo de deformação do produto.

Com o objetivo de comprovar a afirmação citada acima, os dados mecânicos e acústicos do teste de compressão estão apresentados nas Tabelas 32 e 33, respectivamente.

Tabela 32 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.

Parâmetro	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Nº de picos de força	3±1 <sup>a</sup>	2±0 <sup>b</sup>	3±0 <sup>a</sup>	4±1 <sup>a</sup>	4±0 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	137,91±9,12 <sup>c</sup>	347,40±25,12 <sup>b</sup>	391,64±57,32 <sup>b</sup>	767,42±78,95 <sup>a</sup>	802,53±82,75 <sup>a</sup>
Distância linear	48,96±5,65 <sup>c</sup>	128,81±18,03 <sup>b</sup>	129,59±14,29 <sup>b</sup>	245,99±32,03 <sup>a</sup>	241,27±29,91 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	38,76±5,89 <sup>d</sup>	133,37±13,78 <sup>c</sup>	130,00±10,90 <sup>c</sup>	288,24±16,91 <sup>a</sup>	233,05±27,26 <sup>b</sup>
Força média (N)	12,90±1,31 <sup>d</sup>	38,74±5,50 <sup>c</sup>	43,70±7,96 <sup>c</sup>	94,41±6,13 <sup>a</sup>	84,78±10,33 <sup>b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Os dados apresentados na Tabela 32 comprovam mais uma vez a baixa fraturabilidade dos *snacks* produzidos sob essa condição de secagem, devido à ocorrência de um pequeno número de picos de força mesmo em elevados tempos de processo.

Tabela 33 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 8 °C.

Parâmetro	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Nº de picos acústicos	99±3 <sup>d</sup>	104±7 <sup>c,d</sup>	127±10 <sup>b,c</sup>	155±22 <sup>a,b</sup>	172±18 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	51,17±1,02 <sup>a</sup>	51,63±1,33 <sup>a</sup>	52,08±1,94 <sup>a</sup>	52,24±1,75 <sup>a</sup>	52,39±2,05 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	58,31±3,46 <sup>a</sup>	57,92±5,83 <sup>a</sup>	60,15±4,47 <sup>a</sup>	61,13±2,78 <sup>a</sup>	61,23±3,62 <sup>a</sup>
SPL <sub>10</sub> (dB)	55,42±2,37 <sup>b</sup>	55,69±3,12 <sup>b</sup>	58,71±2,59 <sup>a</sup>	58,32±3,09 <sup>a</sup>	59,66±2,14 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

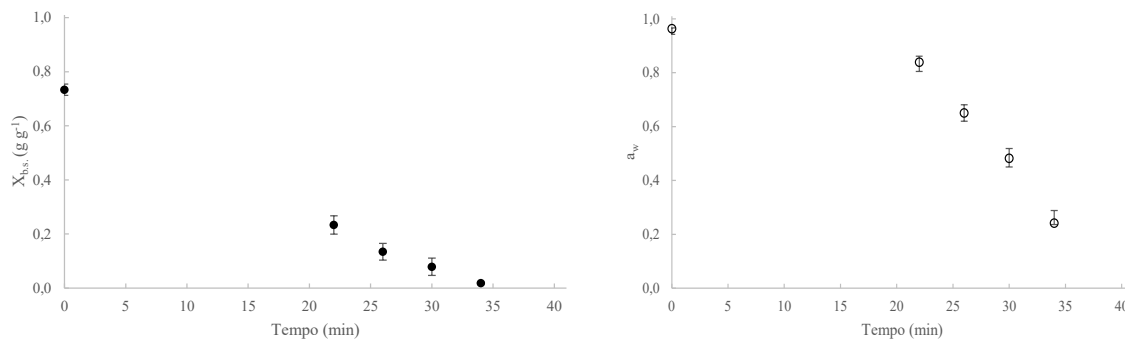
A Tabela 33 sugere um aumento gradual do número de picos acústicos com o aumento do tempo de processo, mas com valores de níveis sonoros baixos.

#### 4.3.6 Produção de *snacks* de muçarela tradicional a 1,0 W g<sup>-1</sup> e com temperatura inicial de 20 °C

Da mesma forma que no tópico 4.3.5, a evolução das características do queijo muçarela tradicional desidratado em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  foi avaliada, mas com as amostras em temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A variação da umidade e da atividade de água dos *snacks* produzidos sob essa nova condição de secagem estão apresentadas na Figura 30.

Figura 30 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 30 mostra uma condição semelhante à apresentada na Figura 27, com uma redução de  $0,1000 \pm 0,0136 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0180 \pm 0,0051 \text{ g g}^{-1}$  para a umidade e de  $0,482 \pm 0,037$  para  $0,241 \pm 0,047$  para a atividade de água entre os pontos de 30 min e 34 min. Esses valores foram semelhantes aos encontrados para a mesma condição de secagem, mas com diferente temperatura inicial.

A variação nos parâmetros de cor da escala CIELab dos *snacks* durante o processamento está apresentada na Tabela 34.

Tabela 34 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Tempo de secagem (min)	L*	a*	b*
0	79,136±0,923 <sup>a</sup>	-6,028±0,325 <sup>a</sup>	28,946±2,585 <sup>c</sup>
22	75,120±1,559 <sup>b</sup>	-6,625±0,184 <sup>b</sup>	35,403±1,852 <sup>a</sup>
26	77,096±1,747 <sup>a,b</sup>	-6,492±0,259 <sup>b</sup>	32,917±1,451 <sup>b</sup>
30	76,675±2,092 <sup>b</sup>	-6,470±0,488 <sup>b</sup>	32,187±1,862 <sup>b</sup>
34	76,995±3,147 <sup>a,b</sup>	-6,410±0,453 <sup>b</sup>	32,640±2,782 <sup>b</sup>

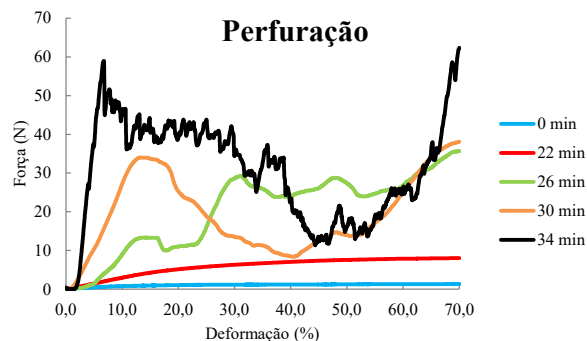
Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes (p<0,05). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Assim como na Tabela 29, o queijo muçarela tradicional apresentou uma luminosidade (L\*) e um valor de cromaticidade a\* inferiores a versão *light*, mas com uma tonalidade mais amarelada (valores mais altos de cromaticidade b\*) devido ao maior teor de gordura presente na amostra.

A Tabela 34 indica também que a tonalidade amarela (parâmetro b\*) foi a que mais sofreu influência com o processo de secagem, com incremento no valor desse parâmetro pela redução no teor de água no produto.

As curvas representativas de força *versus* deformação do teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD utilizando densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C estão apresentadas na Figura 31.

Figura 31 - Curva representativa do teste de perfuração para os *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.



Fonte: Autor (2021).



Ao se analisar a Figura 31, observa-se um aumento expressivo no número de picos de força ao se atingir o tempo de 34 min de secagem. Isso demonstra a necessidade de conduzir o processo até o tempo final determinado por meio das cinéticas no Capítulo 1 para se obter um produto mais crocante.

Os dados mecânicos e acústicos associados ao teste de perfuração estão apresentados nas Tabelas 35 e 36, respectivamente.

Tabela 35 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Nº de picos de força	2±1 <sup>c</sup>	6±2 <sup>d</sup>	10±2 <sup>c</sup>	14±2 <sup>b</sup>	44±7 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	7,11±0,63 <sup>c</sup>	66,22±6,67 <sup>c</sup>	220,24±24,59 <sup>a</sup>	34,77±5,94 <sup>d</sup>	160,42±21,93 <sup>b</sup>
Distância linear	20,74±1,03 <sup>d</sup>	25,33±2,03 <sup>d</sup>	72,53±6,99 <sup>c</sup>	237,57±22,32 <sup>b</sup>	463,32±113,82 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	1,34±0,27 <sup>c</sup>	9,47±0,86 <sup>d</sup>	33,62±3,38 <sup>c</sup>	53,73±1,42 <sup>b</sup>	66,24±5,44 <sup>a</sup>
Força média (N)	0,74±0,10 <sup>d</sup>	2,83±0,40 <sup>d</sup>	20,17±1,37 <sup>c</sup>	24,24±3,69 <sup>b</sup>	36,00±3,77 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Observa-se na Tabela 35 um aumento significativo no número de picos e nas forças máxima e mínima entre o ponto final de secagem (34 min) e os pontos anteriores avaliados. Isto é, para se atingir a máxima crocância nessa condição é necessário conduzir o processo até 34 min. Nota-se também que, assim como representado nas Figuras 28 e 31 e descrito nas Tabelas 30 e 35, o processo de desidratação do queijo muçarela tradicional em MWVD a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  com temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  é mais efetivo para a produção de *snacks* crocantes quando comparado com a condição a  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tabela 36 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

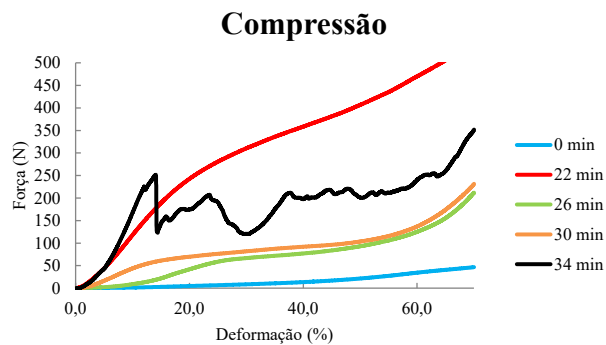
Parâmetro	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Nº de picos acústicos	$56 \pm 5^d$	$80 \pm 6^d$	$1632 \pm 208^c$	$3122 \pm 80^b$	$3847 \pm 341^a$
SPL <sub>eq</sub> (dB)	$52,15 \pm 0,93^c$	$52,76 \pm 1,60^c$	$55,89 \pm 3,37^b$	$56,18 \pm 3,57^b$	$58,54 \pm 4,19^a$
SPL <sub>máx</sub> (dB)	$59,30 \pm 3,82^c$	$62,86 \pm 13,31^c$	$71,77 \pm 9,26^b$	$73,02 \pm 10,51^b$	$80,24 \pm 11,02^a$
SPL <sub>máx,10</sub> (dB)	$56,07 \pm 2,80^c$	$57,65 \pm 4,27^c$	$67,59 \pm 9,55^b$	$67,68 \pm 10,95^b$	$74,85 \pm 10,36^a$

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Observa-se ainda pela Tabela 36 que, assim como na Tabela 35, existe um aumento no número de picos acústicos e no nível de pressão sonora máxima e média com o aumento do tempo de secagem, o que confirma a maior crocância nas amostras desidratadas até o tempo de 34 min.

A Figura 32 representa as curvas obtidas durante o teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Figura 32 - Curva representativa do teste de compressão para os *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

Assim como no teste de perfuração (Figura 31), a Figura 32 mostra que os *snacks* não podem ser considerados crocantes em tempos de secagem inferiores a 34 min, pelo fato de não existirem um grande número de fraturas no processo de deformação do produto.

Com o objetivo de confirmar a afirmação citada acima, os dados mecânicos e acústicos do teste de compressão estão apresentados nas Tabelas 37 e 38, respectivamente.

Tabela 37 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Parâmetro	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Nº de picos de força	4±1 <sup>c</sup>	4±1 <sup>c</sup>	51±2 <sup>b</sup>	53±4 <sup>b</sup>	115±11 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	150,09±28,33 <sup>c</sup>	691,20±87,86 <sup>b</sup>	2441,00±289,58 <sup>a</sup>	2532,17±158,16 <sup>a</sup>	2396,10±310,41 <sup>a</sup>
Distância linear	60,03±4,46 <sup>c</sup>	244,60±25,82 <sup>d</sup>	551,40±23,38 <sup>c</sup>	1304,56±112,16 <sup>b</sup>	1675,17±127,27 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	50,12±4,96 <sup>c</sup>	504,88±10,21 <sup>a</sup>	152,28±6,99 <sup>d</sup>	187,63±11,76 <sup>c</sup>	272,00±49,43 <sup>b</sup>
Força média (N)	16,48±1,02 <sup>c</sup>	23,99±3,54 <sup>c</sup>	60,28±7,49 <sup>b</sup>	71,51±9,80 <sup>b</sup>	132,92±29,07 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 37 revela a manutenção no número de picos e dos valores das forças máxima e média entre os tempos de secagem de 26 min e 30 min. No entanto, ao completar 34 min de processo, houve um aumento considerável nas características que denotam uma maior crocância do *snack*.

Tabela 38 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Parâmetro	0 min	22 min	26 min	30 min	34 min
Nº de picos acústicos	64±12 <sup>c</sup>	81±9 <sup>c</sup>	378±27 <sup>c</sup>	325±59 <sup>b</sup>	1306±88 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	55,63±2,48 <sup>b</sup>	56,12±1,27 <sup>b</sup>	61,23±2,08 <sup>a</sup>	61,77±3,25 <sup>a</sup>	62,42±2,49 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	60,18±1,82 <sup>b</sup>	62,03±2,76 <sup>b</sup>	67,65±2,97 <sup>a</sup>	69,14±1,88 <sup>a</sup>	70,29±3,08 <sup>a</sup>
SPL <sub>10</sub> (dB)	58,92±2,77 <sup>b</sup>	60,17±1,35 <sup>b</sup>	66,05±3,40 <sup>a</sup>	67,91±4,59 <sup>a</sup>	69,03±3,76 <sup>a</sup>

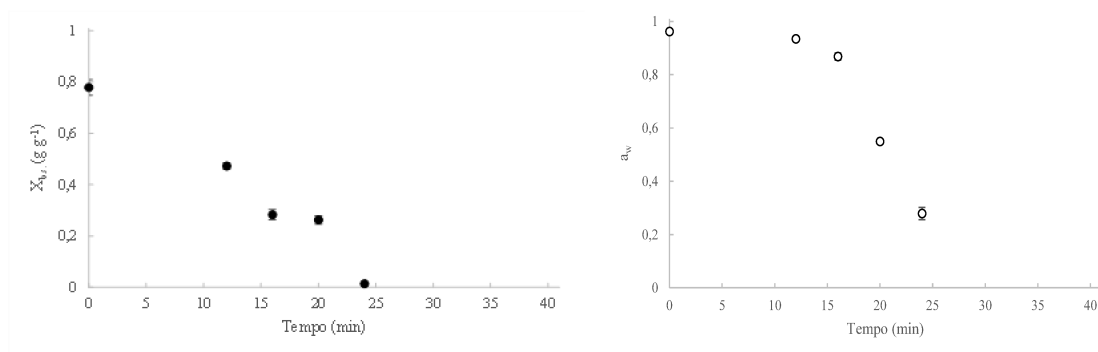
Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 38 mostra a manutenção do número de picos acústicos entre os tempos de 26 min e 30 min, mas um aumento considerável para o tempo de 34 min conforme também indicado pelos dados mecânicos (Tabela 37).

#### 4.3.7 Produção de *snacks* de muçarela tradicional a $1,5 \text{ W g}^{-1}$ e com temperatura inicial de $8 \text{ }^\circ\text{C}$

Da mesma forma que no tópico 4.3.5, a Figura 33 mostra a variação da umidade e da atividade de água no decorrer da formação dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ , mas com uma densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  aplicada ao sistema.

Figura 33 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 33 mostra uma condição semelhante à apresentada na Figura 27, mas com uma redução de  $0,2631 \pm 0,0161 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0142 \pm 0,0006 \text{ g g}^{-1}$  para a umidade e de  $0,549 \pm 0,008$  para  $0,279 \pm 0,023$  para a atividade de água entre os pontos de 20 min e 24 min.

A variação nos parâmetros de cor ao longo do processo está apresentada na Tabela 39.

Tabela 39 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

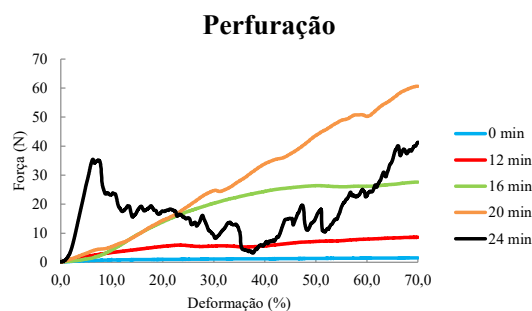
Tempo de secagem (min)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	$81,087 \pm 0,729^a$	$-5,405 \pm 0,375^a$	$24,251 \pm 2,014^b$
12	$73,714 \pm 1,150^d$	$-6,722 \pm 0,173^b$	$32,941 \pm 1,063^a$
16	$74,731 \pm 1,923^{c,d}$	$-6,537 \pm 0,370^b$	$33,868 \pm 2,277^a$
20	$76,030 \pm 2,155^c$	$-6,367 \pm 0,329^b$	$32,945 \pm 2,912^a$
24	$77,906 \pm 0,726^b$	$-6,528 \pm 2,151^b$	$33,718 \pm 2,064^a$

Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Assim como nos tópicos 4.3.5 e 4.3.6, o queijo muçarela tradicional apresentou uma luminosidade ( $L^*$ ) e cromaticidade  $a^*$  inferiores à versão *light*, e a cromaticidade  $b^*$  foi superior. Além disso, nesse caso, tanto a luminosidade ( $L^*$ ) quanto a cromaticidade  $a^*$  foram reduzidas, enquanto a cromaticidade  $b^*$  aumentou com o tempo de processo.

Os resultados do teste de perfuração para a condição avaliada estão apresentados na Figura 34 e nas Tabelas 40 (dados mecânicos) e 41 (dados acústicos).

Figura 34 - Curva representativa do teste de perfuração para os *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 34 apresenta diferenças expressivas entre as curvas no gráfico de força *versus* deformação para o teste de perfuração. Isso pode ser justificado pela grande variação nos valores de umidade e de atividade de água entre os pontos como mostrados na Figura 33. Para uma avaliação mais detalhada, os valores médios $\pm$ desvio-padrão dos parâmetros do teste de perfuração estão apresentados na Tabela 40.

Tabela 40 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos de força	2 $\pm$ 0 <sup>d</sup>	4 $\pm$ 1 <sup>d</sup>	15 $\pm$ 3 <sup>c</sup>	35 $\pm$ 1 <sup>b</sup>	140 $\pm$ 14 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	10,91 $\pm$ 0,70 <sup>c</sup>	58,74 $\pm$ 7,29 <sup>c</sup>	159,91 $\pm$ 21,01 <sup>b</sup>	206,82 $\pm$ 70,30 <sup>b</sup>	272,78 $\pm$ 79,26 <sup>a</sup>
Distância linear	10,03 $\pm$ 0,67 <sup>c</sup>	29,69 $\pm$ 5,41 <sup>c</sup>	55,60 $\pm$ 9,24 <sup>c</sup>	305,20 $\pm$ 74,63 <sup>b</sup>	472,72 $\pm$ 64,90 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	1,48 $\pm$ 0,13 <sup>c</sup>	9,56 $\pm$ 1,30 <sup>d</sup>	26,66 $\pm$ 2,61 <sup>c</sup>	60,68 $\pm$ 1,02 <sup>a</sup>	42,17 $\pm$ 15,43 <sup>b</sup>
Força média (N)	1,13 $\pm$ 0,11 <sup>d</sup>	5,99 $\pm$ 1,30 <sup>c</sup>	23,06 $\pm$ 2,61 <sup>b</sup>	31,80 $\pm$ 3,39 <sup>a</sup>	26,86 $\pm$ 6,13 <sup>a,b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

No caso do queijo muçarela tradicional, apesar de o número de picos de força aumentar significativamente, a força máxima e a média foram reduzidas entre os tempos de 20 min e 24 min (Tabela 40), indicando o aumento da fragilidade do produto desidratado e o aumento no número de poros no produto.

Tabela 41 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

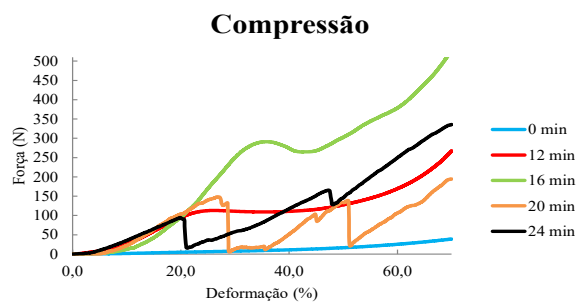
Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos acústicos	141±13 <sup>c</sup>	159±22 <sup>c</sup>	196±12 <sup>c</sup>	1889±686 <sup>b</sup>	4526±659 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	51,70±0,59 <sup>c</sup>	52,43±0,70 <sup>c</sup>	55,75±2,97 <sup>b</sup>	55,73±4,28 <sup>b</sup>	61,78±3,10 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	57,81±3,04 <sup>c</sup>	62,81±4,67 <sup>c</sup>	74,01±8,67 <sup>b</sup>	73,69±13,99 <sup>b</sup>	92,62±6,53 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx,10</sub> (dB)	55,27±2,44 <sup>c</sup>	58,51±2,97 <sup>c</sup>	68,79±9,33 <sup>b</sup>	69,37±13,87 <sup>b</sup>	87,57±6,15 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Como apresentado na Tabela 40, a Tabela 41 segue em conformidade com o esperado com o aumento do número de picos acústicos e dos níveis de pressão sonora máximo e médio, com o decorrer do tempo de processo, indicando a obtenção de um produto mais crocante ao final do tempo total de secagem.

Os resultados do teste de compressão do *snack* de queijo muçarela tradicional estão apresentados na Figura 35 e nas Tabelas 42 (dados mecânicos) e 43 (dados acústicos).

Figura 35 - Curva representativa do teste de compressão para os *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 35 mostra que o produto desidratado sob essas condições de secagem permaneceu rígido ao teste de compressão, com mudanças mais drásticas na estrutura a partir do tempo de 20 min de secagem. Para uma visualização mais criteriosa dos parâmetros do teste de compressão, os dados estão apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos de força	2±1 <sup>c</sup>	3±1 <sup>c</sup>	7±1 <sup>c</sup>	100±18 <sup>b</sup>	135±11 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	135,18±9,83 <sup>c</sup>	1104,05±70,62 <sup>b</sup>	2608,15±274,55 <sup>a</sup>	1336,94±315,81 <sup>b</sup>	1299,39±73,06 <sup>b</sup>
Distância linear	55,83±2,62 <sup>c</sup>	332,14±24,04 <sup>d</sup>	552,76±17,28 <sup>c</sup>	1653,31±252,37 <sup>b</sup>	2435,35±222,45 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	44,69±3,00 <sup>d</sup>	328,74±23,96 <sup>c</sup>	415,71±66,49 <sup>a,b</sup>	368,54±50,41 <sup>b,c</sup>	372,92±31,57 <sup>b,c</sup>
Força média (N)	25,26±1,90 <sup>c</sup>	115,53±14,06 <sup>b</sup>	247,75±21,26 <sup>a</sup>	142,48±38,45 <sup>b</sup>	138,83±13,88 <sup>b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão

Observa-se que a Figura 35 representa os dados apresentados na Tabela 42, com o aumento do número de picos de força, e a manutenção da força máxima e média entre os tempos de secagem de 20 min e 24 min. Pode-se afirmar ainda que até o tempo de 16 min, o produto não seria considerado crocante, sendo necessário um maior tempo de secagem.

Além disso, ao se comparar as Tabelas 30 e 40, e as Tabelas 31 e 41, observa-se um aumento significativo no número de picos de força tanto no teste de perfuração quanto no de compressão, comprovando a influência da potência aplicada ao sistema MWVD nas características do *snack* de queijo muçarela tradicional.

Tabela 43 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos acústicos	$112 \pm 3^e$	$143 \pm 8^d$	$178 \pm 15^c$	$1127 \pm 76^b$	$3596 \pm 107^a$
SPL <sub>eq</sub> (dB)	$51,27 \pm 1,12^c$	$52,73 \pm 2,03^{b,c}$	$53,22 \pm 2,35^{b,c}$	$55,93 \pm 1,42^b$	$62,14 \pm 2,79^a$
SPL <sub>máx</sub> (dB)	$56,45 \pm 3,27^c$	$58,16 \pm 2,97^c$	$60,91 \pm 3,56^c$	$75,82 \pm 4,93^b$	$91,57 \pm 3,34^a$
SPL <sub>10</sub> (dB)	$53,12 \pm 2,03^d$	$55,34 \pm 1,66^{c,d}$	$58,47 \pm 2,73^c$	$71,64 \pm 3,62^b$	$88,22 \pm 5,02^a$

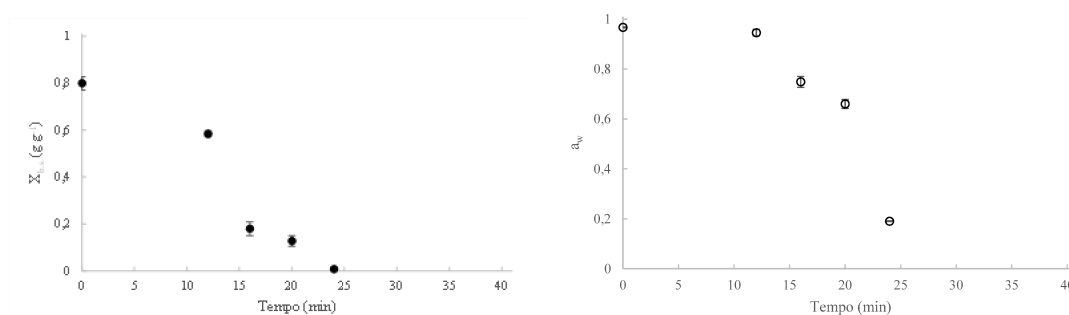
Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Os dados acústicos obtidos juntamente com o teste de compressão (Tabela 43) sugerem um aumento da crocância da amostra ao longo do processo de desidratação, sendo que o tempo final de processo (24 min) apresentou o maior número de picos acústicos e de níveis de pressão sonora.

#### 4.3.8 Produção de *snacks* de muçarela tradicional a $1,5 \text{ W g}^{-1}$ e com temperatura inicial de $20 \text{ }^\circ\text{C}$

A formação dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  também foi avaliada utilizando densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  aplicada ao sistema. A Figura 36 mostra a evolução da umidade e da atividade de água nessas condições.

Figura 36 - Evolução da umidade (em base seca) e da atividade de água dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

Observa-se através da Figura 36 uma queda mais drástica nos valores de umidade e de atividade de água que as apresentadas na Figura 30. Houve uma redução de  $0,1265 \pm 0,0221 \text{ g g}^{-1}$  para



0,0077±0,0013 g g<sup>-1</sup> para a umidade e de 0,660±0,018 para 0,190±0,002 para a atividade de água entre os pontos de 20 min e 24 min. Esses valores foram inferiores aos encontrados para a mesma condição de secagem que utilizou 1,0 W g<sup>-1</sup> de densidade de potência no micro-ondas.

A evolução dos parâmetros de cor durante o processo de secagem nessas condições está apresentada na Tabela 44.

Tabela 44 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

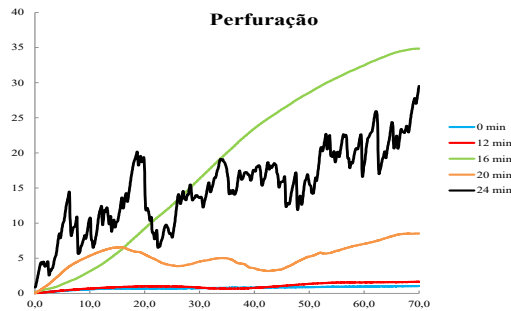
Tempo de secagem (min)	L*	a*	b*
0	80,072±0,808 <sup>a</sup>	-5,044±0,835 <sup>a</sup>	32,673±2,419 <sup>c</sup>
12	74,068±1,387 <sup>c,d</sup>	-6,099±0,787 <sup>b</sup>	34,591±1,697 <sup>b,c</sup>
16	73,089±1,296 <sup>d</sup>	-6,378±0,849 <sup>b</sup>	35,078±1,474 <sup>b</sup>
20	75,486±1,640 <sup>b</sup>	-6,029±1,215 <sup>a,b</sup>	33,762±1,586 <sup>b,c</sup>
24	74,626±1,224 <sup>b,c</sup>	-5,598±1,023 <sup>a,b</sup>	40,079±2,192 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada coluna com letras diferentes são significativamente diferentes (p<0,05). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Por meio da análise dos dados da Tabela 44, nota-se que a luminosidade (L\*) da amostra diminui, a cromaticidade a\* se mantém constante e a cromaticidade b\* aumenta. Esses resultados também são semelhantes aos encontrados para a mesma condição de secagem a 1,0 W g<sup>-1</sup>, mas com um aumento mais expressivo de coloração amarela no *snack* ao se utilizar a densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup>.

As curvas representativas do comportamento das amostras no teste de perfuração estão apresentadas na Figura 37.

Figura 37 - Curva representativa do teste de perfuração para os *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 37 deixa explícito a influência do tempo de secagem na construção da textura do *snack* na condição avaliada. Assim como a Figura 31, o acréscimo de 4 min em cada tempo de secagem estabelecido, altera significativamente a estrutura do produto desidratado. Para confirmação dessa análise, os dados do teste de perfuração estão apresentados nas Tabelas 45 (dados mecânicos) e 46 (dados acústicos).

Tabela 45 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos de força	$1 \pm 0^d$	$4 \pm 1^d$	$9 \pm 1^c$	$21 \pm 3^b$	$170 \pm 6^a$
Área (N.mm)	$8,44 \pm 0,73^c$	$15,48 \pm 0,95^c$	$49,47 \pm 5,18^b$	$51,84 \pm 2,50^b$	$96,54 \pm 13,74^a$
Distância linear	$21,10 \pm 1,22^c$	$22,35 \pm 1,81^c$	$36,82 \pm 4,32^{b,c}$	$94,09 \pm 10,53^b$	$543,07 \pm 86,95^a$
Força máxima (N)	$1,16 \pm 0,09^d$	$2,29 \pm 0,14^d$	$41,39 \pm 1,68^a$	$12,73 \pm 4,73^c$	$34,00 \pm 3,13^b$
Força média (N)	$0,82 \pm 0,05^d$	$1,26 \pm 0,24^d$	$27,87 \pm 0,84^a$	$8,41 \pm 2,62^c$	$16,96 \pm 3,47^b$

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

A Tabela 45 confirma o comportamento representado na Figura 37, com o aumento significativo do número de picos de força em maiores tempos de secagem. Nesse caso, também é necessário conduzir a secagem até o tempo máximo de secagem para se obter um produto com crocância desejada.

Além disso, observa-se que o aumento da potência utilizada no micro-ondas ocasionou uma maior formação de poros no *snack*, gerando um maior número de picos de força no teste de perfuração e menores valores de força necessárias para fraturar o alimento desidratado.

Tabela 46 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

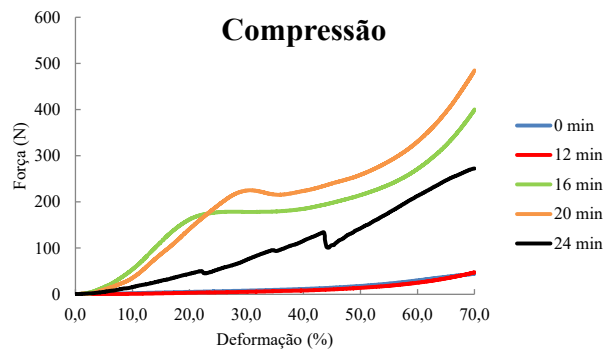
Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos acústicos	$56 \pm 4^b$	$124 \pm 12^b$	$113 \pm 9^b$	$129 \pm 18^b$	$7032 \pm 608^a$
SPL <sub>eq</sub> (dB)	$52,09 \pm 1,00^c$	$52,60 \pm 1,80^c$	$54,31 \pm 2,86^b$	$54,92 \pm 2,43^b$	$60,54 \pm 1,60^a$
SPL <sub>máx</sub> (dB)	$60,09 \pm 4,44^c$	$61,90 \pm 5,70^c$	$66,96 \pm 8,43^b$	$70,46 \pm 7,98^b$	$92,77 \pm 4,90^a$
SPL <sub>máx,10</sub> (dB)	$56,36 \pm 3,29^d$	$57,71 \pm 5,33^{c,d}$	$61,77 \pm 7,14^{b,c}$	$65,31 \pm 7,35^b$	$87,70 \pm 4,60^a$

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média  $\pm$  desvio-padrão.

Como esperado, observa-se na Tabela 46 que o maior número de eventos acústicos e de pressão sonora foram obtidos no tempo final de secagem.

Os resultados obtidos no teste de compressão estão apresentados na Figura 38 e nas Tabelas 47 (dados mecânicos) e 48 (dados acústicos).

Figura 38 - Curva representativa do teste de compressão para os *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Fonte: Autor (2021).

A Figura 38 indica que o *snack* é um produto rígido e, por isso, poucas fraturas são visualizadas no decorrer do teste. Para melhor compreensão dos resultados, os dados mecânicos obtidos estão apresentados na forma de média  $\pm$  desvio-padrão na Tabela 47.

Tabela 47 - Evolução dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos de força	2±0 <sup>b,c</sup>	2±1 <sup>b,c</sup>	3±1 <sup>c</sup>	5±1 <sup>b</sup>	171±8 <sup>a</sup>
Área (N.mm)	146,76±7,01 <sup>d</sup>	159,51±13,59 <sup>d</sup>	1219,17±133,68 <sup>b</sup>	2452,53±224,35 <sup>a</sup>	701,87±53,19 <sup>c</sup>
Distância linear	48,01±5,51 <sup>d</sup>	60,03±4,95 <sup>d</sup>	386,36±42,53 <sup>c</sup>	527,36±18,61 <sup>b</sup>	1802,64±103,56 <sup>a</sup>
Força máxima (N)	44,63±2,84 <sup>e</sup>	83,20±6,00 <sup>d</sup>	362,21±19,17 <sup>b</sup>	477,12±41,28 <sup>a</sup>	232,31±24,98 <sup>c</sup>
Força média (N)	13,73±1,30 <sup>d</sup>	21,83±3,62 <sup>d</sup>	159,09±16,42 <sup>b</sup>	224,20±14,03 <sup>a</sup>	107,41±9,11 <sup>c</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes (p<0,05). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Na Tabela 47 se observa um aumento expressivo no número de picos de força em maiores tempos de secagem. Assim como discutido para o teste de perfuração, o aumento da potência aplicada ao sistema MWVD também possibilitou o aumento no número de fraturas no teste de compressão. Isso pode ser justificado pelos menores valores de umidade e de atividade de água provenientes da desidratação em condições mais bruscas.

Os dados acústicos associados ao teste de compressão estão apresentados na Tabela 48.

Tabela 48 - Evolução dos parâmetros acústicos no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Parâmetro	0 min	12 min	16 min	20 min	24 min
Nº de picos acústicos	87±5 <sup>d</sup>	152±13 <sup>c</sup>	171±8 <sup>c</sup>	209±21 <sup>b</sup>	1466±117 <sup>a</sup>
SPL <sub>eq</sub> (dB)	52,23±2,74 <sup>b</sup>	53,15±3,06 <sup>b</sup>	52,37±2,11 <sup>b</sup>	53,68±3,48 <sup>b</sup>	61,24±1,37 <sup>a</sup>
SPL <sub>máx</sub> (dB)	55,92±4,23 <sup>d</sup>	59,73±6,72 <sup>c,d</sup>	63,21±5,84 <sup>c</sup>	80,16±3,51 <sup>b</sup>	93,69±4,79 <sup>a</sup>
SPL <sub>10</sub> (dB)	53,17±1,37 <sup>d</sup>	56,25±2,71 <sup>c,d</sup>	60,14±3,43 <sup>c</sup>	77,12±4,69 <sup>b</sup>	89,26±3,76 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes (p<0,05). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 48 sugere por meio do aumento do número de picos e dos níveis de pressão sonora que o produto mais crocante foi obtido ao final do processo (24 min).

#### 4.4 CONCLUSÃO

Observou-se durante esse estudo uma diminuição significativa do teor de água e da atividade de água nos últimos 4 min de processo em todas as condições avaliadas, o que indica a necessidade de se conduzir a secagem até o tempo final estipulado para se obter *snacks* com atividade de água entre 0,2 e 0,3 – intervalo em que o crescimento microbiano, a atividade enzimática, as reações de escurecimento e a oxidação lipídica são minimizados.

Além disso, notou-se que apesar da luminosidade ( $L^*$ ), da cromaticidade  $a^*$  e da cromaticidade  $b^*$  apresentarem valores diferentes entre as versões *light* e tradicional – que podem ser explicadas pela diferença na composição do queijo – existe uma manutenção relativa nos parâmetros de cor durante todo o processamento. Isso é um resultado desejado, considerando que a aparência, juntamente com o sabor e a textura, é um atributo de qualidade e que, quanto menor a variação em relação a matéria-prima, maior será a aceitabilidade do produto. Em relação a textura, foi constatado que a versão *light* do queijo muçarela gerou *snacks* mais crocantes que a versão tradicional, possivelmente em função da estrutura da matriz da matéria-prima apresentar uma textura mais firme (menos cremosa) e permitir uma remoção mais eficiente da umidade durante o processo MWVD.

Em relação a potência das micro-ondas utilizada no sistema de desidratação, conclui-se que a densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  foi mais eficiente na produção de *snacks* crocantes, o que pode ser justificado pelo aumento da vibração das moléculas de água que facilitam a retirada da umidade do produto e, conseqüentemente, a formação de poros.

A temperatura inicial das amostras introduzidas no sistema MWVD não alterou de forma expressiva a umidade e atividade de água dos *snacks* produzidos em condições semelhantes de estudo. Porém, notou-se um aumento na crocância dos queijos desidratados em condições em que foi utilizada a temperatura ambiente ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) inicialmente.

Assim, optou-se por selecionar apenas a temperatura inicial das amostras de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  para dar prosseguimento ao estudo de forma combinada com os demais parâmetros.

## 5 CAPÍTULO 3 – EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS *SNACKS* DE QUEIJO MUÇARELA DURANTE O ARMAZENAMENTO

### 5.1 INTRODUÇÃO

O queijo muçarela desidratado pode ser uma alternativa interessante de produto para consumo rápido na forma de *snack* por apresentar um elevado teor de proteínas, preço acessível e um *flavour* agradável. Seu alto conteúdo de gorduras, no entanto, o torna passível de sofrer oxidação, que consiste em uma das principais causas de deterioração desse tipo de produto.

As reações bioquímicas causadas pelo processamento e armazenamento aumentam a segurança de alimentos, as propriedades organolépticas e a vida útil de produtos lácteos. No entanto, o tratamento térmico, a exposição a luz e ao oxigênio podem causar danos oxidativos aos lipídios e proteínas do alimento (BALESTRIERI *et al.*, 2002).

Os *snacks* de queijo apresentam como vantagem geral uma maior estabilidade durante o armazenamento, devido o conteúdo de umidade e de atividade de água baixos. No entanto, podem ocorrer algumas mudanças na qualidade do produto seco durante esse período como variações na hidrólise e oxidação da gordura e reações de escurecimento não enzimático como a reação de Maillard (STAPELFELDT; NIELSEN; SKIBSTED, 1997; ERBAY; KOCA, 2019). A temperatura e umidade relativa do armazenamento são consideradas os fatores principais envolvidos, mas o tempo, os componentes do produto e o estado físico também interferem nas alterações (THOMAS *et al.*, 2004).

Tanto a atividade de água como a temperatura de armazenamento são importantes para reduzir os *off-flavours* dos produtos, assim como a umidade, embalagem e luminosidade (LLOYD; DRAKE; GERARD, 2009). O controle da temperatura e dos níveis de oxigênio são fundamentais para minimizar a oxidação (PARK; DRAKE, 2014).

Outra importante reação em produtos lácteos desidratados é o escurecimento não-enzimático, normalmente resultado da reação de Maillard (ERBAY; KOCA, 2019). Essa reação pode ocorrer durante o processamento e pode continuar durante o armazenamento (SCHUCK, 2011). Embora a taxa de reação não seja elevada em produtos desidratados, acarreta na formação de compostos quimicamente estáveis que não são desejados (ERBAY; KOCA, 2019).

A vida útil de um produto consiste no tempo em que ele pode ser conservado frente a determinadas condições, podendo inclusive sofrer pequenas alterações consideradas aceitáveis pelo fabricante, pelo consumidor e pela legislação vigente (GALLINA *et al.*, 2009). Diversos parâmetros estão diretamente envolvidos no estudo e na estimativa de vida útil de alimentos, sendo as principais:

valor nutritivo; crescimento microbiano, ação enzimática ou infestação de insetos; e a qualidade sensorial (GALLINA *et al.*, 2009). Dentre esses, a qualidade sensorial - que inclui sabor, aroma, textura e aparência - se relaciona diretamente com o consumidor. Por isso, além das características químicas, a manutenção das propriedades de textura também são fundamentais para a aceitabilidade dos *snacks*.

Os poucos relatos sobre a produção e armazenamento de *snacks* de queijo fundamenta a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre os danos que os parâmetros de processo e as condições de armazenamento ocasionam no produto.

Por isso, o objetivo desse capítulo foi avaliar a umidade, atividade de água, pH, cor, microscopia óptica, textura e estabilidade oxidativa dos *snacks* de queijo muçarela – *light* e tradicional - armazenados em embalagens laminadas de alta barreira ao vapor de água sob pressão atmosférica e sob vácuo durante o período de 120 dias.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 Matéria-prima

Assim como descrito no tópico 3.2.1, as peças de queijo muçarela – tradicional e *light* - da marca Tirolez foram adquiridas no comércio local da cidade de Florianópolis-SC e mantidas em temperatura de refrigeração até o momento de sua utilização. As extremidades das peças de queijo foram desprezadas e as amostras foram cortadas em formato cúbico de 1,5 cm de aresta.

### 5.2.2 Dispositivo experimental

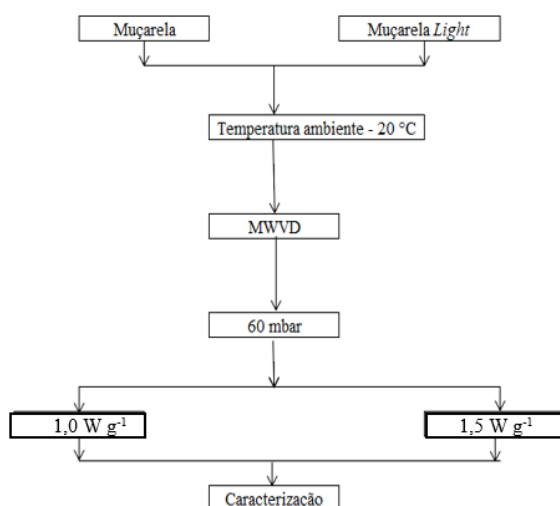
O dispositivo experimental utilizado no estudo está descrito no tópico 3.2.2.

### 5.2.3 Procedimento experimental

Com o objetivo de avaliar como os *snacks* de queijo muçarela se comportam durante o armazenamento, as amostras foram primeiramente preparadas em MWVD nas seguintes condições: amostras *light* e tradicional, com temperatura inicial de 20 °C, pressão de vácuo do sistema de

60 mbar e densidades de potência aplicadas de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ . Em seguida, foram armazenadas em embalagem de alta barreira ao vapor de água em pressão atmosférica e sob vácuo e caracterizadas quanto à umidade, atividade de água ( $a_w$ ), potencial hidrogeniônico (pH), oxidação lipídica, microscopia e textura, conforme apresentado no fluxograma da Figura 39.

Figura 39 - Representação esquemática do procedimento experimental utilizado para o estudo da influência do armazenamento dos *snacks* de queijo muçarela em pressão atmosférica e sob vácuo nas características do produto.



Fonte: Autor (2021).

Para cada condição foram realizadas seis bateladas de secagem, sendo que em cada secagem 240 g de amostra - cortadas em formato cúbico com 1,5 cm de aresta - foram separadas igualmente em quatro quadrantes no tambor rotativo de polipropileno e inseridas no disposto experimental pelo tempo definido no Capítulo 2 e apresentado na Tabela 49.

Tabela 49 - Tempos de processo em MWVD para preparar os *snacks* de queijo muçarela para estudo do armazenamento em pressão atmosférica e sob vácuo.

Condição avaliada	Tempo final da secagem (min)
<i>Light</i> , $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , $20 \text{ °C}$	40 min
<i>Light</i> , $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , $20 \text{ °C}$	24 min
Tradicional, $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , $20 \text{ °C}$	34 min
Tradicional, $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , $20 \text{ °C}$	24 min

Fonte: Autor (2021).

Após o preparo das bateladas, as amostras correspondentes foram misturadas e separadas em embalagens de alta barreira ao vapor de água e a luz. Em seguida, foram divididas em amostras que



seriam armazenadas sob vácuo e as que seriam armazenadas sob pressão atmosférica, sendo aplicado o vácuo nas correspondentes. As amostras foram classificadas conforme apresentado na Tabela 50.

Tabela 50 - Classificação das amostras conforme o processo utilizado em MWVD para a produção dos *snacks* de queijo muçarela e a condição de armazenamento aplicada.

Armazenamento em pressão atmosférica	Armazenamento sob vácuo
<i>Light</i> , 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C, Patm	<i>Light</i> , 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C, Vácuo
<i>Light</i> , 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C, Patm	<i>Light</i> , 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C, Vácuo
Tradicional, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C, Patm	Tradicional, 1,0 W g <sup>-1</sup> , 20 °C, Vácuo
Tradicional, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C, Patm	Tradicional, 1,5 W g <sup>-1</sup> , 20 °C, Vácuo

Fonte: Autor (2021).

Os *snacks* de queijo muçarela embalados foram mantidos em BOD à 25 °C por um período de 120 dias. As características dos *snacks* foram determinadas nos seguintes dias: 0 (logo após o processamento), 7, 14, 21, 28, 35, 105, 112 e 120 dias de armazenamento.

## 5.2.4 Caracterizações dos *snacks* de queijo muçarela durante armazenamento

### 5.2.4.1 Umidade e Atividade de água

A umidade (em base seca) e a atividade de água ao longo do armazenamento foram determinadas por método gravimétrico em estufa a vácuo a 70 °C (A.O.A.C, 2005) e em higrômetro digital (Aqualab Modelo – Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, E.U.A.) pela medida do ponto de orvalho a 25 °C, respectivamente. Ambas as análises foram realizadas em triplicata.

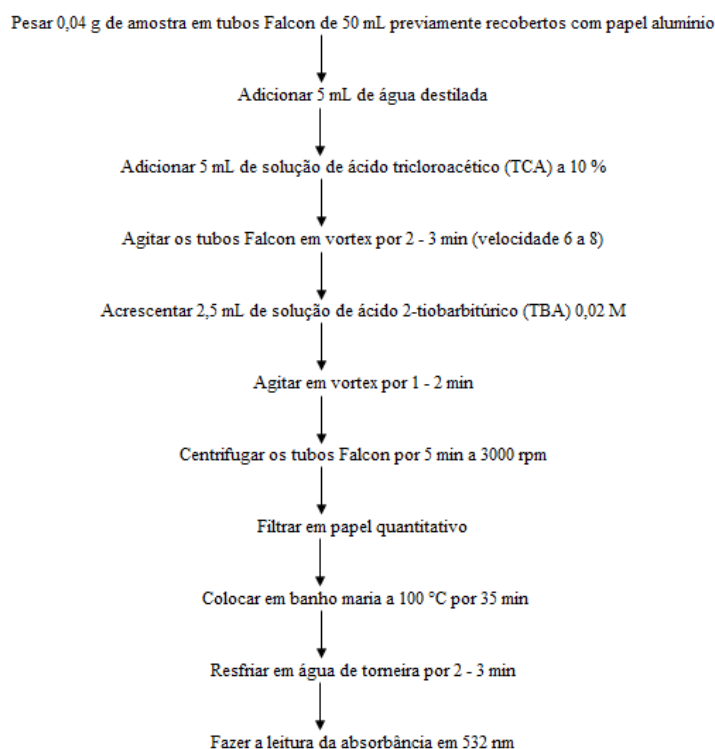
### 5.2.4.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado conforme metodologia 017/IV do Instituto Adolfo Lutz, que consiste na diluição de 10 g de *snack* de queijo triturado em 100 mL de água destilada, e determinação do pH com o uso direto do pHmetro (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). As análises ocorreram em triplicata.

### 5.2.4.3 Oxidação lipídica

A metodologia utilizada para a determinação da oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela foi baseada no método extrativo de Rosmini *et al.* (1996) com modificações, como descrito na tese de Daniella Fialho (2010) e apresentado no fluxograma da Figura 40.

Figura 40 - Fluxograma das etapas para a realização da análise de oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela.



Fonte: FIALHO (2010).

O branco foi composto por água destilada (2 mL), solução de ácido tricloroacético (2 mL) e solução de ácido 2-tiobarbitúrico (1 mL). A análise foi realizada em duplicata e os resultados são expressos em mg de malonaldeído/kg de amostra.

### 5.2.4.4 Cor

Os parâmetros de cor das amostras foram determinados utilizando um sistema de visão computacional, de acordo com a metodologia descrita por Cárdenas-Pérez *et al.* (2017) com adaptações. As imagens foram obtidas por uma câmera fotográfica (Nikon D5500, Nikon

Corporation, Japão) e tratadas com o *software* ImageJ v.1.6.o (National Institutes of Health, E.U.A.). Foi utilizado o conversor plug-in para converter as cores da escala RGB para a CIELab. Essa análise foi realizada em quintuplicada.

#### 5.2.4.5 Análise mecânica

Um analisador de textura TA-XT plus (Stable Micro Systems, Godalming, UK) com uma célula de carga de 50 kg, juntamente com um cilindro P/2 (2 mm de diâmetro) foi usado para ensaios de penetração e com um cilindro P/50 (50 mm de diâmetro) para ensaios de compressão. As amostras foram penetradas ou compactadas a uma profundidade de 70% da espessura total com uma velocidade de  $1 \text{ mm s}^{-1}$ . Ambos os ensaios foram realizados com 5 amostras cada. Um valor de limite máximo de 0,049 N foi usado para determinar o Número de Picos de Força. A taxa de aquisição de dados foi de 500 Hz para sinais de força. Todos os testes foram realizados dentro de uma sala com temperatura controlada de  $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 5.2.4.6 Microscopia óptica

As imagens foram realizadas da superfície e da parte interna das amostras fraturadas após secagem, em estereomicroscópio (Meiji, modelo RZ, Japão), com uma câmera microscópica (Opticam, OPT 10000, Brasil), utilizando para a captura de imagens o *software* TSview7 (TSview, Tucsen, V, 7.3.1.7, China) sendo realizada ao menos três imagens de cada condição estudada.

#### 5.2.4.7 Análise estatística

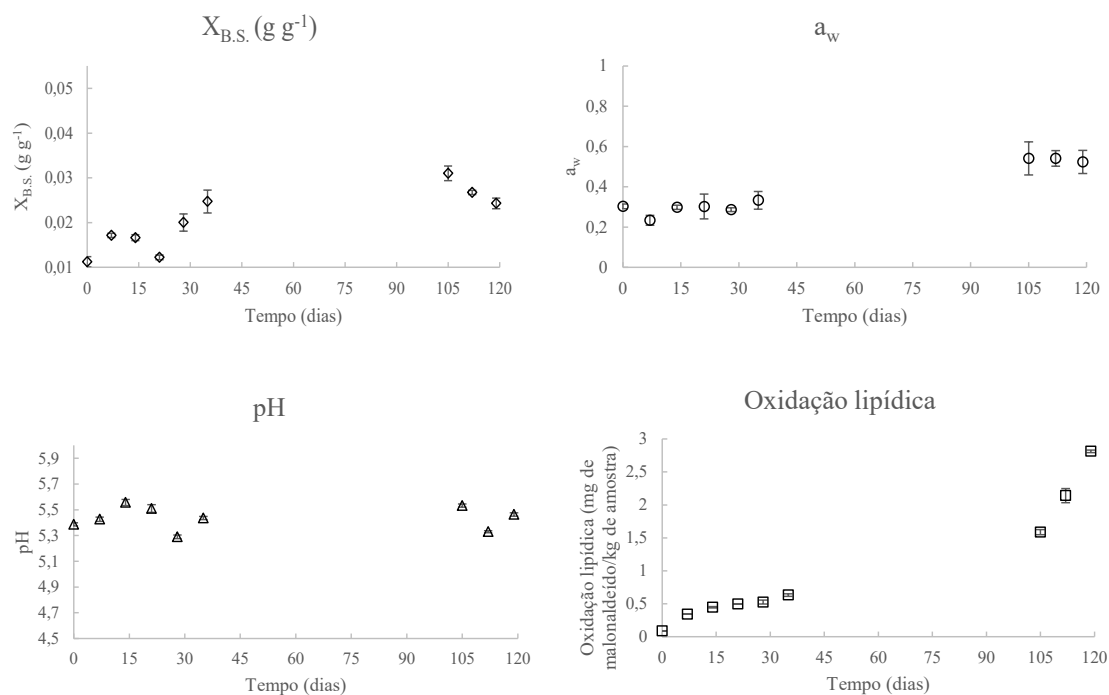
A análise unidirecional de variância (ANOVA) foi realizada para os parâmetros de cor e textura para avaliar diferenças entre as amostras utilizando o *software* Statistica 10.0 (StatSoft, Tulsa, EUA).

## 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.3.1 Pressão atmosférica / *light* / 1,0 W g<sup>-1</sup> / 20 °C

A Figura 41 apresenta a variação da umidade, atividade de água, pH e da oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD a 1,0 W g<sup>-1</sup> e armazenados em pressão atmosférica.

Figura 41 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica.



Fonte: Autor (2021).

Através dos dados apresentados na Figura 41, observa-se um aumento considerável tanto na umidade (de  $0,0112 \pm 0,0243$  g g<sup>-1</sup> para  $0,0243 \pm 0,0012$  g g<sup>-1</sup>), e na atividade de água (de  $0,303 \pm 0,012$  para  $0,523 \pm 0,058$ ), quanto na oxidação lipídica (de  $0,09 \pm 0,00$  para  $2,81 \pm 0,02$  mg de malonaldeído kg<sup>-1</sup> de amostra) em 120 dias de armazenamento, o que poderia ocasionar um aumento das reações enzimáticas, do escurecimento não-enzimático e da auto oxidação lipídica no alimento. Além disso, nota-se a manutenção do potencial hidrogeniônico nesse período.

A variação nos parâmetros de cor dos *snacks* durante o armazenamento está apresentada na Tabela 51.

Tabela 51 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em pressão atmosférica dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Tempo de armazenamento (dias)	L*	a*	b*
0	93,095±0,869 <sup>a</sup>	-3,102±0,445 <sup>a</sup>	24,795±0,908 <sup>c,d</sup>
7	92,146±0,503 <sup>c</sup>	-4,081±0,292 <sup>b</sup>	25,345±0,882 <sup>c</sup>
14	93,498±0,521 <sup>a</sup>	-4,111±0,137 <sup>b</sup>	23,059±0,933 <sup>d</sup>
21	93,501±0,271 <sup>a</sup>	-3,813±0,266 <sup>b</sup>	23,085±0,589 <sup>d</sup>
28	93,447±0,106 <sup>a,b</sup>	-3,833±0,402 <sup>b</sup>	23,984±0,617 <sup>c,d</sup>
35	92,234±0,379 <sup>b,c</sup>	-3,934±0,170 <sup>b</sup>	23,911±0,476 <sup>c,d</sup>
105	91,867±0,663 <sup>c</sup>	-3,788±0,325 <sup>b</sup>	30,699±0,671 <sup>a</sup>
112	91,108±0,479 <sup>c</sup>	-3,505±0,179 <sup>a,b</sup>	30,260±0,769 <sup>a</sup>
120	91,125±0,630 <sup>c</sup>	-3,554±0,235 <sup>a,b</sup>	29,947±0,373 <sup>b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 51 revela uma redução na luminosidade (L\*) da amostra, a manutenção da cromaticidade a\* e um aumento na cromaticidade b\*, isto é, ocorreu um pequeno escurecimento e um aumento da tonalidade amarela no *snack* durante o armazenamento por 120 dias a 25 °C.

Como um dos principais atributos de qualidade de um *snack* é a sua crocância, os resultados das análises de textura – perfuração e compressão - estão apresentados nas Tabelas 52 e 53, respectivamente.

Tabela 52 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados em pressão atmosférica.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	222±9 <sup>a</sup>	165,97±32,54 <sup>a</sup>	806,68±323,9 <sup>a</sup>	38,94±11,77 <sup>a</sup>
7	173±28 <sup>b</sup>	251,17±76,23 <sup>a</sup>	925,70±169,12 <sup>a</sup>	58,04±16,88 <sup>a</sup>
14	166±6 <sup>b</sup>	255,28±92,95 <sup>a</sup>	891,94±205,19 <sup>a</sup>	65,95±16,00 <sup>a</sup>
21	148±4 <sup>b</sup>	129,66±12,45 <sup>a</sup>	863,30±139,17 <sup>a</sup>	48,6±8,09 <sup>a</sup>
28	163±8 <sup>b</sup>	165,35±44,10 <sup>a</sup>	918,35±37,10 <sup>a</sup>	54,59±7,38 <sup>a</sup>
35	184±19 <sup>a,b</sup>	186,67±43,18 <sup>a</sup>	931,04±58,23 <sup>a</sup>	62,43±9,40 <sup>a</sup>
105	159±4 <sup>b</sup>	178,81±78,43 <sup>a</sup>	866,77±25,42 <sup>a</sup>	63,00±3,51 <sup>a</sup>
112	149±17 <sup>b</sup>	185,32±15,46 <sup>a</sup>	973,30±62,33 <sup>a</sup>	52,97±14,00 <sup>a</sup>
120	153±10 <sup>b</sup>	183,35±11,63 <sup>a</sup>	924,57±48,56 <sup>a</sup>	64,22±16,46 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Os dados do teste de perfuração (Tabela 52) indicam uma redução no número de picos de força, a manutenção da área, da distância linear e da força máxima ao longo do armazenamento. Esse resultado pode ser justificado pelo aumento da umidade e da atividade de água ao final do período estudado (Figura 41).

Tabela 53 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica.

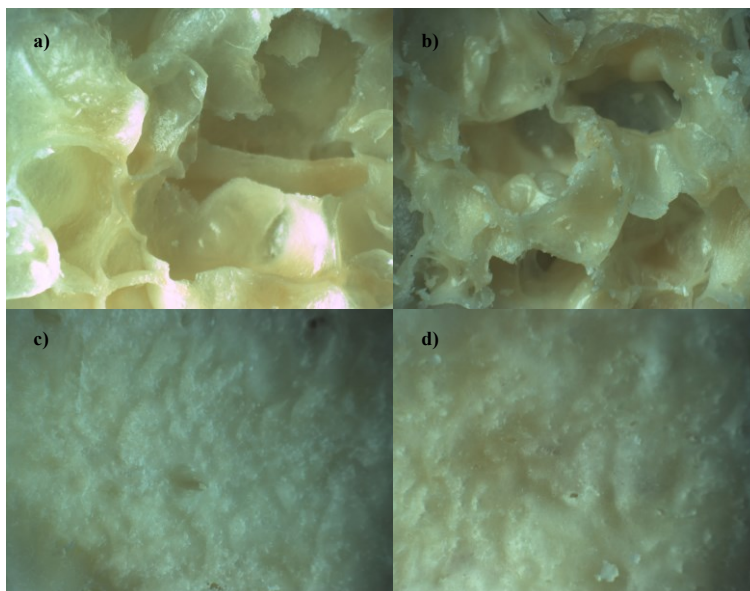
Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	201±14 <sup>a,b</sup>	518,23±21,17 <sup>a,b</sup>	2044,08±149,70 <sup>a</sup>	183,12±17,21 <sup>a,b</sup>
7	196±32 <sup>a,b</sup>	428,64±55,45 <sup>b</sup>	1832,40±217,44 <sup>a</sup>	172,46±67,29 <sup>a,b</sup>
14	152±29 <sup>b</sup>	527,88±71,93 <sup>a,b</sup>	2108,84±240,74 <sup>a</sup>	198,75±34,25 <sup>a,b</sup>
21	166±15 <sup>a,b</sup>	481,90±57,34 <sup>a,b</sup>	2083,03±216,17 <sup>a</sup>	145,73±21,20 <sup>b</sup>
28	194±25 <sup>a,b</sup>	566,16±14,87 <sup>a</sup>	2022,50±185,41 <sup>a</sup>	159,15±16,92 <sup>a,b</sup>
35	229±13 <sup>a</sup>	541,88±17,17 <sup>a,b</sup>	2234,50±117,17 <sup>a</sup>	248,93±54,92 <sup>a</sup>
105	179±27 <sup>a,b</sup>	561,84±33,69 <sup>a</sup>	2151,40±114,25 <sup>a</sup>	186,68±10,80 <sup>a,b</sup>
112	227±20 <sup>a</sup>	564,94±19,92 <sup>a</sup>	2215,80±94,59 <sup>a</sup>	189,93±26,54 <sup>a,b</sup>
120	208±28 <sup>a,b</sup>	560,58±26,25 <sup>a</sup>	2041,74±42,06 <sup>a</sup>	199,63±24,07 <sup>a,b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Diferentemente dos resultados do teste de perfuração (Tabela 52), os parâmetros do teste de compressão (Tabela 53) não sofreram influência durante o período de armazenamento, indicando uma estabilidade na estrutura da amostra.

As imagens da microscopia óptica dos *snacks* de queijo muçarela *light* armazenados em pressão atmosférica logo após o processamento em MWVD a 1,0 W g<sup>-1</sup> e após 120 dias de armazenamento estão apresentadas na Figura 42.

Figura 42 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e armazenados em pressão atmosférica nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.



Fonte: Autor (2021).

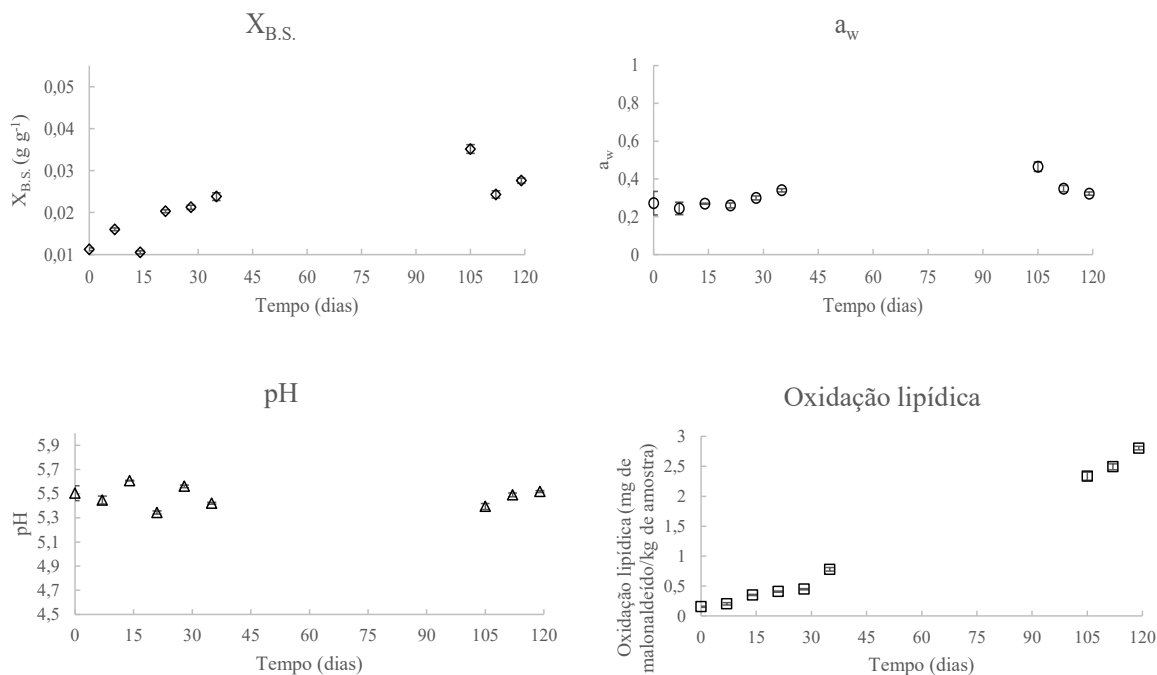
Assim como indicado na Tabela 51, é possível verificar um aumento da tonalidade amarela na imagem da superfície do *snack* armazenado por 120 dias (Figura 42 – d). Além disso, na Figura 42 (a, b) observa-se a estrutura altamente porosa formada dentro do *snack*.

### 5.3.2 Pressão atmosférica / *light* / $1,5 \text{ W g}^{-1}$ / $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Os *snacks* produzidos a partir de queijo muçarela *light* em MWVD a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  também foram avaliados quanto ao período de armazenamento. As características principais relacionadas à umidade, atividade de água, pH e oxidação lipídica estão apresentadas na Figura 43.



Figura 43 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados em pressão atmosférica.



Fonte: Autor (2021).

O armazenamento no período de 120 dias acarretou o aumento tanto da umidade (de  $0,0112 \pm 0,0003 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0276 \pm 0,0006 \text{ g g}^{-1}$ ), quanto na atividade de água (de  $0,271 \pm 0,062$  para  $0,322 \pm 0,008$ ) e na oxidação lipídica ( $0,16 \pm 0,01$  para  $2,80 \pm 0,03 \text{ mg de malonaldeído kg}^{-1}$  de amostra), conforme apresentado na Figura 43. Constata-se que a densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  aplicada ao sistema MWVD não resultou em diferenças na umidade e na atividade de água da amostra comparada a densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ . No entanto, a oxidação lipídica logo após o processamento, foi ligeiramente maior na condição a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ . O pH, por sua vez, se manteve constante tanto na condição a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  como a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ .

A variação da cor dos *snacks* nessa condição de processamento e armazenamento está apresentada na Tabela 54.

Tabela 54 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em pressão atmosférica dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Tempo de armazenamento (dias)	L*	a*	b*
0	92,344±0,221 <sup>a,b</sup>	-4,572±0,145 <sup>d</sup>	23,955±0,605 <sup>d,e</sup>
7	91,130±0,495 <sup>c,d</sup>	-3,420±0,297 <sup>b</sup>	26,122±0,532 <sup>b,c</sup>
14	90,991±0,381 <sup>c,d,e</sup>	-3,486±0,244 <sup>b</sup>	26,089±0,638 <sup>b,c</sup>
21	90,515±0,360 <sup>d,e</sup>	-3,331±0,310 <sup>b</sup>	26,421±0,492 <sup>b</sup>
28	89,963±0,691 <sup>e</sup>	-1,477±0,314 <sup>a</sup>	30,108±0,365 <sup>a</sup>
35	91,501±0,257 <sup>a,b,c,d</sup>	-4,487±0,328 <sup>d</sup>	23,410±0,482 <sup>e,f</sup>
105	91,725±0,181 <sup>a,b,c</sup>	-4,140±0,095 <sup>c,d</sup>	24,178±0,268 <sup>d,e</sup>
112	92,447±0,462 <sup>a</sup>	-3,810±0,273 <sup>b,c</sup>	22,434±0,246 <sup>f</sup>
120	91,306±0,725 <sup>b,c,d</sup>	-3,793±0,257 <sup>b,c</sup>	25,035±0,712 <sup>c,d</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Como apresentado na Tabela 54, os parâmetros de cor não sofreram grande variação com o tempo de armazenamento. Assim como discutido no tópico 5.3.1, as amostras perderam um pouco de luminosidade (L\*) e obtiveram um aumento na tonalidade amarela (a\*).

A evolução dos parâmetros que caracterizam a textura do queijo desidratado está apresentada nas Tabelas 55 (teste de perfuração) e 56 (teste de compressão).

Tabela 55 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	219±3 <sup>a</sup>	174,23±40,28 <sup>a,b</sup>	769,36±146,87 <sup>a</sup>	41,30±1,49 <sup>a,b,c</sup>
7	185±27 <sup>a</sup>	87,83±12,96 <sup>b</sup>	490,82±74,09 <sup>b</sup>	30,22±8,44 <sup>c</sup>
14	176±24 <sup>a</sup>	114,39±38,27 <sup>a,b</sup>	553,12±154,27 <sup>a,b</sup>	41,07±9,25 <sup>a,b,c</sup>
21	212±24 <sup>a</sup>	171,70±51,42 <sup>a,b</sup>	562,69±119,64 <sup>a,b</sup>	34,46±5,32 <sup>b,c</sup>
28	188±32 <sup>a</sup>	171,02±37,06 <sup>a,b</sup>	569,00±87,76 <sup>a,b</sup>	41,33±3,48 <sup>a,b,c</sup>
35	174±61 <sup>a</sup>	176,71±18,29 <sup>a</sup>	502,80±25,20 <sup>b</sup>	45,73±4,54 <sup>a,b</sup>
105	159±7 <sup>a</sup>	177,06±19,69 <sup>a</sup>	549,19±53,92 <sup>a,b</sup>	48,15±4,42 <sup>a,b</sup>
112	186±34 <sup>a</sup>	160,49±19,05 <sup>a,b</sup>	542,83±24,53 <sup>a,b</sup>	49,76±1,73 <sup>a</sup>
120	164±35 <sup>a</sup>	175,51±14,92 <sup>a,b</sup>	549,71±14,86 <sup>a,b</sup>	45,56±2,16 <sup>a,b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Através dos dados mecânicos obtidos pelo teste de perfuração (Tabela 55), pode-se afirmar que o tempo de 120 dias de armazenamento não alterou as características de crocância do produto.

Tabela 56 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	227±42 <sup>a,b</sup>	634,92±95,03 <sup>a,b</sup>	2330,89±345,25 <sup>a,b,c,d</sup>	135,99±36,43 <sup>a</sup>
7	183±50 <sup>b</sup>	699,97±62,04 <sup>a,b</sup>	2401,01±197,60 <sup>a,b,c</sup>	202,08±57,63 <sup>a</sup>
14	222±22 <sup>a,b</sup>	578,81±21,94 <sup>b</sup>	1951,91±65,74 <sup>d</sup>	113,93±10,88 <sup>a</sup>
21	266±54 <sup>a,b</sup>	703,97±49,65 <sup>a,b</sup>	2471,80±46,73 <sup>a</sup>	142,17±23,66 <sup>a</sup>
28	292±36 <sup>a,b</sup>	708,49±17,83 <sup>a,b</sup>	2457,70±28,03 <sup>a,b</sup>	175,29±32,21 <sup>a</sup>
35	295±28 <sup>a,b</sup>	654,99±19,87 <sup>a,b</sup>	2066,90±14,31 <sup>b,c,d</sup>	147,73±35,47 <sup>a</sup>
105	332±30 <sup>a</sup>	740,11±83,93 <sup>a</sup>	2309,70±29,75 <sup>a,b,c,d</sup>	142,98±23,74 <sup>a</sup>
112	227±64 <sup>a,b</sup>	651,48±66,14 <sup>a,b</sup>	2235,80±53,15 <sup>a,b,c,d</sup>	156,99±43,08 <sup>a</sup>
120	261±55 <sup>a,b</sup>	653,67±29,94 <sup>a,b</sup>	2051,30±57,34 <sup>c,d</sup>	155,26±34,00 <sup>a</sup>

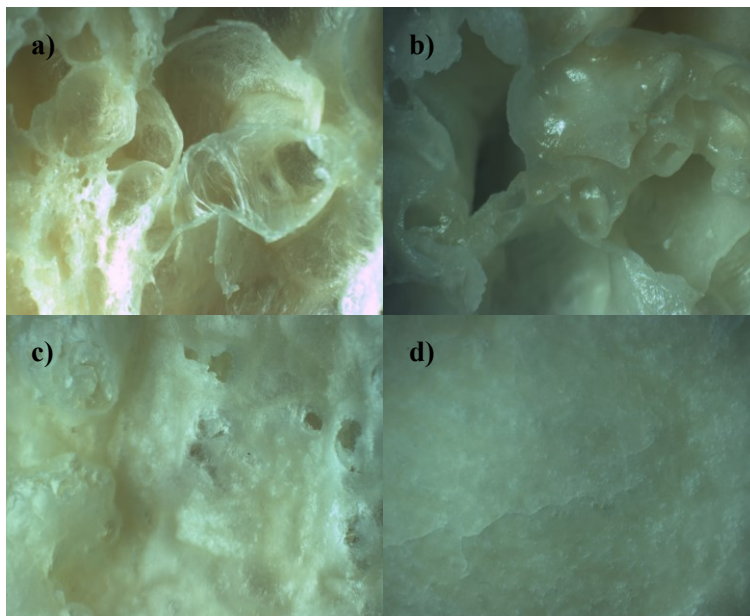
Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Assim como o observado na análise de dados da Tabela 55, os dados mecânicos provenientes do teste de compressão (Tabela 56) também indicam a manutenção das características de crocância do *snack*.

Além disso, conclui-se também que a densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> aplicada ao sistema para o preparo das amostras geraram características de textura semelhantes aos *snacks* produzidos com 1,0 W g<sup>-1</sup>.

As imagens obtidas pelo microscópio óptico da superfície e da fratura do queijo desidratado estão apresentadas na Figura 44.

Figura 44 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e armazenados em pressão atmosférica nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.



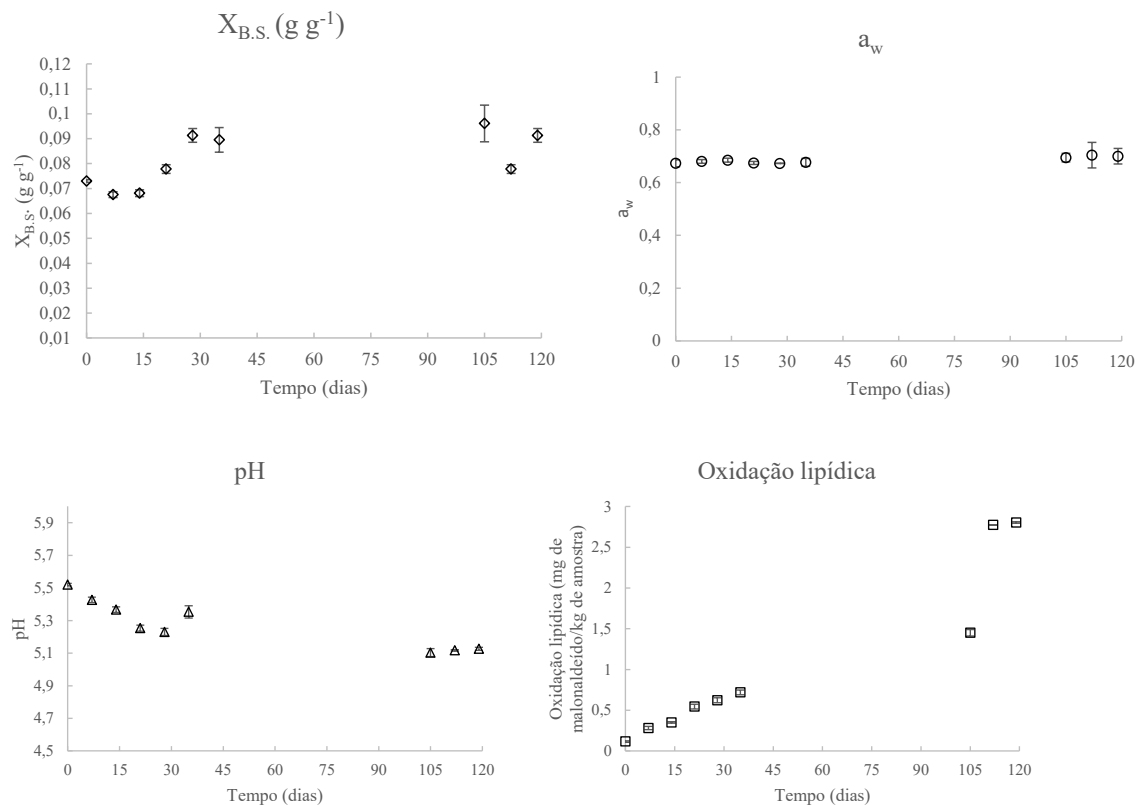
Fonte: Autor (2021).

Assim como esperado, a Figura 44 indica uma estrutura altamente porosa semelhante a condição de secagem a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ .

### 5.3.3 Pressão atmosférica / tradicional / $1,0 \text{ W g}^{-1}$ / $20 \text{ }^\circ\text{C}$

O *snack* produzido a partir da versão tradicional do queijo muçarela também foi avaliado durante o período de armazenamento de 120 dias em pressão atmosférica e os resultados de umidade, atividade de água, pH e oxidação lipídica estão apresentados na Figura 45.

Figura 45 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados em pressão atmosférica.



Fonte: Autor (2021).

Assim como os resultados observados nas Figuras 41 e 43, a Figura 45 mostra o aumento da umidade (de  $0,0730 \pm 0,0010 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,1090 \pm 0,029 \text{ g g}^{-1}$ ), da atividade de água (de  $0,673 \pm 0,013$  para  $0,700 \pm 0,029$ ) e da oxidação lipídica (de  $0,12 \pm 0,01$  para  $2,80 \pm 0,01 \text{ mg de malonaldeído kg}^{-1}$  de amostra) no decorrer do armazenamento. Como discutido no Capítulo 2, a versão tradicional do queijo gera *snacks* com maior teor de água e de atividade de água se comparado a versão *light* nas mesmas condições de secagem e armazenamento. No entanto, diferentemente do esperado, a oxidação lipídica obteve o mesmo índice ao final do 120 dia de análise comparando as duas versões (*light* e tradicional) produzidos em MWVD a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ .

Os resultados da análise de cor estão apresentados na Tabela 57.

Tabela 57 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em pressão atmosférica dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tempo de armazenamento (dias)	L*	a*	b*
0	93,183±0,429 <sup>a</sup>	-5,654±0,186 <sup>c</sup>	26,981±0,462 <sup>f</sup>
7	93,085±0,282 <sup>a</sup>	-4,464±0,327 <sup>b</sup>	28,007±0,396 <sup>f</sup>
14	92,460±0,381 <sup>a,b</sup>	-4,536±0,379 <sup>b</sup>	29,905±0,559 <sup>e</sup>
21	91,244±0,583 <sup>c</sup>	-3,503±0,290 <sup>a</sup>	40,605±0,555 <sup>a</sup>
28	92,132±0,372 <sup>b,c</sup>	-4,532±0,325 <sup>b</sup>	38,971±0,530 <sup>b</sup>
35	91,234±0,462 <sup>c</sup>	-3,518±0,224 <sup>a</sup>	41,061±0,601 <sup>a</sup>
105	92,277±0,265 <sup>b</sup>	-4,364±0,159 <sup>b</sup>	31,028±0,537 <sup>d,e</sup>
112	92,281±0,360 <sup>b</sup>	-4,458±0,250 <sup>b</sup>	31,761±0,394 <sup>d</sup>
120	92,271±0,370 <sup>b</sup>	-4,490±0,304 <sup>b</sup>	33,928±0,414 <sup>c</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 57 indica que também no queijo desidratado tradicional houve uma redução na luminosidade ( $L^*$ ) da amostra no decorrer do armazenamento e um aumento nas cromaticidades  $a^*$  e  $b^*$ . Observa-se ainda que a intensidade de cor amarela foi superior para o *snack* de queijo tradicional se comparado a versão *light* produzida e armazenada sob as mesmas condições ( $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e pressão atmosférica).

Os dados relativos à textura dos *snacks* avaliada pelos testes de perfuração e de compressão, estão apresentados nas Tabelas 58 e 59, respectivamente.

Tabela 58 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados em pressão atmosférica.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	45±4 <sup>a</sup>	452,09±47,88 <sup>a</sup>	349,59±14,29 <sup>a</sup>	90,55±10,40 <sup>a</sup>
7	33±2 <sup>a,b</sup>	456,30±54,33 <sup>a</sup>	300,45±24,65 <sup>a</sup>	97,96±11,77 <sup>a</sup>
14	37±2 <sup>a,b</sup>	462,60±35,08 <sup>a</sup>	331,57±30,66 <sup>a</sup>	99,01±4,40 <sup>a</sup>
21	42±5 <sup>a</sup>	443,21±41,97 <sup>a</sup>	323,91±27,45 <sup>a</sup>	92,33±5,74 <sup>a</sup>
28	27±6 <sup>b</sup>	459,22±47,93 <sup>a</sup>	354,95±29,62 <sup>a</sup>	96,62±8,29 <sup>a</sup>
35	42±2 <sup>a</sup>	481,98±19,68 <sup>a</sup>	358,26±30,36 <sup>a</sup>	94,66±8,08 <sup>a</sup>
105	45±7 <sup>a</sup>	478,86±6,06 <sup>a</sup>	325,00±22,09 <sup>a</sup>	93,97±6,07 <sup>a</sup>
112	45±4 <sup>a</sup>	425,17±33,84 <sup>a</sup>	372,18±29,37 <sup>a</sup>	94,49±2,14 <sup>a</sup>
120	37±4 <sup>a,b</sup>	423,84±40,74 <sup>a</sup>	362,30±25,47 <sup>a</sup>	98,85±7,70 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Os dados do teste mecânico de perfuração indicam a manutenção das características de textura obtidas no processamento ao longo do armazenamento. Observa-se, que assim como discutido no Capítulo 2, a versão *light* (Tabela 52) apresenta um número de picos de força maior e uma força máxima necessária para fraturar a amostra menor que a versão tradicional (Tabela 58), indicando um maior número de poros e uma maior fragilidade das paredes do alimento na versão *light*.



Tabela 59 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica.

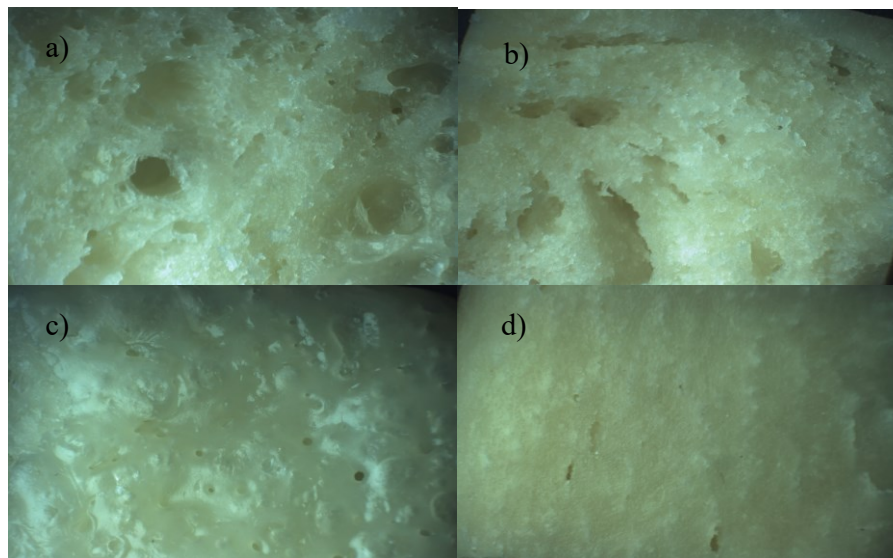
Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	6±1 <sup>e</sup>	586,53±84,08 <sup>a</sup>	283,00±61,00 <sup>a</sup>	44,73±8,61 <sup>b,c</sup>
7	9±2 <sup>c,d</sup>	506,30±54,33 <sup>a,b</sup>	200,45±84,65 <sup>a,b</sup>	63,44±10,19 <sup>a</sup>
14	17±2 <sup>a,b</sup>	202,60±35,08 <sup>d</sup>	131,57±30,66 <sup>b</sup>	39,01±4,40 <sup>c</sup>
21	14±3 <sup>b,c</sup>	307,92±43,55 <sup>c,d</sup>	172,34±41,39 <sup>a,b</sup>	47,18±7,80 <sup>a,b,c</sup>
28	21±5 <sup>a</sup>	358,80±44,60 <sup>c</sup>	210,22±32,73 <sup>a,b</sup>	54,21±8,81 <sup>a,b,c</sup>
35	16±2 <sup>a,b</sup>	297,50±38,90 <sup>c,d</sup>	139,85±24,01 <sup>b</sup>	52,35±4,08 <sup>a,b,c</sup>
105	7±1 <sup>e</sup>	365,72±20,48 <sup>c</sup>	167,23±14,18 <sup>a,b</sup>	58,78±2,83 <sup>a,b</sup>
112	8±2 <sup>c,d</sup>	347,11±14,64 <sup>c</sup>	262,31±27,80 <sup>a</sup>	57,06±2,64 <sup>a,b,c</sup>
120	7±1 <sup>e</sup>	387,38±11,03 <sup>b,c</sup>	212,15±13,24 <sup>a,b</sup>	56,60±3,98 <sup>a,b,c</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

O resultado apresentado pela Tabela 59 sugere um comportamento semelhante ao discutido para o teste de perfuração, com a manutenção dos parâmetros de textura ao longo do armazenamento, e um menor número de picos de força para a versão tradicional do produto.

A fim de corroborar os resultados apresentados pelos dados mecânicos de textura, pode-se observar a estrutura do *snack* de queijo muçarela tradicional nas imagens de microscopia óptica exibidos na Figura 46.

Figura 46 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e armazenados em pressão atmosférica nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.



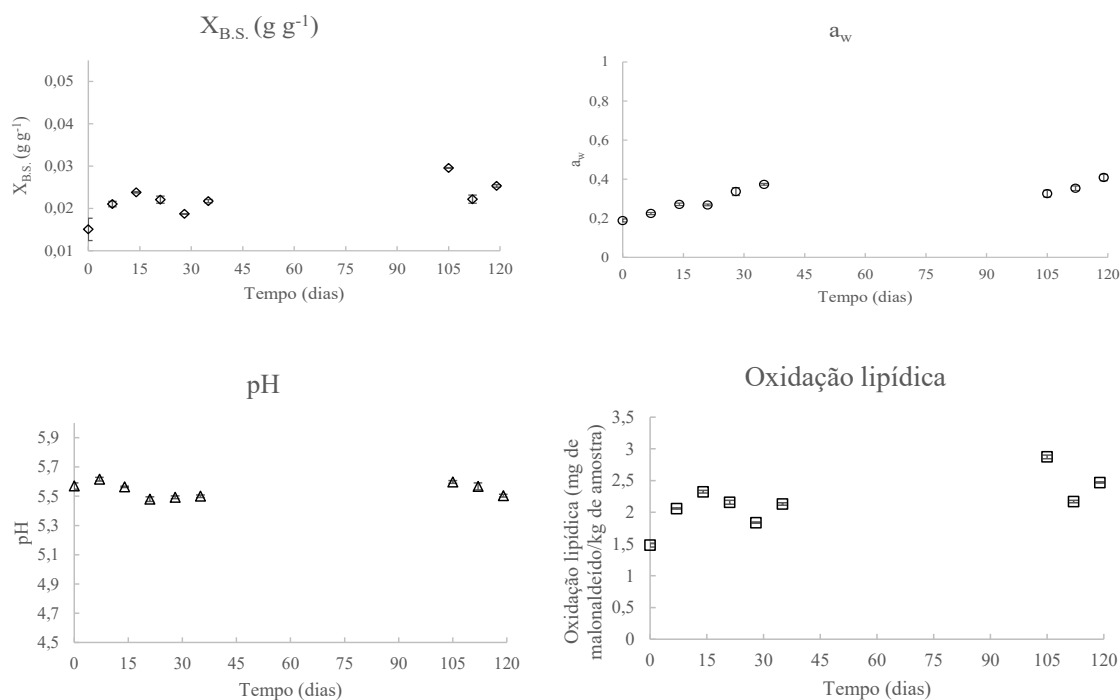
Fonte: Autor (2021).

Como esperado, a versão tradicional do queijo muçarela gera um *snack* com uma estrutura completamente diferente da versão *light*, sendo formada por um número menor de poros e um aspecto mais esponjoso. Isso pode ser o resultado do maior conteúdo de gordura presente na matéria-prima que dificulta a saída da água do alimento durante o processo de desidratação em MWVD como discutido no Capítulo 1.

#### 5.3.4 Pressão atmosférica / tradicional / $1,5 \text{ W g}^{-1}$ / $20 \text{ °C}$

O armazenamento em pressão atmosférica de *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  também foi avaliado, sendo os resultados de variação de umidade, atividade de água, pH e oxidação lipídica apresentados na Figura 47.

Figura 47 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados em pressão atmosférica.



Fonte: Autor (2021).

Assim como os tópicos anteriores, o armazenamento foi responsável pelo aumento da umidade (de  $0,0151 \pm 0,0026 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0253 \pm 0,0003 \text{ g g}^{-1}$ ), da atividade de água (de  $0,189 \pm 0,007$  para  $0,408 \pm 0,016$ ) e da oxidação lipídica (de  $0,23 \pm 0,03$  para  $3,12 \pm 0,01 \text{ mg de malonaldeído kg}^{-1}$  de amostra) nos produtos. O pH, assim como nas condições anteriores, não sofreu grande variação com o armazenamento.

Observa-se ainda que os *snacks* produzidos a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  também apresentaram menor umidade e atividade de água que os produzidos a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  sob as mesmas condições de processo, enquanto a oxidação lipídica foi favorecida nas amostras obtidas a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ .

Ao se comparar os queijos desidratados na versão *light* com a tradicional – ambos produzidos a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  em MWVD e armazenados sob pressão atmosférica – conclui-se que mesmo que a umidade dos dois produtos seja semelhante, a oxidação lipídica é maior para a versão tradicional.

A variação dos parâmetros de cor durante o armazenamento para essa condição de processo está apresentada na Tabela 60.

Tabela 60 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em pressão atmosférica dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Tempo de armazenamento (dias)	L*	a*	b*
0	94,723±0,414 <sup>a,b,c</sup>	-4,528±0,309 <sup>a</sup>	21,207±0,366 <sup>b</sup>
7	94,294±0,615 <sup>a,b,c</sup>	-4,340±0,178 <sup>a</sup>	19,794±0,547 <sup>c,d</sup>
14	93,911±0,498 <sup>b,c</sup>	-4,242±0,314 <sup>a</sup>	20,097±0,498 <sup>b,c</sup>
21	94,313±0,439 <sup>a,b,c</sup>	-4,429±0,296 <sup>a</sup>	19,609±0,531 <sup>c,d</sup>
28	95,018±0,481 <sup>a</sup>	-4,192±0,174 <sup>a</sup>	18,766±0,573 <sup>d</sup>
35	94,883±0,291 <sup>a,b</sup>	-4,541±0,395 <sup>a</sup>	19,165±0,575 <sup>c,d</sup>
105	93,794±0,271 <sup>c</sup>	-4,437±0,195 <sup>a</sup>	23,911±0,490 <sup>a</sup>
112	93,821±0,477 <sup>c</sup>	-4,432±0,194 <sup>a</sup>	22,972±0,579 <sup>a</sup>
120	93,879±0,340 <sup>b,c</sup>	-4,501±0,331 <sup>a</sup>	23,578±0,427 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 60 segue a mesma tendência apresentada nas Tabelas 51, 54 e 57, com redução na luminosidade (L\*), manutenção da cromaticidade a\* e aumento da tonalidade amarela (b\*) em maiores tempos de armazenamento. Em relação ao *snack* de queijo tradicional obtido a 1,0 W g<sup>-1</sup> – e armazenado em pressão atmosférica – observa-se uma coloração menos amarelada para a condição de 1,5 W g<sup>-1</sup>, mas com luminosidade e cromaticidade a\* semelhantes. Além disso, ao se comparar os parâmetros de cor dos *snacks* produzidos e armazenados sob as mesmas condições (1,5 W g<sup>-1</sup> e pressão atmosférica), nota-se que a versão *light* apresentou uma luminosidade menor que a versão tradicional.

Os dados mecânicos dos testes de perfuração e de compressão estão apresentados nas Tabelas 61 e 62, respectivamente.

Tabela 61 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	155±7 <sup>a</sup>	229,88±49,05 <sup>b</sup>	556,44±73,01 <sup>a</sup>	52,52±7,69 <sup>a</sup>
7	109±18 <sup>b</sup>	367,39±82,89 <sup>a,b</sup>	546,56±69,84 <sup>a</sup>	68,49±7,90 <sup>a</sup>
14	117±23 <sup>b</sup>	308,89±27,35 <sup>a,b</sup>	551,67±70,33 <sup>a</sup>	64,18±5,42 <sup>a</sup>
21	103±19 <sup>b</sup>	388,07±67,22 <sup>a</sup>	589,30±30,52 <sup>a</sup>	54,43±6,52 <sup>a</sup>
28	115±7 <sup>b</sup>	342,21±27,38 <sup>a,b</sup>	597,47±29,78 <sup>a</sup>	61,42±3,08 <sup>a</sup>
35	110±3 <sup>b</sup>	327,24±31,62 <sup>a,b</sup>	563,91±31,74 <sup>a</sup>	57,93±4,05 <sup>a</sup>
105	101±4 <sup>b</sup>	368,45±57,52 <sup>a,b</sup>	532,93±47,14 <sup>a</sup>	61,10±3,24 <sup>a</sup>
112	107±6 <sup>b</sup>	335,61±38,34 <sup>a,b</sup>	543,72±39,58 <sup>a</sup>	64,76±7,21 <sup>a</sup>
120	104±5 <sup>b</sup>	352,17±36,12 <sup>a,b</sup>	561,94±38,42 <sup>a</sup>	57,75±4,85 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Através da análise da Tabela 61, observa-se uma redução no número de picos de força ao longo do armazenamento, o que poderia ocasionar uma alteração sensorial na característica de crocância do alimento.

Tabela 62 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados em pressão atmosférica.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	134±1 <sup>b,c,d</sup>	1183,91±221,82 <sup>a</sup>	2652,47±178,28 <sup>a,b</sup>	273,51±7,59 <sup>c</sup>
7	116±4 <sup>d</sup>	1001,88±172,79 <sup>a</sup>	2526,45±116,08 <sup>a,b,c</sup>	365,70±32,99 <sup>a,b</sup>
14	127±3 <sup>c,d</sup>	1097,32±163,68 <sup>a</sup>	2543,25±152,13 <sup>a,b,c</sup>	304,41±30,93 <sup>b,c</sup>
21	148±10 <sup>a,b</sup>	1241,70±94,07 <sup>a</sup>	2273,40±76,72 <sup>c</sup>	345,19±31,10 <sup>a,b,c</sup>
28	155±11 <sup>a</sup>	1299,80±18,13 <sup>a</sup>	2576,80±95,57 <sup>a,b,c</sup>	355,84±53,73 <sup>a,b</sup>
35	137±8 <sup>a,b,c</sup>	1178,65±41,15 <sup>a</sup>	2367,18±88,90 <sup>b,c</sup>	327,16±28,10 <sup>a,b,c</sup>
105	127±4 <sup>c,d</sup>	1274,05±47,80 <sup>a</sup>	2615,30±87,74 <sup>a,b</sup>	391,14±16,06 <sup>a</sup>
112	145±8 <sup>a,b,c</sup>	1130,24±61,89 <sup>a</sup>	2532,40±65,66 <sup>a,b,c</sup>	324,68±14,83 <sup>a,b,c</sup>
120	138±2 <sup>a,b,c</sup>	1204,20±33,21 <sup>a</sup>	2685,60±50,20 <sup>a</sup>	327,95±13,92 <sup>a,b,c</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

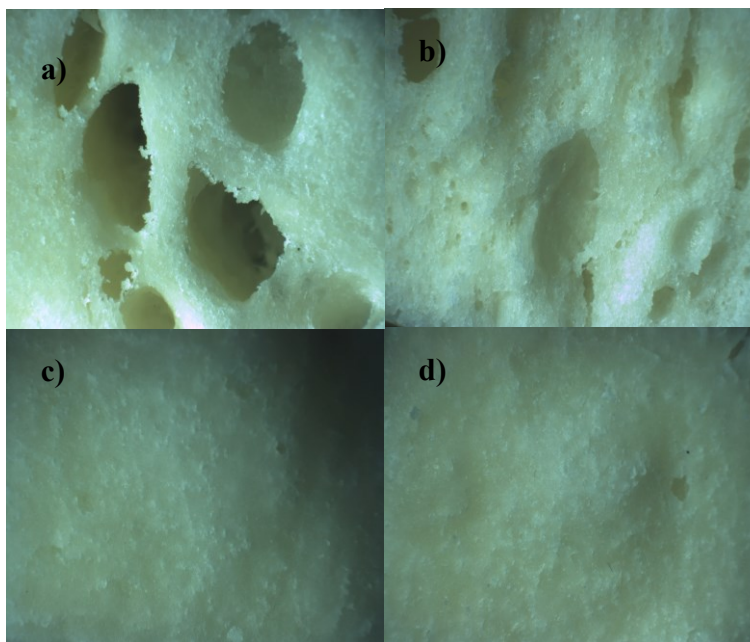
O resultado do teste de compressão, diferentemente do teste de perfuração, não apresentou diferenças nos parâmetros de textura no decorrer do armazenamento.

Uma outra análise que pode ser feita nos dados mecânicos é que a densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> aplicada ao queijo muçarela tradicional favoreceu a formação de poros quando comparada com a de 1,0 W g<sup>-1</sup> (Tabelas 58 e 59), gerando um maior número de picos de força nos testes de perfuração e de compressão.

Em relação as amostras com diferentes teores de gordura – ambos produzidos com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e armazenados em pressão atmosférica – a estrutura mais porosa da versão *light* é caracterizada por um maior número de picos de força e uma menor força máxima nos dois testes instrumentais (Tabelas 55 e 56).

A Figura 48 apresenta a microscopia óptica das estruturas internas e de superfície dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD a 1,5 W g<sup>-1</sup> e armazenados por 120 dias em pressão atmosférica.

Figura 48 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e armazenados em pressão atmosférica nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.



Fonte: Autor (2021).

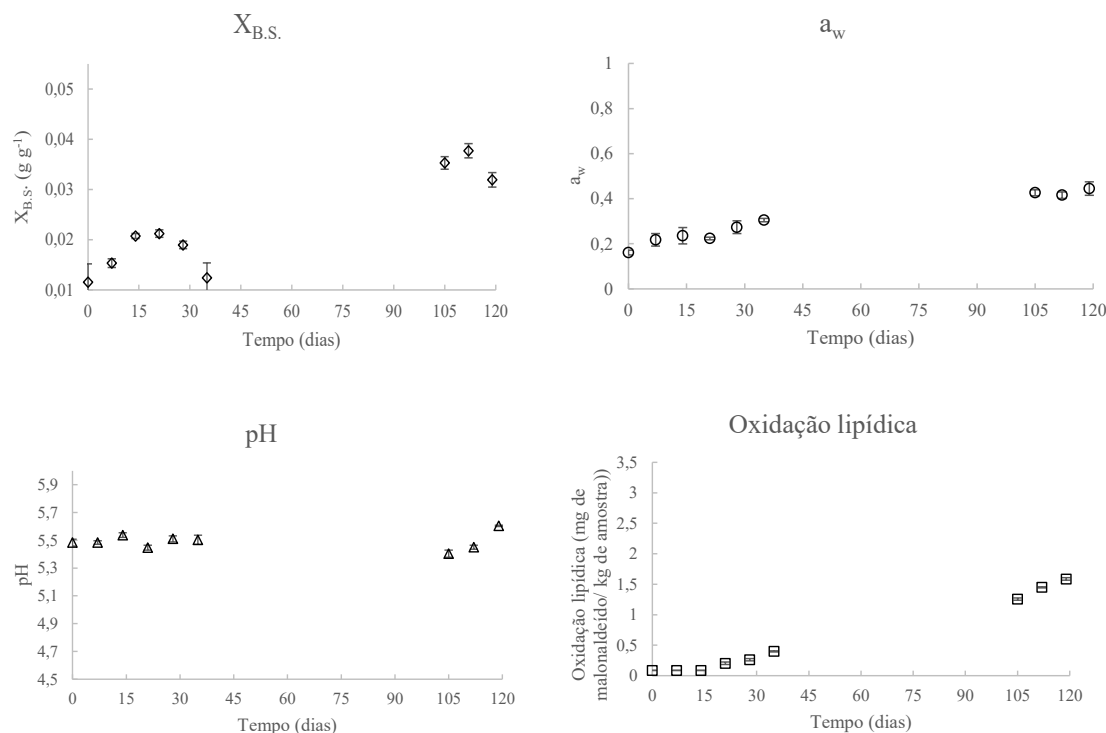
A Figura 48 mostra uma estrutura semelhante à apresentada na Figura 46, com um menor número de poros se comparados à versão *light* e um aspecto esponjoso, o que sugere que essa formação é característica da matéria-prima e não está associada a potência aplicada ao sistema de desidratação utilizado.

### 5.3.5 Vácuo / *light* / $1,0 \text{ W g}^{-1}$ / $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Considerando que as condições de armazenamento influenciam de forma direta a qualidade de produtos desidratados, os *snacks* de queijo muçarela também foram submetidos a um armazenamento sob vácuo.

Assim como no tópico 5.3.1, *snacks* de queijo muçarela *light* foram produzidos em MWVD a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , mas armazenados sob vácuo. O resultado da variação de umidade, atividade de água, pH e oxidação lipídica nessa condição está apresentado na Figura 49.

Figura 49 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados sob vácuo.



Fonte: Autor (2021).

De forma similar ao que acontece com as amostras armazenadas sob pressão atmosférica, a embalagem não foi suficiente para barrar o aumento da umidade (de  $0,0115 \pm 0,0037 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0319 \pm 0,0014 \text{ g g}^{-1}$ ), da atividade de água (de  $0,161 \pm 0,011$  para  $0,431 \pm 0,0014$ ) e da oxidação lipídica (de  $0,09 \pm 0,00$  para  $1,61 \pm 0,02 \text{ mg de malonaldeído kg}^{-1}$  de amostra) dos produtos armazenados sob vácuo. O pH manteve-se constante durante o período avaliado.

Ao se realizar uma comparação entre os *snacks* produzidos de maneira semelhante ( $1,0 \text{ W g}^{-1}$ ), mas armazenados em condições diferentes (vácuo vs pressão atmosférica), percebe-se uma similaridade no valor de umidade dos produtos, mas com uma redução de 42,7 % na oxidação lipídica no produto armazenado sob vácuo.

A variação na cor das amostras no decorrer do armazenamento está apresentada na Tabela 63.



Tabela 63 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em vácuo dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C.

Tempo de armazenamento (dias)	L*	a*	b*
0	93,690±0,367 <sup>a</sup>	-3,680±0,115 <sup>a</sup>	20,731±0,442 <sup>e</sup>
7	92,137±0,420 <sup>d</sup>	-3,667±0,240 <sup>a</sup>	23,862±0,548 <sup>a,b</sup>
14	92,035±0,469 <sup>d</sup>	-4,204±0,179 <sup>b,c,d</sup>	24,802±0,642 <sup>a</sup>
21	92,784±0,380 <sup>b,c,d</sup>	-4,252±0,236 <sup>c,d</sup>	22,193±0,514 <sup>c,d</sup>
28	92,329±0,178 <sup>c,d</sup>	-3,783±0,289 <sup>a,b</sup>	21,912±0,533 <sup>c,d,e</sup>
35	92,295±0,253 <sup>c,d</sup>	-3,754±0,208 <sup>a,b</sup>	23,701±0,248 <sup>a,b</sup>
105	93,463±0,221 <sup>a,b</sup>	-4,385±0,101 <sup>c,d</sup>	23,069±0,610 <sup>b,c</sup>
112	93,787±0,542 <sup>a</sup>	-4,081±0,201 <sup>a,b,c</sup>	21,272±0,551 <sup>d,e</sup>
120	93,085±0,286 <sup>a,b,c</sup>	-4,647±0,089 <sup>d</sup>	24,174±0,373 <sup>a,b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Por meio dos dados apresentados na Tabela 63, nota-se que não houve diferença significativa na luminosidade (L\*) do *snack*, mas que a sua tonalidade amarela (b\*) ficou mais intensa durante o armazenamento.

Ao se comparar os valores presentes nas Tabelas 51 e 63, conclui-se que o vácuo mantém uma maior luminosidade da amostra e reduz as reações de escurecimento que ocasionam o aumento da coloração amarela ao longo do armazenamento.

Os resultados dos testes de perfuração e de compressão estão apresentados nas Tabelas 64 e 65, respectivamente.

Tabela 64 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados sob vácuo.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	218±34 <sup>a</sup>	293,09±52,81 <sup>a</sup>	1012,25±64,69 <sup>a</sup>	63,14±8,03 <sup>a</sup>
7	215±34 <sup>a</sup>	284,84±56,16 <sup>a</sup>	1068,70±26,31 <sup>a</sup>	58,29±14,73 <sup>a</sup>
14	206±41 <sup>a</sup>	291,81±60,64 <sup>a</sup>	1024,42±64,61 <sup>a</sup>	60,04±11,87 <sup>a</sup>
21	222±21 <sup>a</sup>	257,97±31,43 <sup>a</sup>	1077,44±31,28 <sup>a</sup>	65,42±13,47 <sup>a</sup>
28	217±6 <sup>a</sup>	286,15±35,65 <sup>a</sup>	1073,57±16,42 <sup>a</sup>	64,51±14,65 <sup>a</sup>
35	204±23 <sup>a</sup>	277,87±13,66 <sup>a</sup>	1088,73±12,38 <sup>a</sup>	59,86±12,37 <sup>a</sup>
105	217±6 <sup>a</sup>	270,97±37,99 <sup>a</sup>	1022,19±65,93 <sup>a</sup>	60,20±17,49 <sup>a</sup>
112	225±30 <sup>a</sup>	286,94±59,28 <sup>a</sup>	1076,69±58,44 <sup>a</sup>	63,82±15,27 <sup>a</sup>
120	216±28 <sup>a</sup>	273,11±24,38 <sup>a</sup>	1028,66±16,19 <sup>a</sup>	63,89±7,82 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Ao analisar os dados mecânicos apresentados na Tabela 64, constata-se a manutenção de todos os parâmetros relacionados à crocância do *snack* mesmo após 120 dias de armazenamento.

Como esperado, ao se comparar os dados das Tabelas 52 (*light*,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , pressão atmosférica) e 64 (*light*,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), não houve diferença no número de picos de força inicial no teste de perfuração, sugerindo que a formação dos poros está ligada apenas as condições de processo para obtenção do *snack* e não está relacionada à condição de armazenamento.

Tabela 65 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,0 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo.

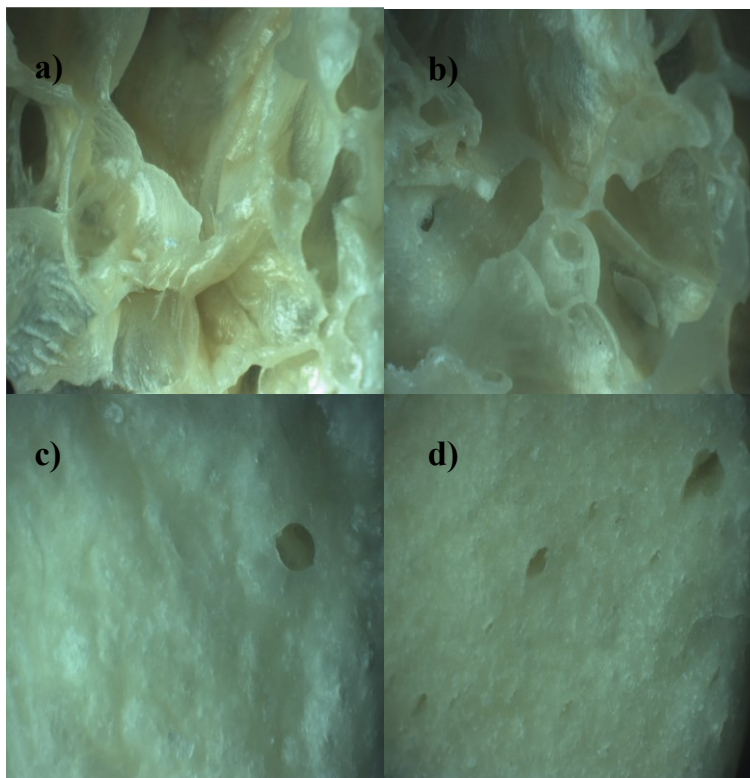
Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	189±15 <sup>a,b</sup>	797,36±173,08 <sup>a</sup>	2765,18±455,55 <sup>a</sup>	206,96±66,44 <sup>a</sup>
7	113±34 <sup>b</sup>	777,91±86,87 <sup>a</sup>	2427,73±240,86 <sup>a</sup>	179,77±61,90 <sup>a</sup>
14	180±30 <sup>a,b</sup>	780,75±41,80 <sup>a</sup>	2663,52±131,72 <sup>a</sup>	191,42±47,11 <sup>a</sup>
21	192±16 <sup>a,b</sup>	793,74±95,13 <sup>a</sup>	2592,47±209,16 <sup>a</sup>	212,43±51,17 <sup>a</sup>
28	209±43 <sup>a</sup>	769,53±48,02 <sup>a</sup>	2437,44±212,76 <sup>a</sup>	232,87±53,82 <sup>a</sup>
35	193±24 <sup>a,b</sup>	733,12±28,16 <sup>a</sup>	2439,40±71,17 <sup>a</sup>	251,06±16,60 <sup>a</sup>
105	195±38 <sup>a,b</sup>	761,18±31,87 <sup>a</sup>	2479,40±84,53 <sup>a</sup>	244,02±11,46 <sup>a</sup>
112	191±42 <sup>a,b</sup>	784,14±29,17 <sup>a</sup>	2583,60±71,69 <sup>a</sup>	222,97±12,90 <sup>a</sup>
120	192±35 <sup>a,b</sup>	722,57±33,41 <sup>a</sup>	2709,70±40,40 <sup>a</sup>	238,70±12,50 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

O resultado apresentado na Tabela 65 segue a mesma tendência dos dados obtidos no teste de perfuração (Tabela 64), com a manutenção de todos os parâmetros avaliados pelo teste durante os 120 dias de armazenamento.

As imagens de microscopia óptica da superfície e do interior do *snack* produzido e armazenado nessa condição estão apresentadas na Figura 50.

Figura 50 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e armazenados sob vácuo nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.



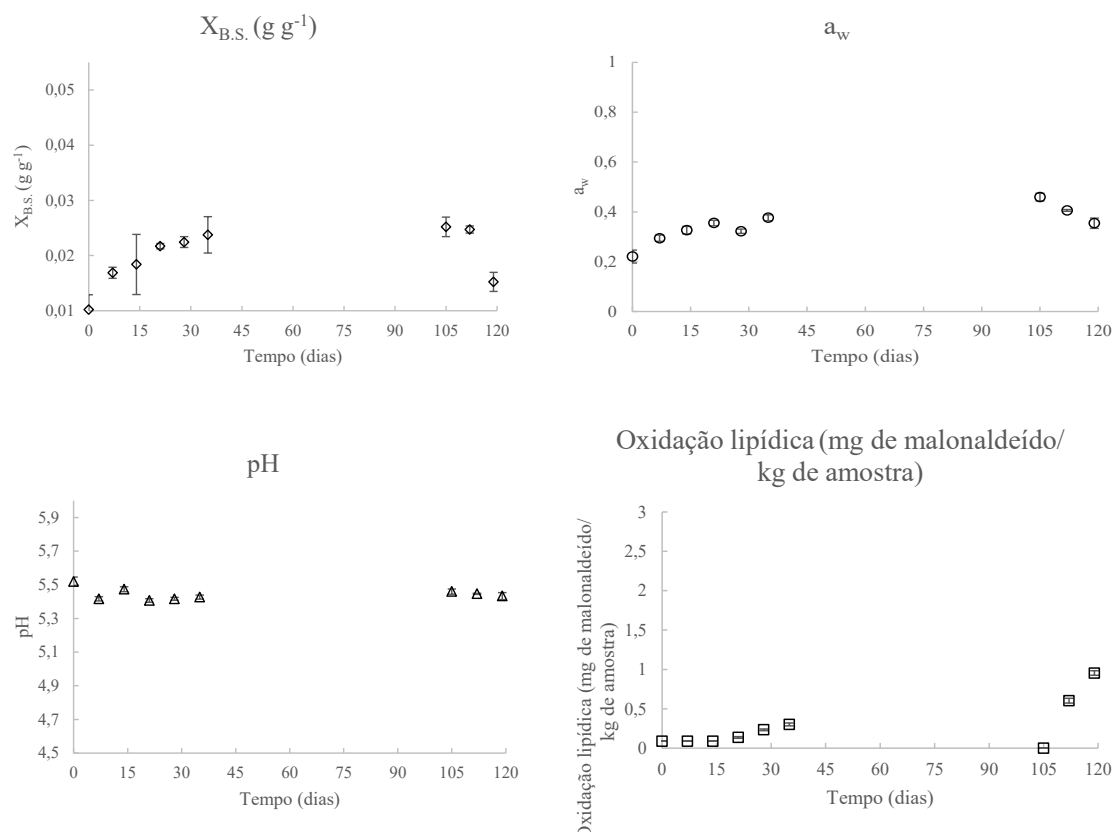
Fonte: Autor (2021).

A microscopia óptica revela as mesmas características dos demais *snacks* obtidos a partir do queijo muçarela *light* com a formação de um grande número de poros em sua estrutura.

### 5.3.6 Vácuo / *light* / $1,5 \text{ W g}^{-1}$ / $20 \text{ }^\circ\text{C}$

O estudo do armazenamento sob vácuo também foi realizado com as amostras produzidas utilizando a densidade de potência do micro-ondas de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ . Os resultados da variação de umidade, atividade de água, pH e oxidação lipídica para os *snacks* de queijo muçarela *light* estão apresentados na Figura 51.

Figura 51 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados sob vácuo.



Fonte: Autor (2021).

A Figura 51 mostra o aumento do teor de água (de  $0,0102 \pm 0,0030 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0221 \pm 0,0030 \text{ g g}^{-1}$ ), da atividade de água (de  $0,221 \pm 0,026$  para  $0,381 \pm 0,021$ ) e da oxidação lipídica (de  $0,09 \pm 0,00$  para  $1,62 \pm 0,01 \text{ mg de malonaldeído kg}^{-1}$  de amostra) em 120 dias de armazenamento. Durante esse período o pH permaneceu constante.

Comparando essa condição com a apresentada no tópico 5.3.5 – *snacks* de queijo muçarela *light* armazenados sob vácuo e produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  – observa-se que o grau de oxidação lipídica foi igual para ambas as condições. Isso indica que para o queijo desidratado *light*, a diferença de intensidade no processo não interferiu no processo oxidativo da amostra.

A comparação, no entanto, entre as amostras obtidas pela mesma condição de processamento ( $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , *light*) mas seguidas de armazenamentos diferentes (vácuo vs. pressão atmosférica) mostra que, apesar dos valores de umidade e de atividade de água serem semelhantes nos dois casos, o dano oxidativo foi 42 % menor quando armazenado sob vácuo.

A evolução dos parâmetros de cor da amostra durante o armazenamento nessa condição está apresentada na Tabela 66.

Tabela 66 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em vácuo dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tempo de armazenamento (dias)	L*	a*	b*
0	92,538±0,234 <sup>a</sup>	-3,382±0,224 <sup>a</sup>	24,144±0,510 <sup>b</sup>
7	90,550±0,367 <sup>d</sup>	-3,448±0,208 <sup>a</sup>	24,889±0,442 <sup>b</sup>
14	92,650±0,351 <sup>a</sup>	-3,578±0,252 <sup>a</sup>	23,863±0,596 <sup>b,c</sup>
21	90,454±0,354 <sup>d</sup>	-3,489±0,161 <sup>a</sup>	23,038±0,405 <sup>c</sup>
28	92,340±0,269 <sup>a,b</sup>	-3,393±0,354 <sup>a</sup>	27,551±0,452 <sup>a</sup>
35	90,552±0,268 <sup>d</sup>	-3,637±0,213 <sup>a</sup>	27,957±0,493 <sup>a</sup>
105	91,503±0,277 <sup>c</sup>	-3,489±0,215 <sup>a</sup>	28,129±0,488 <sup>a</sup>
112	91,652±0,276 <sup>b,c</sup>	-4,549±0,085 <sup>b</sup>	27,713±0,488 <sup>a</sup>
120	91,309±0,351 <sup>c</sup>	-4,394±0,188 <sup>b</sup>	28,040±0,371 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A variação na coloração das amostras (Tabela 66) indica uma redução da luminosidade (L\*) e da cromaticidade a\*, enquanto ocorre um aumento na cromaticidade b\* ao longo do armazenamento. Os valores de L\* são inferiores ao observado na Tabela 63 (*light*,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), ao passo que os valores de b\* são superiores. Isso indica que as amostras produzidas sob densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  são mais claras e com uma menor intensidade na coloração amarela ao final de 120 dias de armazenamento sob vácuo.

Ao se comparar os dados das Tabelas 54 (*light*,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , pressão atmosférica) com os da Tabela 66 (*light*,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), percebe-se uma similaridade no grau de luminosidade e de cromaticidade a\* entre as amostras, mas uma maior tonalidade amarela para o *snack* armazenado sob vácuo.

Os dados mecânicos obtidos pelos testes de perfuração e de compressão estão apresentados nas Tabelas 67 e 68, respectivamente.

Tabela 67 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados sob vácuo.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	237±43 <sup>a</sup>	30,57±7,30 <sup>b</sup>	323,43±62,43 <sup>a</sup>	9,73±0,58 <sup>b</sup>
7	205±22 <sup>a</sup>	57,54±16,21 <sup>a</sup>	464,11±97,86 <sup>a</sup>	17,81±1,77 <sup>a</sup>
14	218±21 <sup>a</sup>	49,83±7,92 <sup>a,b</sup>	441,11±43,27 <sup>a</sup>	12,37±2,15 <sup>a,b</sup>
21	207±48 <sup>a</sup>	32,65±4,73 <sup>b</sup>	348,90±26,53 <sup>a</sup>	17,19±3,74 <sup>a,b</sup>
28	212±34 <sup>a</sup>	32,33±6,33 <sup>b</sup>	389,98±35,99 <sup>a</sup>	11,93±1,69 <sup>a,b</sup>
35	221±27 <sup>a</sup>	37,98±5,11 <sup>a,b</sup>	407,71±42,57 <sup>a</sup>	13,45±2,51 <sup>a,b</sup>
105	201±29 <sup>a</sup>	36,95±4,31 <sup>a,b</sup>	439,19±42,14 <sup>a</sup>	13,01±3,38 <sup>a,b</sup>
112	215±22 <sup>a</sup>	33,48±6,90 <sup>b</sup>	382,05±39,02 <sup>a</sup>	15,28±2,24 <sup>a,b</sup>
120	206±31 <sup>a</sup>	37,79±3,87 <sup>a,b</sup>	429,32±37,57 <sup>a</sup>	16,50±4,01 <sup>a,b</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Os resultados apresentados na Tabela 67 mostram que não houve diferença significativa entre os valores de número de picos de força, área, distância linear e força máxima obtidos pelo teste de perfuração durante todo o período de armazenamento. Isso é um indicativo interessante de manutenção da qualidade sensorial de textura quando armazenados sob vácuo.

Pode-se observar ainda que o número de picos entre as condições de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  (tópicos 5.3.5 e 5.3.6, respectivamente) é similar, mas a força máxima necessária para fraturar o *snack* é menor na condição a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , o que sugere uma maior fragilidade da estrutura da amostra.

Considerando as Tabelas 55 (*light*,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , pressão atmosférica) e 67 (*light*,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), constata-se que os números de picos de força inicial (logo após o processamento – 0 dia) são próximos entre as duas condições, mas que após 120 dias de armazenamento, o número de picos se manteve na condição sob vácuo e foi reduzido na condição a pressão atmosférica. Ou seja, essa análise sugere uma melhor manutenção da crocância da amostra sob vácuo.

Tabela 68 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	244±5 <sup>a</sup>	500,12±37,78 <sup>a</sup>	1916,85±68,46 <sup>d</sup>	109,65±11,95 <sup>a</sup>
7	255±20 <sup>a</sup>	581,21±39,51 <sup>a</sup>	2247,42±22,93 <sup>a</sup>	92,52±18,97 <sup>a</sup>
14	251±17 <sup>a</sup>	523,47±33,21 <sup>a</sup>	2104,50±31,77 <sup>b,c</sup>	101,41±12,80 <sup>a</sup>
21	264±31 <sup>a</sup>	577,01±31,20 <sup>a</sup>	2076,20±25,40 <sup>b,c</sup>	95,32±11,34 <sup>a</sup>
28	274±32 <sup>a</sup>	556,06±28,03 <sup>a</sup>	2168,06±29,04 <sup>a,b</sup>	103,88±11,10 <sup>a</sup>
35	253±25 <sup>a</sup>	563,25±37,87 <sup>a</sup>	2093,10±34,12 <sup>b,c</sup>	98,17±9,86 <sup>a</sup>
105	254±26 <sup>a</sup>	561,72±32,01 <sup>a</sup>	2042,95±21,05 <sup>c</sup>	104,51±10,30 <sup>a</sup>
112	274±13 <sup>a</sup>	573,69±42,74 <sup>a</sup>	2173,78±42,74 <sup>a,b</sup>	111,77±17,47 <sup>a</sup>
120	257±11 <sup>a</sup>	532,41±39,70 <sup>a</sup>	2158,27±40,34 <sup>a,b</sup>	112,93±19,92 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Assim como apresentado na Tabela 67, os dados mecânicos oriundos do teste de compressão (Tabela 68) também sugerem a manutenção da crocância da amostra ao longo dos 4 meses de armazenamento sob vácuo.

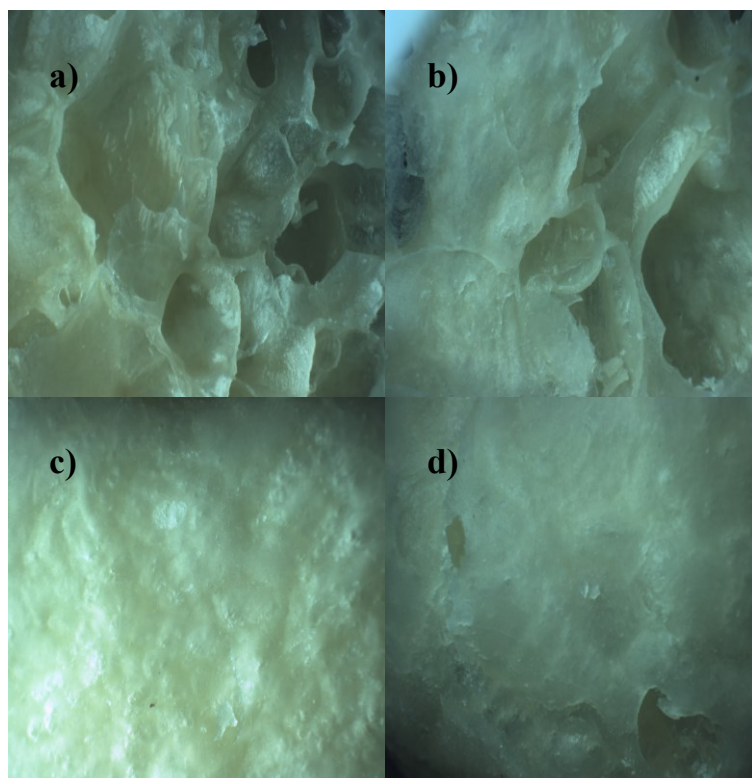
Esse teste gerou ainda um maior número de picos para a condição a 1,5 W g<sup>-1</sup> e uma menor força máxima (Tabela 68) necessária para a deformação do *snack* quando comparado com a condição de 1,0 W g<sup>-1</sup> (Tabela 65).

Diferentemente do resultado do teste de perfuração, o teste de compressão indicou número iguais de picos de força para as duas condições de armazenamento (vácuo vs. pressão atmosférica) ao longo do armazenamento (4 meses).

As imagens da microscopia óptica dos *snacks* produzidos (1,5 W g<sup>-1</sup>, *light*) e armazenados nessa condição (sob vácuo) estão apresentadas na Figura 52.



Figura 52 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos *snacks* de queijo muçarela *light* produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e armazenados sob vácuo nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.



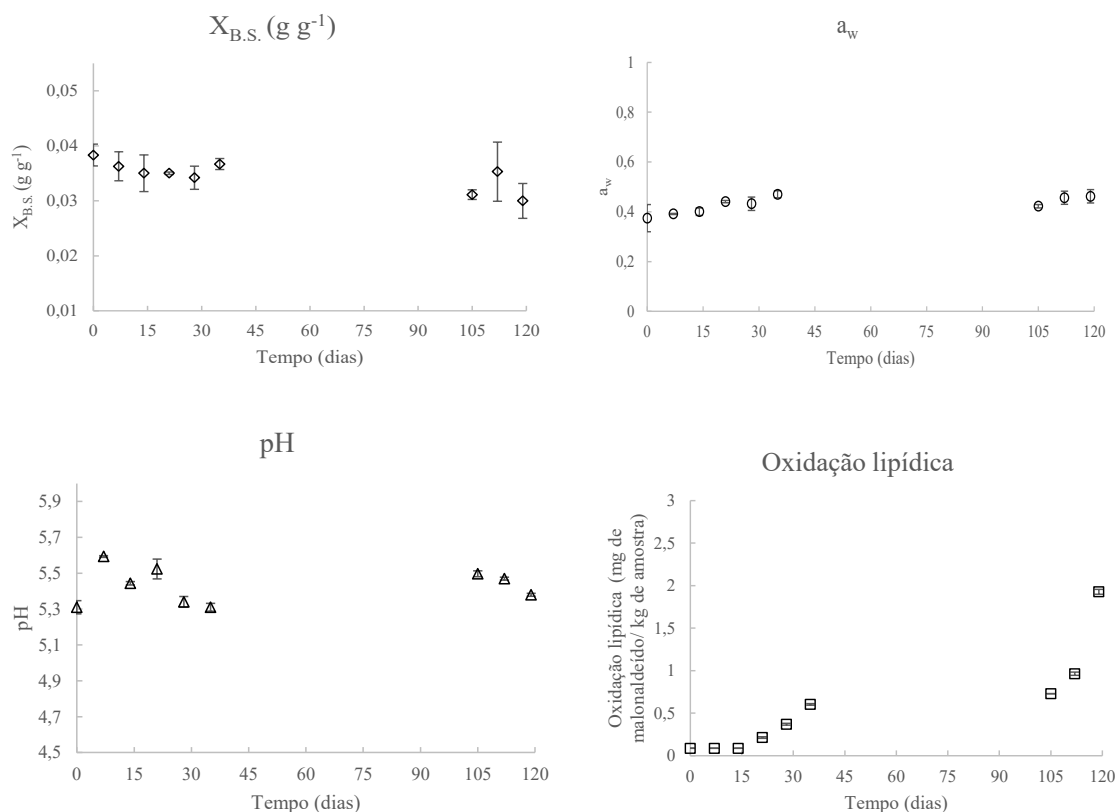
Fonte: Autor (2021).

As imagens de microscopia (Figura 52) – assim como nas Figuras 42, 44 e 50 – apresentam a estrutura porosa e frágil do *snack light*.

### 5.3.7 Vácuo / tradicional / $1,0 \text{ W g}^{-1}$ / $20 \text{ °C}$

A evolução de características como umidade, atividade de água, pH e oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela tradicional também foram avaliados em armazenamento sob vácuo e está apresentada na Figura 53.

Figura 53 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados sob vácuo.



Fonte: Autor (2021).

Nesse caso em específico, diferentemente das condições apresentadas até o presente momento, a Figura 53 mostra que apenas o dano oxidativo aumentou de forma significativa ao longo dos 120 dias de armazenamento, variando de  $0,09 \pm 0,008$  para  $1,93 \pm 0,03$  mg de malonaldeído  $\text{kg}^{-1}$  de amostra. Os demais parâmetros – umidade (de  $0,0383 \pm 0,0020 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0300 \pm 0,0032 \text{ g g}^{-1}$ ), atividade de água (de  $0,375 \pm 0,055$  para  $0,462 \pm 0,027$ ) e o pH (de  $5,31 \pm 0,04$  para  $5,38 \pm 0,01$ ) – se mantiveram constantes.

Ao se comparar as Figuras 45 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , pressão atmosférica) e 53 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) observa-se ainda que tanto os valores de teor de água, como de atividade de água e de oxidação lipídica foram superiores para a condição a pressão atmosférica.

Em relação as Figuras 49 (*light*,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) e 53 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), conclui-se que o dano oxidativo foi superior em 20% para o *snack* de queijo tradicional armazenado sob a mesma condição ao final do 120 dia.

A variação dos parâmetros de cor dos *snacks* nessa condição de processamento ( $1,0 \text{ W g}^{-1}$ ) e armazenamento (sob vácuo) está apresentada na Tabela 69.

Tabela 69 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em vácuo dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tempo de armazenamento (dias)	L*	a*	b*
0	93,358±0,205 <sup>c,d,e</sup>	-4,615±0,295 <sup>a</sup>	23,948±0,498 <sup>b</sup>
7	94,010±0,407 <sup>a,b,c</sup>	-4,117±0,133 <sup>a</sup>	23,835±0,641 <sup>b</sup>
14	94,261±0,277 <sup>a,b</sup>	-4,428±0,206 <sup>a</sup>	23,055±0,613 <sup>b,c</sup>
21	94,560±0,291 <sup>a</sup>	-4,600±0,303 <sup>a</sup>	22,463±0,319 <sup>c</sup>
28	93,487±0,338 <sup>c,d,e</sup>	-4,567±0,191 <sup>a</sup>	23,978±0,442 <sup>b</sup>
35	93,699±0,159 <sup>b,c,d</sup>	-4,402±0,288 <sup>a</sup>	24,036±0,588 <sup>b</sup>
105	92,873±0,080 <sup>e</sup>	-4,393±0,230 <sup>a</sup>	31,588±0,262 <sup>a</sup>
112	92,775±0,202 <sup>e</sup>	-4,480±0,294 <sup>a</sup>	31,102±0,470 <sup>a</sup>
120	93,093±0,550 <sup>d,e</sup>	-4,466±0,267 <sup>a</sup>	31,635±0,308 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 69 indica que o vácuo auxiliou na manutenção da luminosidade (L\*) da amostra e da cromaticidade a\* durante o armazenamento, mas não impediu o aumento da tonalidade amarela (cromaticidade b\*).

Por meio dos dados apresentados nas Tabelas 57 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , pressão atmosférica) e 69 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) conclui-se que o vácuo preserva de forma mais eficiente a luminosidade da amostra.

Comparando as Tabelas 63 (*light*,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) e 69 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), observa-se um aumento da tonalidade amarela para as amostras obtidas da versão tradicional da matéria-prima, possivelmente justificada pela diferença no teor de gordura na composição do alimento.

Os testes mecânicos de perfuração e de compressão resultaram nos dados apresentados nas Tabelas 70 e 71, respectivamente.

Tabela 70 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados sob vácuo.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	41±18 <sup>a</sup>	562,58±38,42	370,74±120,60 <sup>a</sup>	96,57±13,84 <sup>a</sup>
7	52±21 <sup>a</sup>	299,12±18,73 <sup>a</sup>	497,80±123,19 <sup>a</sup>	111,19±33,19 <sup>a</sup>
14	52±6 <sup>a</sup>	619,07±77,65 <sup>b</sup>	482,03±17,04 <sup>a</sup>	99,33±9,34 <sup>a</sup>
21	50±8 <sup>a</sup>	587,13±21,14 <sup>a</sup>	493,21±37,49 <sup>a</sup>	103,44±7,45 <sup>a</sup>
28	65±12 <sup>a</sup>	589,79±41,71 <sup>a</sup>	426,79±49,97 <sup>a</sup>	99,42±8,18 <sup>a</sup>
35	55±11 <sup>a</sup>	589,76±29,59 <sup>a</sup>	516,94±164,94 <sup>a</sup>	107,28±7,31 <sup>a</sup>
105	56±4 <sup>a</sup>	587,33±44,38 <sup>a</sup>	494,47±73,89 <sup>a</sup>	102,84±5,80 <sup>a</sup>
112	62±6 <sup>a</sup>	521,70±23,87 <sup>a</sup>	489,49±39,77 <sup>a</sup>	96,39±7,11 <sup>a</sup>
120	54±3 <sup>a</sup>	518,68±18,21 <sup>a</sup>	461,63±27,49 <sup>a</sup>	97,08±8,87 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Assim como as demais condições que utilizaram o vácuo no armazenamento (tópicos 5.3.5 e 5.3.6), a Tabela 70 revela a manutenção dos parâmetros de crocância no teste de perfuração durante os 120 dias de análise.

Quando se compara as Tabelas 58 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , pressão atmosférica) e 70 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) nota-se que o número de picos de força e a força máxima para realizar uma fratura no alimento independem do processo de armazenamento a qual foi submetido.

Considerando as Tabelas 64 (*light*,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) e 70 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), no entanto, constata-se o que havia sido discutido anteriormente, onde o número de picos é superior e a força máxima para a quebra da amostra é inferior para a versão *light* quando produzida e armazenada sob as mesmas condições da tradicional. Isso é um reflexo da estrutura pouco porosa formada nos *snacks* de queijo muçarela tradicional obtida durante o processamento em MWVD e que pode ser visualizada nas imagens de microscopia óptica apresentadas ao longo do Capítulo 3 – tópicos 5.3.3, 5.3.4.

Tabela 71 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados sob vácuo.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	95±9 <sup>a</sup>	1129,23±145,68 <sup>b</sup>	2608,78±160,59 <sup>a</sup>	383,65±96,41 <sup>a</sup>
7	77±10 <sup>a</sup>	1445,93±282,23 <sup>a,b</sup>	2989,81±345,59 <sup>a</sup>	421,65±80,03 <sup>a</sup>
14	73±12 <sup>a</sup>	1078,05±146,16 <sup>b</sup>	2320,24±596,05 <sup>a</sup>	331,75±62,08 <sup>a</sup>
21	74±8 <sup>a</sup>	1215,60±179,81 <sup>a,b</sup>	2693,14±412,21 <sup>a</sup>	379,47±77,32 <sup>a</sup>
28	77±9 <sup>a</sup>	1206,85±87,74 <sup>a,b</sup>	2907,21±40,53 <sup>a</sup>	409,67±70,50 <sup>a</sup>
35	84±6 <sup>a</sup>	1097,70±32,78 <sup>b</sup>	2993,70±60,26 <sup>a</sup>	337,99±22,63 <sup>a</sup>
105	87±11 <sup>a</sup>	1216,42±75,08 <sup>a,b</sup>	2903,41±16,99 <sup>a</sup>	388,76±50,99 <sup>a</sup>
112	96±8 <sup>a</sup>	1578,48±53,62 <sup>a</sup>	2845,40±40,65 <sup>a</sup>	400,53±27,93 <sup>a</sup>
120	87±4 <sup>a</sup>	1553,30±20,48 <sup>a</sup>	2881,40±71,05 <sup>a</sup>	401,68±24,95 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

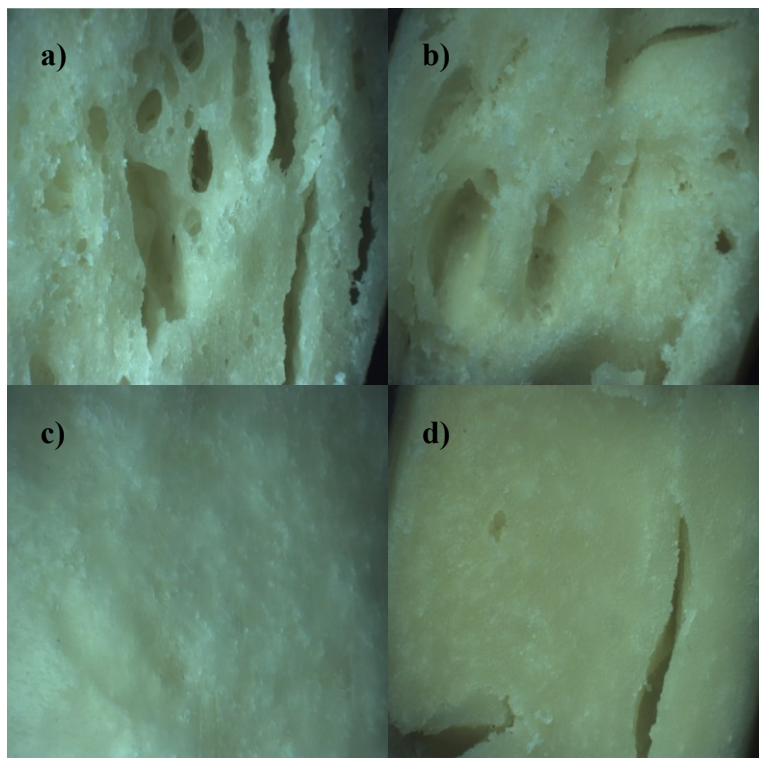
Os dados da Tabela 71 apresentam um comportamento semelhante ao discutido para a Tabela 70, sendo mantidos o número de picos de força e a força máxima necessária para a deformação do produto nos 4 meses de armazenamento sob vácuo.

A comparação entre as Tabelas 59 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , pressão atmosférica) e 71 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) mostra uma diferença significativa entre o número de picos de força e da força necessária para fraturar o *snack*, com um aumento no valor desses parâmetros para o produto armazenado sob vácuo.

A comparação entre as Tabelas 65 (*light*,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) e 71 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) sugere o mesmo comportamento discutido para o teste de perfuração, com o aumento do número de picos de força e uma menor força máxima para a versão *light*.

As imagens das microscopias ópticas do *snack* tradicional produzido em MWVD a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e armazenado sob vácuo estão apresentadas na Figura 54.

Figura 54 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,0 \text{ W g}^{-1}$  e armazenados sob vácuo nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.



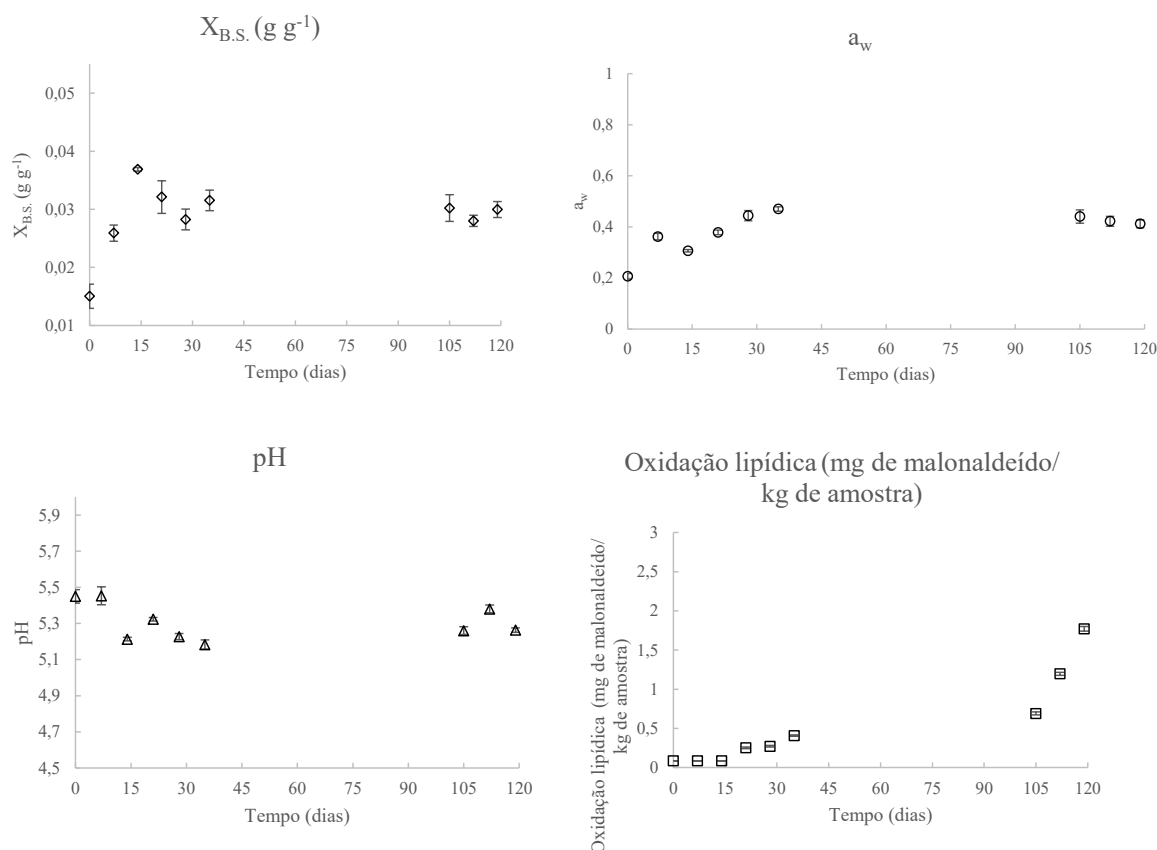
Fonte: Autor (2021).

Através da Figura 54, observa-se uma estrutura mais rígida, formada por um pequeno número de poros, típica de *snacks* de queijo muçarela tradicional.

### 5.3.8 Vácuo / tradicional / $1,5 \text{ W g}^{-1}$ / $20 \text{ °C}$

Para finalizar o estudo do armazenamento do queijo muçarela desidratado em MWVD, avaliou-se o *snack* produzido a partir da versão tradicional, com uma densidade de potência de micro-ondas de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  aplicada ao sistema e um armazenamento sob vácuo. Os resultados da variação da umidade, atividade de água, pH e oxidação lipídica nessas condições estão apresentados na Figura 55.

Figura 55 - Evolução da umidade (em base seca), atividade de água, pH e oxidação lipídica dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados sob vácuo.



Fonte: Autor (2021).

Assim como as demais condições apresentadas no Capítulo 3 – com exceção do tópico 5.3.7 – a Figura 55 mostra o aumento da umidade (de  $0,0150 \pm 0,0021 \text{ g g}^{-1}$  para  $0,0300 \pm 0,0014 \text{ g g}^{-1}$ ), da atividade de água (de  $0,207 \pm 0,011$  para  $0,412 \pm 0,016$ ) e da oxidação lipídica (de  $0,09 \pm 0,00$  para  $1,77 \pm 0,03 \text{ mg de malonaldeído kg}^{-1}$  de amostra); e a manutenção do valor do pH ao longo do período de armazenamento.

Considerando o *snack* avaliado no tópico 5.3.7 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), observa-se que apesar dos valores de umidade e atividade de água iniciais (logo após o processamento – 0 dia) serem superiores aos obtidos no presente tópico (tradicional,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), esses parâmetros atingiram valores iguais ao final de 120 dias sob vácuo. Em relação a oxidação lipídica, o

processamento a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  gerou um dano oxidativo 10% menor ao final do período de armazenamento.

Ao analisar os tópicos 5.3.4 (tradicional,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , pressão atmosférica) e 5.3.8 (tradicional,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), nota-se que os valores de umidade e atividade de água foram semelhantes para as duas condições, mas que a oxidação lipídica foi 43% menor para a que utilizou vácuo no armazenamento ao final do quarto mês de estudo.

A comparação entre os tópicos 5.3.6 (*light*,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) e 5.3.8 (tradicional,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) indica que tanto a umidade, quanto a atividade de água e a oxidação lipídica foram superiores para a versão tradicional do queijo desidratado.

A evolução das características de cor durante o armazenamento sob vácuo dos *snacks* de queijo muçarela tradicional obtidos a partir do processamento em MWVD a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  é apresentada na Tabela 72.

Tabela 72 - Evolução dos parâmetros de cor na escala CIELab durante o armazenamento em vácuo dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tempo de armazenamento (dias)	L*	a*	b*
0	92,730±0,244 <sup>b,c</sup>	-4,674±0,228 <sup>b,c</sup>	28,543±0,078 <sup>c,d</sup>
7	92,864±0,615 <sup>b,c</sup>	-4,468±0,202 <sup>b,c</sup>	28,053±0,383 <sup>c,d</sup>
14	93,999±0,430 <sup>a</sup>	-4,735±0,319 <sup>b,c</sup>	25,160±0,591 <sup>e</sup>
21	93,693±0,446 <sup>a,b</sup>	-5,137±0,157 <sup>c</sup>	27,488±0,237 <sup>d</sup>
28	93,865±0,255 <sup>a</sup>	-4,774±0,306 <sup>b,c</sup>	25,448±0,205 <sup>e</sup>
35	92,748±0,394 <sup>b,c</sup>	-4,297±0,281 <sup>a,b</sup>	30,267±0,559 <sup>b</sup>
105	92,008±0,493 <sup>c</sup>	-3,670±0,345 <sup>a</sup>	34,004±0,736 <sup>a</sup>
112	93,525±0,381 <sup>a,b</sup>	-4,413±0,372 <sup>b</sup>	29,157±0,424 <sup>b,c</sup>
120	93,057±0,385 <sup>a,b</sup>	-4,616±0,316 <sup>b,c</sup>	28,186±0,691 <sup>c,d</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

A Tabela 72 mostra que, nesse caso, a luminosidade e as cromaticidades  $a^*$  e  $b^*$  não apresentaram diferença significativa durante os 120 dias de armazenamento, o que é uma característica desejada.

Considerando apenas a diferença de potência aplicada no micro-ondas durante a desidratação (Tabelas 69 e 72), observa-se que somente a intensidade da cor amarela (cromaticidade



b\*) apresentou um valor superior para a condição a  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ . Em relação a diferença no tipo de armazenamento (Tabelas 54 e 72), nota-se um aumento também apenas na cromaticidade b\* na condição a vácuo. A análise de cor nas amostras com diferentes teores de gordura (Tabelas 66 e 72) conclui que a versão tradicional do produto se apresenta com uma coloração mais clara e com maior intensidade do amarelo ao final dos 120 dias de armazenamento.

Os resultados dos testes mecânicos de textura – perfuração e compressão – estão apresentados nas Tabelas 73 e 74, respectivamente.

Tabela 73 - Variação dos parâmetros de textura no teste de perfuração dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , e armazenados sob vácuo.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	112±8 <sup>a</sup>	344,23±73,56 <sup>a</sup>	721,36±116,08 <sup>a</sup>	89,39±15,74 <sup>a</sup>
7	93±11 <sup>a</sup>	389,06±43,25 <sup>a</sup>	557,01±115,06 <sup>a</sup>	76,44±3,81 <sup>a</sup>
14	104±5 <sup>a</sup>	372,24±51,17 <sup>a</sup>	609,90±108,82 <sup>a</sup>	84,13±12,17 <sup>a</sup>
21	102±2 <sup>a</sup>	384,98±64,25 <sup>a</sup>	706,38±138,02 <sup>a</sup>	83,40±14,04 <sup>a</sup>
28	93±13 <sup>a</sup>	377,87±50,34 <sup>a</sup>	678,73±121,80 <sup>a</sup>	89,86±12,37 <sup>a</sup>
35	93±8 <sup>a</sup>	368,10±39,42 <sup>a</sup>	686,40±106,90 <sup>a</sup>	94,67±10,89 <sup>a</sup>
105	92±4 <sup>a</sup>	389,45±47,82 <sup>a</sup>	618,53±101,74 <sup>a</sup>	96,56±9,78 <sup>a</sup>
112	94±3 <sup>a</sup>	372,43±59,87 <sup>a</sup>	631,21±104,00 <sup>a</sup>	92,63±8,17 <sup>a</sup>
120	96±4 <sup>a</sup>	419,73±51,14 <sup>a</sup>	635,50±108,22 <sup>a</sup>	93,80±12,57 <sup>a</sup>

Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Assim como para todas as condições que utilizaram vácuo no armazenamento, os parâmetros do teste de perfuração (Tabela 73) se mantiveram ao longo do armazenamento, indicando uma ótima estabilidade da crocância - mesmo com o aumento da umidade e da atividade de água do produto.

Ao se comparar as Tabelas 70 (tradicional,  $1,0 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) e 73 (tradicional,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo), verifica-se um maior número de picos de força para a condição a  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ . Em relação as amostras armazenadas em diferentes condições – Tabelas 61 (tradicional,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , pressão atmosférica) e 73 (tradicional,  $1,5 \text{ W g}^{-1}$ , vácuo) – nota-se que o número de picos de força dependeu apenas do processo e não foi influenciado pelo tipo de armazenamento. Ao avaliar as Tabelas 67

(*light*, 1,5 W g<sup>-1</sup>, vácuo) e 73 (tradicional, 1,5 W g<sup>-1</sup>, vácuo), observa-se um maior número de picos de força e uma menor força máxima para deformação do produto quando se utiliza a versão *light*.

Tabela 74 - Variação dos parâmetros de textura no teste de compressão dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial de 20 °C, e armazenados sob vácuo.

Tempo de armazenamento (dias)	Número de picos de força	Área (N.mm)	Distância Linear	Força máxima (N)
0	106±19 <sup>a</sup>	893,98±115,27 <sup>a</sup>	2480,64±143,47 <sup>c,d</sup>	309,83±24,21 <sup>a</sup>
7	109±20 <sup>a</sup>	718,45±157,13 <sup>a</sup>	2256,95±103,56 <sup>e</sup>	265,85±53,99 <sup>a</sup>
14	108±17 <sup>a</sup>	805,43±123,00 <sup>a</sup>	2351,97±112,13 <sup>d,e</sup>	281,87±32,45 <sup>a</sup>
21	120±8 <sup>a</sup>	876,66±46,28 <sup>a</sup>	2619,50±60,93 <sup>b,c</sup>	261,13±40,34 <sup>a</sup>
28	119±14 <sup>a</sup>	850,50±57,16 <sup>a</sup>	2884,60±26,66 <sup>a</sup>	289,03±34,76 <sup>a</sup>
35	104±4 <sup>a</sup>	876,80±64,70 <sup>a</sup>	2732,70±41,59 <sup>a,b</sup>	260,36±16,53 <sup>a</sup>
105	115±15 <sup>a</sup>	914,25±35,80 <sup>a</sup>	2495,60±24,43 <sup>c,d</sup>	280,93±19,23 <sup>a</sup>
112	109±3 <sup>a</sup>	872,68±41,16 <sup>a</sup>	2719,80±33,18 <sup>a,b</sup>	302,71±15,44 <sup>a</sup>
120	118±5 <sup>a</sup>	876,40±45,50 <sup>a</sup>	2454,71±49,83 <sup>c,d,e</sup>	263,39±17,14 <sup>a</sup>

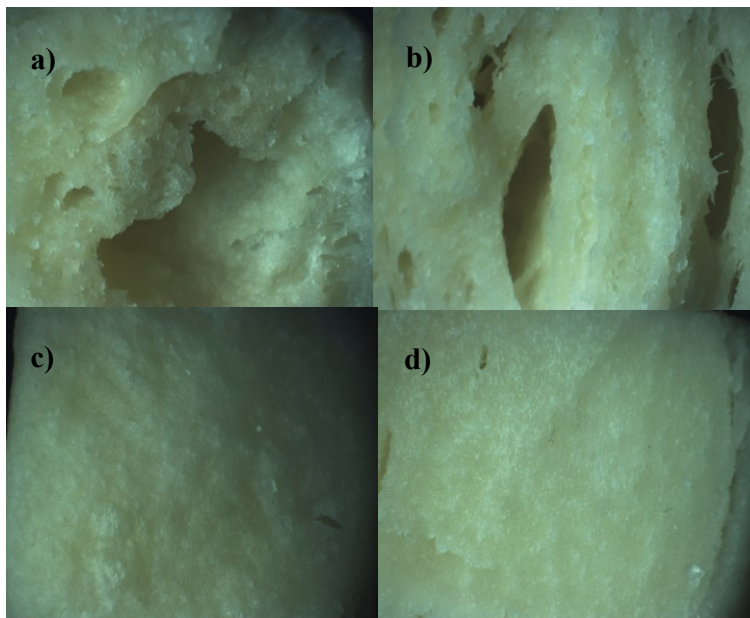
Nota: Os dados em cada linha com letras diferentes são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Os dados são apresentados como média±desvio-padrão.

Os dados obtidos no teste de compressão (Tabela 74) indicam o mesmo comportamento apresentado pelo teste de perfuração (Tabela 73), com a manutenção de todos os parâmetros do teste ao longo do armazenamento.

Na comparação entre as Tabelas 71 (tradicional, 1,0 W g<sup>-1</sup>, vácuo) e 74 (tradicional, 1,5 W g<sup>-1</sup>, vácuo), observa-se um número de picos de força semelhantes, enquanto entre as Tabelas 62 (tradicional, 1,5 W g<sup>-1</sup>, pressão atmosférica) e 74 (tradicional, 1,5 W g<sup>-1</sup>, vácuo) a força máxima para fraturar os *snacks* foi similar; e em relação as Tabelas 68 (*light*, 1,5 W g<sup>-1</sup>, vácuo) e 73 (tradicional, 1,5 W g<sup>-1</sup>, vácuo) o número de picos de força foi superior para a versão *light*.

As imagens obtidas por meio da microscopia óptica dos *snacks* tradicionais produzidos em MWVD a 1,5 W g<sup>-1</sup> e armazenados sob vácuo estão apresentadas na Figura 56.

Figura 56 - Microscopias do interior (a e b) e da superfície (c e d) dos *snacks* de queijo muçarela tradicional produzidos em MWVD com densidade de potência de  $1,5 \text{ W g}^{-1}$  e armazenados sob vácuo nos dias 0 e 120 após o processamento, respectivamente.



Fonte: Autor (2021).

Assim como as Figuras 46, 48 e 54, a Figura 56 mostra a estrutura esponjosa e mais rígida dos *snacks* produzidos a partir do queijo muçarela tradicional.

#### 5.4 CONCLUSÃO

O queijo muçarela desidratado por MWVD se apresentou estável durante os quatro meses de análise, apesar do aumento significativo de umidade e  $a_w$  até valores próximos à  $0,03 \text{ g g}^{-1}$  e  $0,4$ , respectivamente. O potencial hidrogeniônico se manteve relativamente constante, em valores próximos à  $5,4$ , indicando que não houve um aumento na acidez do produto.

A luminosidade dos *snacks* diminuiu com o tempo de armazenamento e a intensidade amarela aumentou. Os resultados de cor não sugerem uma alteração suficiente para a rejeição do produto em 120 dias de armazenamento.

Em relação à oxidação lipídica houve uma influência direta do conteúdo de gordura do alimento nas amostras mantidas sob vácuo com um menor dano para a versão *light* do produto. Além

disso, os *snacks* armazenados sob vácuo também apresentaram uma redução no dano oxidativo quando comparados aos armazenados em pressão atmosférica devido à menor exposição ao oxigênio.

No que se refere à estrutura, as imagens de microscopia óptica mostraram que não houve alteração durante o armazenamento. Observou-se ainda a manutenção dos parâmetros de textura para as amostras submetidas ao vácuo durante os 120 dias de armazenamento, enquanto, em alguns casos, houve uma diminuição do número de picos de força para os *snacks* estocados em pressão atmosférica, indicando a redução na crocância do produto.

Assim, pode-se concluir que o armazenamento sob vácuo é o mais indicado para os *snacks* de queijo muçarela independentemente do teor de gordura da matéria-prima e dos parâmetros de processo utilizados em MWVD.

## 6 CONCLUSÃO

A tecnologia de micro-ondas a vácuo se mostrou uma alternativa viável para a desidratação de queijo muçarela. A pressão de 60 mbar e a temperatura inicial de 20 °C foram adequadas para a produção de *snacks* mais crocantes, enquanto o uso de uma densidade de potência maior (1,5 W g<sup>-1</sup>) gerou um aumento na taxa de secagem e, conseqüentemente, a redução no tempo de processo com manutenção nos parâmetros de crocância.

A variação de poucos minutos durante a formação do *snack* acarretou grandes diferenças estruturais no produto de tal forma que quanto mais longo o tempo de secagem, maior foi a retirada de água do queijo e, conseqüentemente, mais poros foram formados. Esse tempo de processo, no entanto, deve ser controlado para evitar queimas no produto. Nas condições avaliadas, os tempos de desidratação variaram entre 24 min e 40 min.

O conteúdo de gordura da matéria-prima ocasionou diferenças estruturais nos produtos, com a formação de um maior número de grandes poros para a versão *light* e uma estrutura mais esponjosa para a versão tradicional. Além disso, as amostras obtidas a partir do queijo muçarela tradicional foram susceptíveis a um maior dano oxidativo que as amostras *light* quando armazenadas sob vácuo.

O vácuo se mostrou mais eficiente para a estocagem dos *snacks* de queijo muçarela por reduzir a oxidação lipídica, manter a crocância e reduzir o escurecimento das amostras durante o armazenamento quando comparado a pressão atmosférica.

Diante de todos os aspectos avaliados ao longo do trabalho, conclui-se que a melhor condição estudada foi utilizando a pressão de 60 mbar, densidade de potência de 1,5 W g<sup>-1</sup> e temperatura inicial da matéria-prima de 20 °C. Apesar do trabalho também garantir a viabilidade da produção de *snacks* a partir do queijo muçarela tradicional, as características sensoriais mais desejáveis foram obtidas a partir da versão *light*.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho abordou diversas questões e introduziu novas ideias para trabalhos futuros darem prosseguimento, entre eles:

- Quantificação dos aromas com o tempo de processamento com o objetivo de relacionar a formação de *off-flavours* com o avanço da oxidação lipídica;
- Quantificação da biodisponibilidade das proteínas antes e após o processamento;
- Análise sensorial dos *snacks*;
- Aumento de escala do processo.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGHILINATEGH, N. et al. A comparative study of dried apple using HA, intermittent and continuous microwave: Evaluation of kinetic parameters and physicochemical quality attributes. **Food Science & Nutrition**, n.º.3, p.519-526, 2015.

ANDO, Y. et al. Effects of prefreezing on the drying characteristics, structural formation and mechanical properties of microwave-vacuum dried apple. **Journal of Food Engineering**, n.º.244, p. 170-177, 2019.

ANDREANI, P. et al. Spectrum crispness sensory scale correlation with instrumental acoustic high-sampling rate and mechanical analyses. **Food Research International**, v. 129, 108886, 2020.

ANDREANI, P. **Medidas simultâneas mecânicas e acústicas e correlações sensoriais para alimentos crocantes**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

A.O.A.C. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington, 2005.

ARIMI, J.M. et al. Crispiness of a microwave-expanded imitation cheese: Mechanical, acoustic and sensory evaluation. **Journal of Food Engineering**, v. 108, p. 403-409, 2012.

ARIMI, J.M. et al. Effect of water activity on the crispiness of a biscuit (Crackerbread): Mechanical and acoustic evaluation. **Food Research International**, v. 43, p. 1650-1655, 2010.

BALESTRIERI, M. et al. Evaluation of oxidative damage in mozzarella cheese produced from bovine or water buffalo milk. **Food Chemistry**, v. 77, p. 293-299, 2002.

BANKS, J.M.; HUNTER, E.A.; MUIR, D.D. Sensory properties of low fat cheddar cheese: effect of salt content and adjunct culture. **Journal of the Society of Dairy Technology**, v. 46, n.º 4, p. 119-123, 1993.

BARRETT, A.H. et al. Cellularity, mechanical failure, and textural perception of corn meal extrudates. **Journal of Texture Studies**, v. 25, p. 77-95, 1994.

BAYARRI, S.; CHULIÁ, I.; COSTELL, E. Comparing  $\lambda$ -carrageenan and inulin blend as fat replacers in carboxymethyl cellulose dairy desserts. Rheological and sensory aspects. **Food Hydrocolloids**, v. 24, p. 578-587, 2010.

BONDARUK, J.; MARKOWSKI, M.; BLASZCZAK, W. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. **Journal of Food Engineering**, vol. 81, p. 306-312, 2007.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada nº 54 de 12 de novembro de 2012. **Regulamento Técnico sobre Informação Nutricional Complementar**. Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 364 de 04 de setembro de 1997. **Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Queijo Mozzarella (Muzzarella ou Mussarella)**. Brasília, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 146 de 07 de março de 1996. **Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Queijos**. Brasília, 1996.

BURTON, G.W.; INGOLD, K.U. Vitamin E: application of the principles of physical organic chemistry to the exploration of its structure and function. **Academic Chemical Research**, v. 54, p. 194-201, 1986.

CARCIOFI, B.A.M. et al. Experimental approach to evaluate the influence of characteristic length on the dynamics of biphasic flow in vacuum impregnation. **Chemical Engineering Science**, v. 137, p. 875-883, 2015.

CÁRDENAS-PÉREZ, S. et al. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. **Biosystems Engineering**, v. 159, p. 46 – 58, 2017.

CHAHBANI, A. et al. Microwave drying effects on drying kinetics, bioactive compounds and antioxidant activity of green peas (*Pisum sativum* L.). **Food Bioscience**, nº 25, p. 32-38, 2018.

CHAKRA, W.A.; ALLAF, K.; JEMAI, A.B. Characterization of brittle food products: application of the acoustical emission method. **Journal of Texture Studies**, v. 27, p. 327-348, 1996.

CHANDRASEKARAN, S.; RAMANATHAN, S.; BASAK, T. Microwave food processing – A review. **Food Research International**, v. 52, p. 243-261, 2013.

CHEN, J.; KARLSSON, C.; POVEY, M. Acoustic envelope detector for crispness assessment of biscuits. **Journal of Texture Studies**, v. 36, p. 139-156, 2005.

CHEN, X.D.; MUJUMDAR, A.S. *Drying Technologies in Food Processing*. Oxford: John Wiley & Sons Ltd, 1 edition, 2008.

COELHO, K.O. et al. Níveis de células somáticas sobre a proteólise do queijo Mussarela. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, nº3, vol. 13, p. 682-693, 2012.

COHEN, J.S., & YANG, T.C.S. Progress in Food Dehydration. **Trends in Food Science & Technology**, nº.61, 1995.

COLLINS, Y.F.; McSWEENEY, P.L.H.; WILKINSON, M.G. Lypolysis and free fatty acid catabolism in cheese: a review of current knowledge. **International Dairy Journal**, v. 13, p. 841-866, 2003.

CORNEJO, F.E.P.; NOGUEIRA, R.I.; WILBERG, V.C. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Secagem e desidratação**. Disponível em: <



[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia\\_de\\_alimentos/arvore/CONT000fid5sgie02wyiv80z4s473tokdiw5.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000fid5sgie02wyiv80z4s473tokdiw5.html)>. Acesso em 05 de outubro de 2018.

DANDAMRONGRAK, R.; YOUNG, G.; MASON, R. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana and selection of suitable drying models. **Journal of Food Engineering**, n° 55, p. 139-146, 2002.

DATTA, A.K.; & ANANTHESWARAN, R.C. *Handbook of microwave technology for food applications*. Nova Iorque: Marcel Dekker Inc., 2001.

DATTA, A.K.; DAVIDSON, P.M. Microwave and radio frequency processing. **Journal of Food Science – Supplement: Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies**, v. 65, p. 32-41, 2000.

DEHGHANNYA, J.; HOSSEINLAR, S.H.; HESHMATI, M.K. Multi-stage continuous and intermittent microwave drying of quince fruit coupled with osmotic dehydration and low temperature hot air drying. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, n°45, p. 132-151, 2018.

DEZANI, A.A.A; RETONDO, B.B.; WAIDEMAN, M.A. Determinantes de consumo dos produtos derivados do leite. **Revista Eletrônica de Administração**, v. 14, 2015.

DROUZAS, A.E., & SCHUBERT, H. Microwave application in vacuum drying of fruits. **Journal of Food Engineering**, n°. 28, vol. 2, p. 203-209, 1996.

DUIZER, L. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunch and crackly textures. **Trends in Food Science & Technology**, v. 12, p. 17-24, 2001.

ELMIZADEH, A.; SHAHEDI, M.; HAMDAMI, N. Comparison of electrohydrodynamic and hot-air drying of the quince slices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, n° 43, p. 130-135, 2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Coleção Agroindústria Familiar - Queijo Mussarela**. Ed 1, p. 1-52, Brasília, 2005.

ERBAY, Z.; KOCA, N. Effects of using whey and maltodextrin in White cheese powder production on free fatty acid content, nonenzymatic browning and oxidation degree during storage. **International Dairy Journal**, v. 96, p. 1-9, 2019.

ERICKSON, D.R.; DUNKLEY, W.L.; SMITH, L.M. Tocopherol distribution in milk fractions and its relation to antioxidant activity. **Journal of Food Science**, v. 29, p. 269-275, 1964.

EVANGELISTA, L. Queijo mussarela: Evolução tecnológica. **Ciência do Leite** (2013). Disponível em: <<https://cienciadoleite.com.br/noticia/3182/queijo-mussarela--evolucao-tecnologica>>. Acesso em: 30 de julho de 2018.

FELLOWS, P.J. *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática*. Porto Alegre: Artmed, 2 edição, 2006.

FIALHO, D.C. **Desenvolvimento de bebida láctea adicionada de ácido linoléico conjugado e ensaio clínico em mulheres obesas**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FIGIEL, A. Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices. **Journal of Food Engineering**, n°94, vol. 1, p. 98-104, 2009.

FILLION, L.; KILCAST, D. Consumer perception of crispness and crunchiness in fruits and vegetables. **Food Quality and Preference**, v. 13, p. 23-29, 2002.

GALLINA, D.A. et al. Avaliação da oxidação lipídica e análise sensorial (ADQ) para estimativa da vida útil do requeijão cremoso UHT (RC<sub>UHT</sub>). *XXVI Congresso Nacional de Laticínios*, Brasil, 2009.

GAUKEL, V.; SIEBERT, T.; ERLE, U. *The Microwave Processing of Foods*. Cap. 8: Microwave-assisted drying. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2 edition, p. 152-178, 2017.

GIRI, S.K. & PRASAD, S. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave vacuum and convective hot-air dried mushrooms. **Journal of Food Engineering**, vol. 78, p. 512-521, 2007.

GONDEK, E. et al. Acoustic, mechanical and microstructural properties of extruded crisp bread. **Journal of Cereal Science**, v. 58, n° 1, p. 132-139, 2013.

GREGORI, D.; MAFFEIS, C. Snacking and Obesity: Urgency of a Definition to Explore such a Relationship. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 107, p. 562, 2007.

GUINEE, T.P. Cheese: Cheese as a Food Ingredient. **Encyclopedia of Dairy Sciences**, 2 ed., p. 833-842, 2016.

GUNASEKARAN, S. Pulsed microwave-vacuum drying of food materials. **Drying Technology**, v. 17, n° 3, p. 395-412, 1999.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Física III*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1973. v. 3. 353p.

HESS, J.M.; SLAVIN, J.L. The benefits of defining “snacks”. **Physiology & Behavior**, v. 193, p. 284-287, 2018.

HORSZWALD, A.; JULIEN, H.; ANDLAUER, W. Characterisation of Aronia powders obtained by different drying processes. **Food Chemistry**, n° 141, p. 2858-2863, 2013.

HU, Q-G. et al. Drying of edamames by hot air and vacuum microwave combination. **Journal of Food Engineering**, n°77, p. 977-982, 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos*. Instituto Adolfo Lutz, IV edição, 1ª edição digital. São Paulo, 2008.

JAYAS, D.S. Food Dehydration. **Reference Module In Food Science**, 2016.

JIANG, N. et al. Evaluation of freeze drying combined with microwave vacuum drying for functional okra snacks: antioxidant properties, sensory quality, and energy consumption. **LWT – Food Science Technology**, v. 82, p. 216-226, 2017.

JOHNSON, G.H.; ANDERSON, H. Snacking Definitions: Impact on Interpretation of the Literature and Dietary Recommendations. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, p. 848-871, 2010.

JOWITT, R. The terminology of food texture. **Journal of Texture Studies**, v. 5, n 3, p. 351-358, 1974.

KHAMPAKOOL, A.; SOISUNGWAN, S.; PARK, S.H. Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: Drying kinetics, energy consumption, and texture. **LWT – Food Science and Technology**, v. 99, p. 355-363, 2019.

KINDSTEDT, P.S. Symposium review: The Mozzarella/pasta filata years: A tribute to David M. Barbano. **Journal of Dairy Science**, n°11, vol.102, p. 10670-10676, 2019.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B. Effect of microwave drying on some quality properties of dehydrated products. **Drying Technology**, n°17, vol. 3 p. 449-446, 1999.

LAWLESS, H.L.; & HAYMANN, H. *Sensory evaluation of food: principles and practices*. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 1998.

LIMA FILHO, R.R.; & POMBO, G. **Aumenta o consumo de queijo no Brasil**. Carta Leite, 2010. Disponível em [http://www.bovinos.ufpr.br/100921\\_Aumenta\\_o\\_consumo\\_de\\_queijo\\_no\\_brasil\\_def.pdp](http://www.bovinos.ufpr.br/100921_Aumenta_o_consumo_de_queijo_no_brasil_def.pdp) . Acesso em 23 de março de 2021.

LIN, T.M. et al. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. **Food Research International**, n°31, vol. 2 p. 111-117, 1998.

LLOYD, M.A.; DRAKE, M.A.; GERARD, P.D. Flavor variability and flavor stability of U.S. – produced whole milk powder. **Journal of Food Science**, v. 74, p. S334-S343, 2009.

LOMBRAÑA, J.I.; ZUAZO, I.; IKARA, J. Moisture diffusivity behavior during freeze drying under microwave heating power application. **Drying Technology**, vol. 19, p. 1613-1627, 2007.

LUCAS, B.F.; ZAMBIAZI, R.C.; COSTA, J.A.V. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. **LWT – Food Science and Technology**, n° 98, p. 335-340, 2018.

LUYTEN, H.; PLIJTER, J.J.; VLIET, T.V. Crispy/crunchy crusts of cellular solid foods: A literature review with discussion. **Journal of Texture Studies**, v. 35, p. 445-492, 2004.

LV, H-F. et al. Microwave-vacuum drying of round bamboo: A study of the physical properties. **Construction and Buildings Materials**, n°211, p. 44-51, 2019.

MALIN, E.L.; TUNICK, M.H. *Chemistry of structure-function relationships in cheese*. Plenum Press, v. 367, New York, 1995.

MAKUL, N.; VONGPRADUBCHAI, S.; RATTANADECHO, P. An experimental study of microwave drying under low pressure to accelerate the curing of Portland cement pastes using a combined unsymmetrical double-fed microwave and vacuum system. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 127, part. A, p. 179-192, 2018.

MATERA, J. et al. Brazilian cheeses: A survey covering physicochemical characteristics, mineral content, fatty acid profile and volatile compounds. **Food Research International**, n° 108, p. 18-26, 2018.

MEDA, V. et al. **Microwave heating and the dielectric properties of food**. In: the microwave processing of foods, p. 23-43, Elsevier, 2017.

MENON, A.; STOJCESKA, V.; TASSOU, S. A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 100, p. 67-76, 2020.

MISTRY, V.V. Low fat cheese technology. **International Dairy Journal**, v. 11, p. 413-422, 2001.

MOLIMARD, P.; SPINNLER, H.E. Review: Compounds Involved in the Flavor of Surface Mold-Ripened Cheeses: Origins and Properties. **Journal Dairy Science**, v. 79, p. 169-184, 1996.

MONTEIRO, R.L. et al. Microwave vacuum drying of foods with temperature control by power modulation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, n°.65, p. 1-11, 2020.

MONTEIRO, R.L. et al. Microwave vacuum drying and multi-flash drying of pumpkin slices. **Journal of Food Engineering**, v. 232, p. 1-10, 2018a.

MONTEIRO, R.L. et al. Effect of multi-flash drying and microwave vacuum drying on the microstructure and texture of pumpkin slices. **LWT – Food Science and Technology**, v. 96, p. 612-619, 2018b.

MONTEIRO, R.L.; CARCIOFI, B.A.M.; LAURINDO, J.B. A microwave multi-flash drying process for producing crispy bananas. **Journal of Food Engineering**, v. 178, p. 1-11, 2016.

MONTEIRO, R.L. et al. How to make a microwave vacuum dryer with turntable. **Journal of Food Engineering**, v. 166, p. 276-284, 2015.

MONTEVALI, A.; MINAEI, S.; KHOSHTAGAZA, M.H. Evaluation of energy consumption in different drying methods. **Energy Conversion and Management**, n° 52, p. 1192-1199, 2011.

MOUSA, N., & FARID, M. Microwave vacuum drying of banana slices. **Drying Technology**, n°.20, vol. 10, p. 2055-2066, 2002.

MUI, W.W.Y.; DURANCE, T.D.; SCAMAN, C.H. Flavor and texture of banana chips dried by combinations of hot air, vacuum, and microwave processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, nº50, p. 1883-1889, 2002.

NOWACKA, M. et al. The application of unconventional technologies as pulsed electric field, ultrasound and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks. **Ultrasonics – Sonochemistry**, nº56, p. 1-13, 2019.

O'BRIAN, N.M.; O'CONNOR, T.P. Lipid Oxidation. **Encyclopedia of Dairy Sciences**. Third Edition, p. 821-826, 2022.

O'CONNOR, T.P.; O'BRIAN, N.M. Lipid Oxidation. **Advanced Dairy Chemistry**. Second Edition, p. 309-347, 1995.

OIKONOMOPOULOU, V.P.; KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T. The influence of freeze drying condition on microstructural changes of food products. **Procedia Food Science**, vol. 1, p. 647-654, 2011.

OUAABOU, R. et al. Valorization of solar drying process in production of dried Moroccan sweet cherries. **Solar Energy**, nº 172, p. 158-164, 2018.

PARK, C.W.; DRAKE, M.A. The distribution of fat in dried dairy particles determines flavor release and flavor stability. **Journal of Food Science**, v. 79, p. R452-R459, 2014.

PELLICER, J.A. et al. Stability of microencapsulated strawberry flavour by spray drying, freeze drying and fluid bed. **Powder Technology**, nº 347, p. 179-185, 2019.

PERRY, K.S.P. Queijos: Aspectos Químicos, Bioquímicos e Microbiológicos. **Química Nova**, v. 27, nº 2, p. 293-300, 2004.

PIAZZA, L.; GIGLI, J.; BALLABIO, D. On the application of chemometrics for the study of acoustic-mechanical properties of crispy bakery products. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 86, p. 52-59, 2007.

PIETROWSKI, G.A.M. et al. Avaliação da qualidade microbiológica de queijo tipo Mussarela comercializado na cidade de Ponta Grossa, Paraná. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, nº 2, vol. 2, p. 25-31, 2008.

PINHEIRO, M.V.S.; PENNA, A.L.B. Substitutos de gordura: tipos e aplicações em produtos lácteos. **Alimentos e Nutrição**, v. 15, nº 2, p. 175-186, 2004.

PINHO, A.R.C. et al. Dehydration of cheese by hot-air, microwave and freeze-drying. **Scientific Study & Research: Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry**, v. 18, p. 455-460, 2017.

PORCIUNCULA, B. D.A. et al. Determining the effective diffusion coefficient of water in banana (Prata variety) during osmotic dehydration and its use in predictive models. **Journal of Food Engineering**, v. 119, p. 490-496, 2013.

QUEIJOS NO BRASIL. Tudo sobre Queijo. **Queijo Mussarela** (2015a). Disponível em: <<https://www.queijosnobrasil.com.br/portal/tudo-sobre-queijo-queijos-no-brasil/75-fabricar-mussarela-queijo>> . Acesso em 30 de julho de 2018.

QUEIJOS NO BRASIL. Tudo sobre Queijo. **Mussarela Light** (2015b). Disponível em: <<https://www.queijosnobrasil.com.br/portal/tudo-sobre-queijo-queijos-no-brasil/64-fabricar-mussarela-light>> . Acesso em 30 de julho de 2018.

RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. **Journal of Food Engineering**, vol. 49, p. 311-319, 2001.

REGINATO, A.M. et al. Avaliação microbiológica de queijo tipo mussarela fatiado comercializado em supermercados do município de Ji-Paraná – Rondônia. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, nº 1, vol. 13, p. 89-97, 2019.

REN, F. et al. Impact of ultrasound and blanching on functional properties of hot-air dried and freeze dried onions. **LWT – Food Science and Technology**, nº 87, p. 102-111, 2018.

ROSMINI, M.R. et al. TBA test by an extractive method applied to “Paté”. **Meat Science**, v. 42, p. 103-110, 1996.

ROUDAUT, G. et al. Crispness: A critical review on sensory and material science approaches. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, p. 217-227, 2002.

RUDAN, M.A et al. Effect of Modification of Fat Particle Size by Homogenization on Composition, Proteolysis, Functionality, and Appearance of Reduced Fat Mozzarella Cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 81, p. 2065-2076, 1998.

SAELEAW, M.; SCHLEINING, G. A review: Crispness in dry food and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques. **Journal of Food Engineering**, v. 105, p. 387-399, 2011.

SALVADOR, A. et al. Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. **LWT – Food Science and Technology**, v. 42, p. 763-767, 2009.

SALDAÑA, E. et al. Microstructure, texture profile and descriptive analysis of texture for traditional and light mortadella. **Food Structure**, v. 6, p. 13-20, 2015.

SANDINE, W.E.; ELIHKER, P.R. Microbiologically induced flavours and fermented foods: flavour in fermented dairy products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 18, nº 4, 1970.

SCAMAN, C.H. et al. Chapter 23 – Combined Microwave Vacuum Drying. **Emerging Technologies for Food Processing** (Second Edition), p. 427-445, 2014.

SCHUCK, P. *Milk powder: Physical and functional properties of milk powders*. Encyclopedia of dairy sciences, London, UK: Elsevier Academic Press, 2 edition, v. 2, p. 117-124, 2011.

SCHUCK, P. Why a bibliographic review on free fat in dairy products? **Le lait**, v. 87, p. 183-185, 2007.

SEBERA, V. et al. Finite element analysis of mode stirrer impact on electric field uniformity in a microwave applicator. **Drying Technology**, nº.30, vol. 13, p. 1388-1396, 2012.

SEERANGURAYAR, T. et al. Effect of solar drying methods on color kinetics and texture of dates. **Food and Bioprocess Technology**, v. 116, p. 227-239, 2019.

SEREMET, L. et al. Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. **Food Chemistry**, article in press, 2015.

SIQUEIRA, K.; SCHETTINO, J.P.J. O consumo de queijos pelos brasileiros. Disponível em: < [O consumo de queijos pelos brasileiros | Kennya Siqueira | MilkPoint](#)>. Acesso em: 12 de agosto de 2021.

SOYSAL, Y.; ARSLAN, M.; KESKIN, M. Intermittent microwave-convective air drying of oregano. **Food Science and Technology International**, nº. 15, p. 397-406, 2009.

STAPELFELDT, H.; NIELSEN, B.R.; SKIBSTED, L.H. Effect of heat treatment, water activity and storage temperature on the oxidative stability of whole milk powder. **International Dairy Journal**, v. 7, p. 331-339, 1997.

SZCZESNIAK, A.S. The meaning of textural characteristics – crispness. **Journal of Textural Studies**, v. 19, p. 51-59, 1988.

SZCZESNIAK, A.; KLEIN, D. Consumer awareness of texture and other food attributes. **Food Technology**, v. 63, p. 74-77, 1963.

TELEKEN, J.T. Modelagem multifísica e validação experimental da secagem de meios porosos em micro-ondas a vácuo. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Florianópolis, 2017.

TESCH, R.; NORMAND, M.D.; PELEG, M. Comparison of the acoustic and mechanical signatures of two cellular crunchy cereal foods at various water activity levels. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 70, p. 347-354, 1996.

THOMAS, M.E.C. et al. Milk powders ageing: Effect on physical and functional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 44, p. 297-322, 2004.

TIAN, Y. et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms. **Food Chemistry**, nº 197, p. 714-722, 2016.

TSAMI, E.; KROKIDA, M.K.; DROUZAS, A.E. Effect of drying method on the sorption characteristics of model fruit powders. **Journal of Food Engineering**, v. 38, p. 381-392, 1998.

TUNICK, M.H. et al. Proteolysis and Rheology of low fat and full fat Mozzarella Cheeses prepared from Homogenized Milk. **Journal of Dairy Science**, v. 76, p. 3621-3628, 1993.

UNIÃO INTERNACIONAL DE QUÍMICA PURA E APLICADA (IUPAC). Métodos padrão para a análise de óleos, gorduras e derivados. 6<sup>ed.</sup>, Pergamon Press: Oxford, 1979.

VICKERS, Z.M. Sensory, Acoustical, and Force-Deformation Measurements of Potato Chip Crispness. **Journal of Food Science**, v. 52, n° 1, p. 138-140, 1987.

VICKERS, Z.; BOURNE, M.C. A phychoacoustical theory of crispness. **Journal of Food Science**, v. 41, p. 1158-1164, 1976.

VINCENT, J.F.V. The quantification of crispness. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 78, p. 162-168, 1998.

WAÈPPLING-RAAHOLD, B.; & OHLSSON. **Improving the heating uniformity in microwave processing**. In: M.SHUBERT, H. REGIER (Ed.), The microwave processing of foods, vol.1, Flórida: CRC Press LLC., 2005.

WALDE, S.G. et al. Effects of pretreatments and drying methods on dehydration of mushroom. **Journal of Food Engineering**, n° 74, p. 108-115, 2006.

WANG, Q. et al. Quality evaluation and drying kinetics of shitake mushrooms dried by hot air, infrared and intermittent microwave-assisted drying methods. **LWT – Food Science and Technology**, n° 107, p. 236-242, 2019.

WOO, A.H.; KOLLODGE, S.; LINDSAY, R.C. Quantification of major free fatty acids in several cheese varieties. **Journal Dairy Science**, v. 67, p. 874-878, 1984.

WOO; A.H.; LINDSAY, R.C. Rapid method, for quantitative analysis of individual free fatty acids in cheddar cheese. **Journal of Dairy Science**, v. 65, p. 1102-1109, 1982.

YANG, S.W. et al. Microstructural transformations in anisotropy and melt-stretch properties of low moisture part skim mozzarella cheese. **International Dairy Journal**, v. 62, p. 19-27, 2016.

YI, J. et al. Influences of microwave pre-drying and explosion puffing drying induced cell wall polysaccharide modification on physicochemical properties, texture, microstructure and rehydration of pitaya fruit chips. **LWT – Food Science and Technology**, v. 70, p. 271-279, 2016.

ZHANG, M. et al. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, p. 524-534, 2006.

ZHAO, D. et al. Two-stage intermittent microwave coupled with hot-air drying of carrot slices: Drying kinetics and physical quality. **Food and Bioprocess Technology**, n°7, p. 2308-2318, 2014.



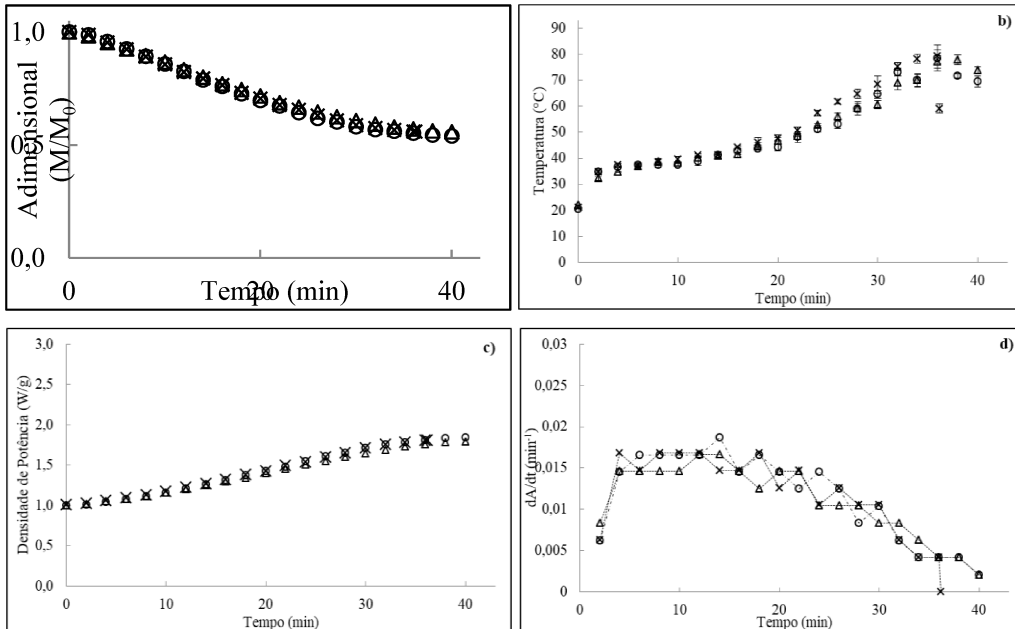
ZIELINSKA, M.; MICHALSKA, A. Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. **Food Chemistry**, v. 212, p. 671-680, 2016.

ZIZZA, C.A. Healthy snacking recommendations: One size does not fit all. **Physiology & Behavior**, v. 134, p. 32-37, 2014.

ZOCCAL, R. **Queijos: produção e importação** (2016). Disponível em: <<http://www.baldebranco.com.br/queijos-producao-e-importacao/>>. Acesso em: 27 de julho de 2018.

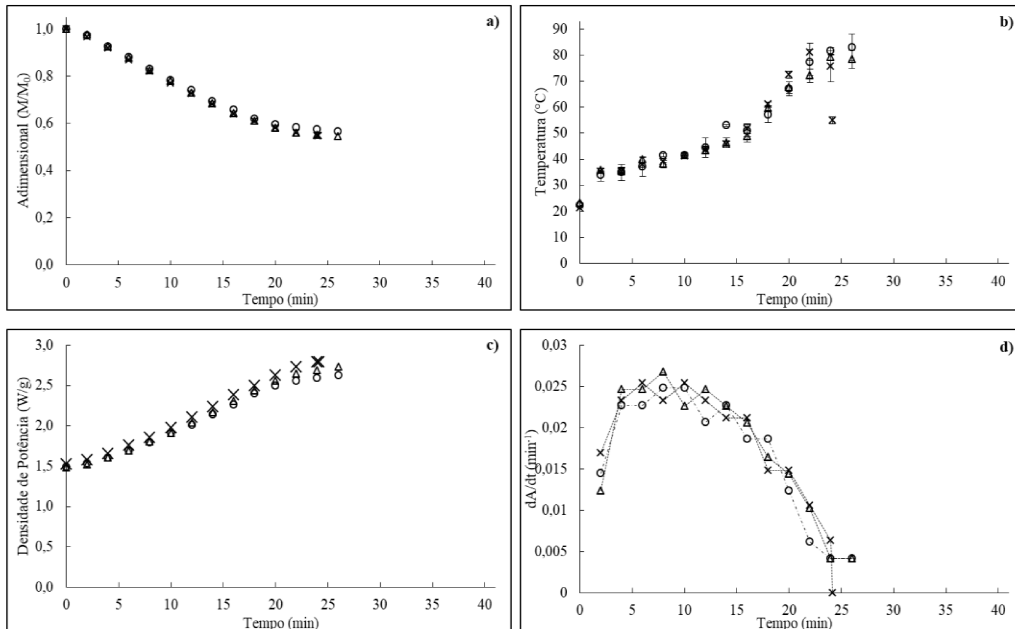
## APÊNDICE A – Cinéticas de secagem de queijo muçarela em MWVD

Figura 57 - MWVD de muçarela *light* a 20 °C, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



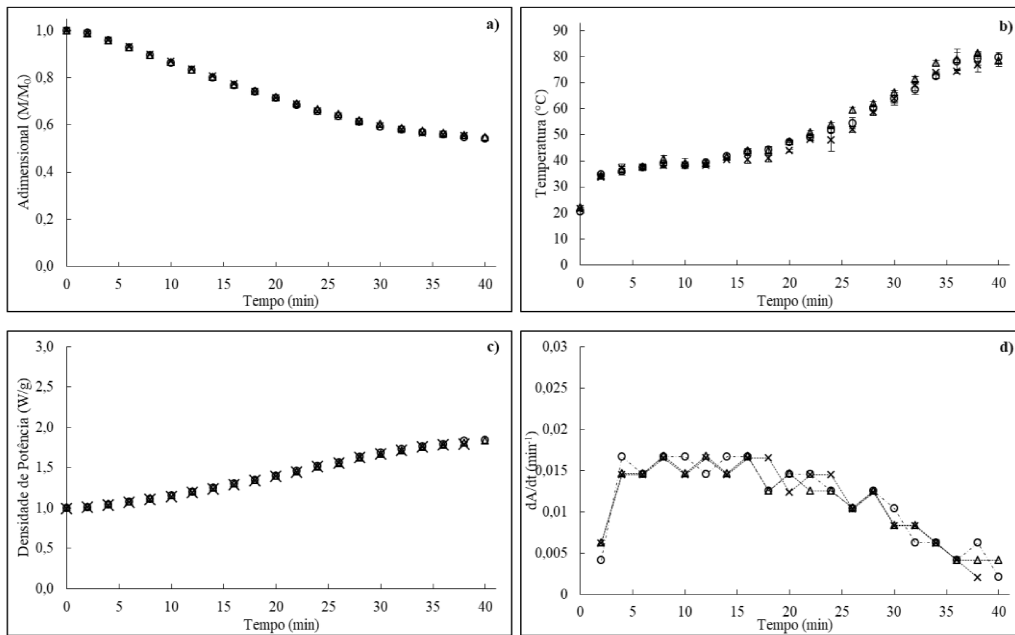
Fonte: Autor (2019).

Figura 58 - MWVD de muçarela *light* a 20 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



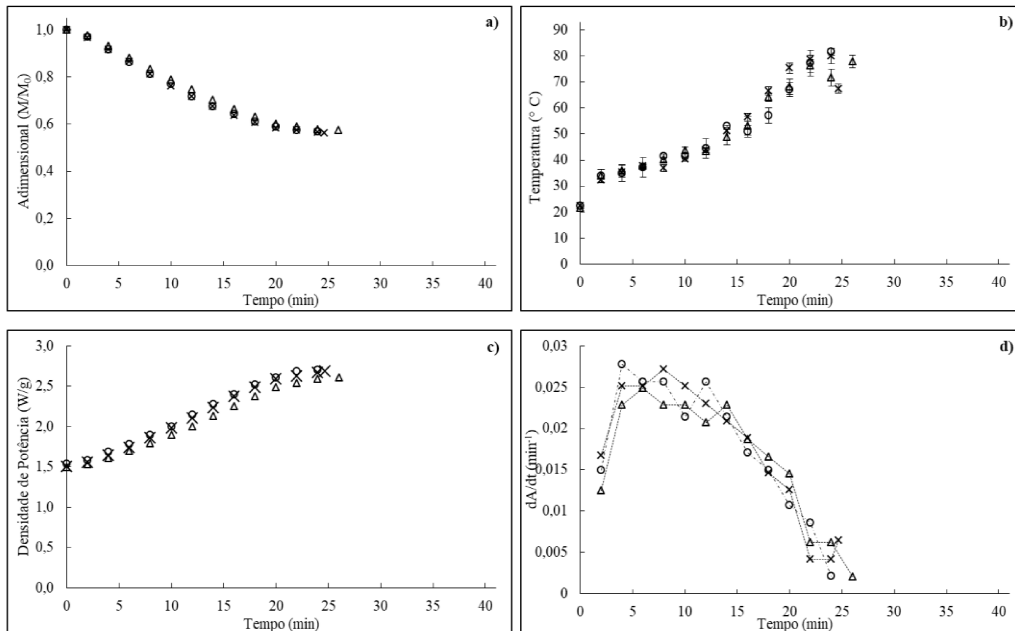
Fonte: Autor (2019).

Figura 59 - MWVD de muçarela *light* a 20 °C, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



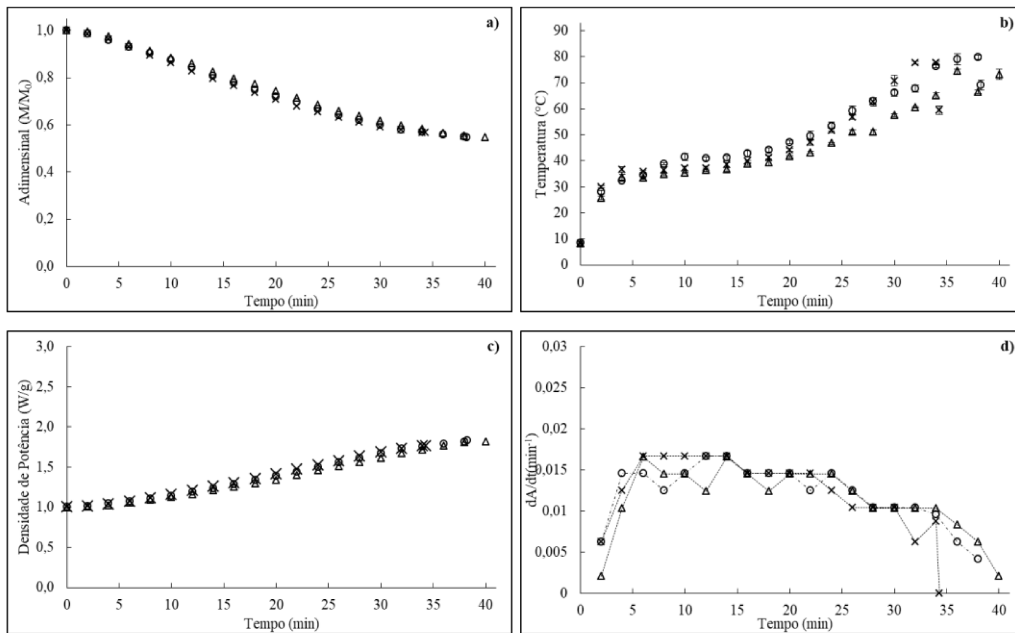
Fonte: Autor (2019).

Figura 60 - MWVD de muçarela *light* a 20 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



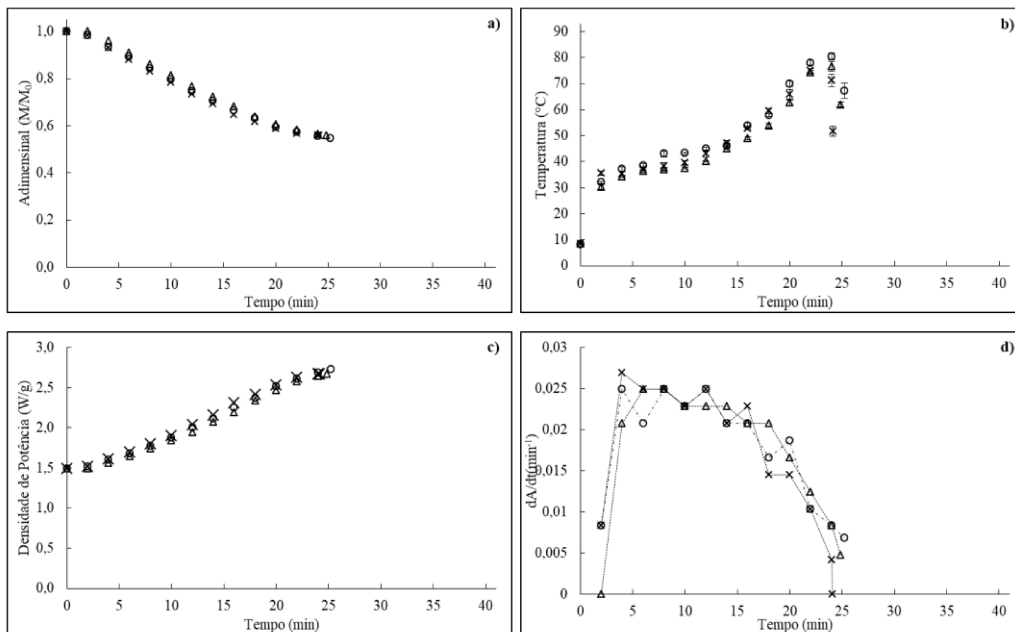
Fonte: Autor (2019).

Figura 61 - MWVD de muçarela *light* a 8 °C, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



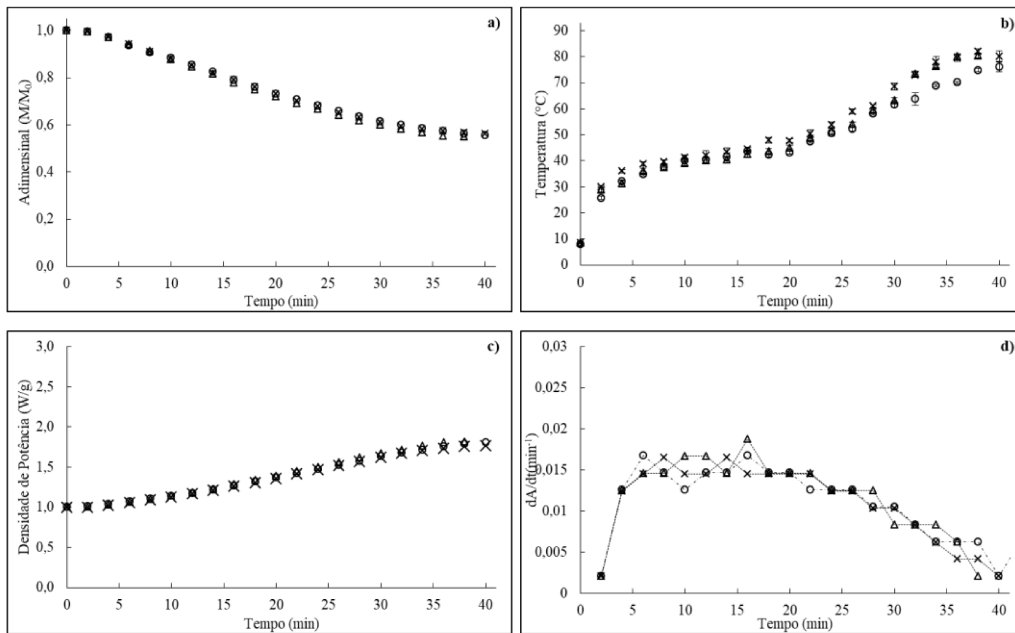
Fonte: Autor (2019).

Figura 62 - MWVD de muçarela *light* a 8 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



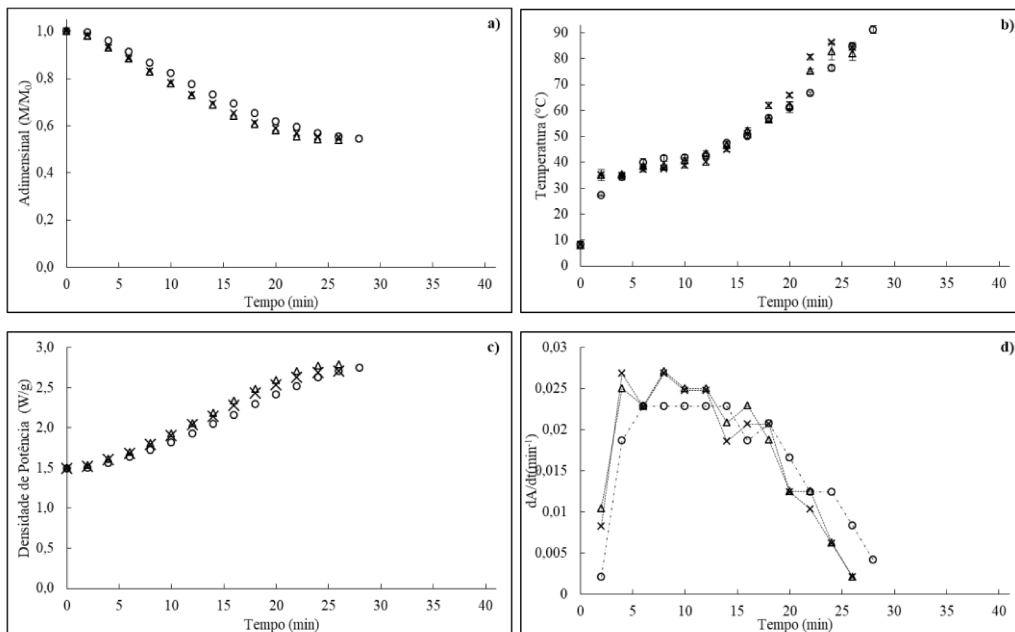
Fonte: Autor (2019).

Figura 63 - MWVD de muçarela *light* a 8 °C, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



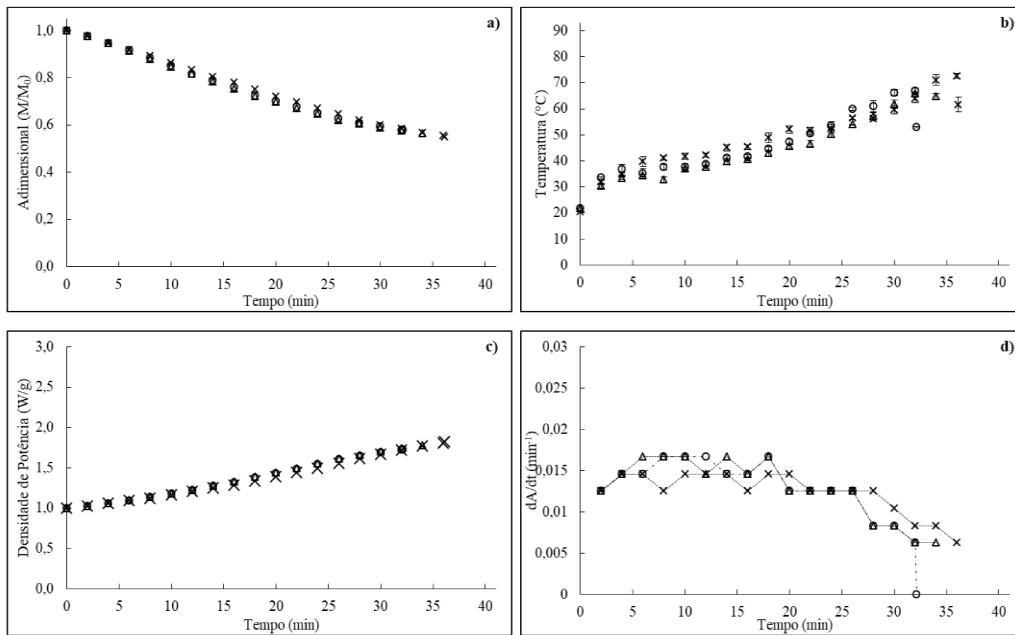
Fonte: Autor (2019).

Figura 64 - MWVD de muçarela *light* a 8 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



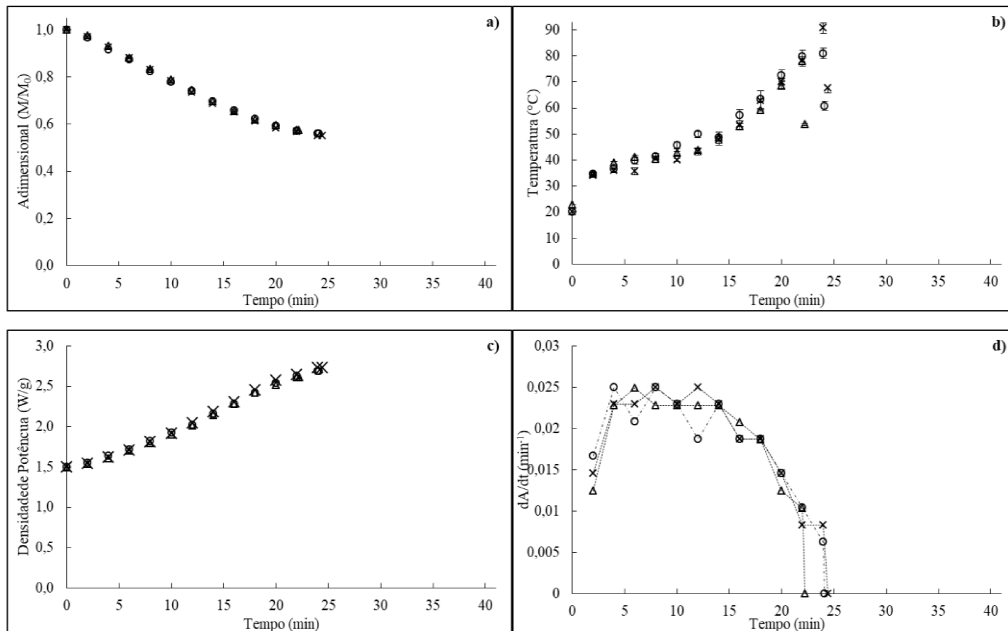
Fonte: Autor (2019).

Figura 65 - MWVD de muçarela integral a 20 °C, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



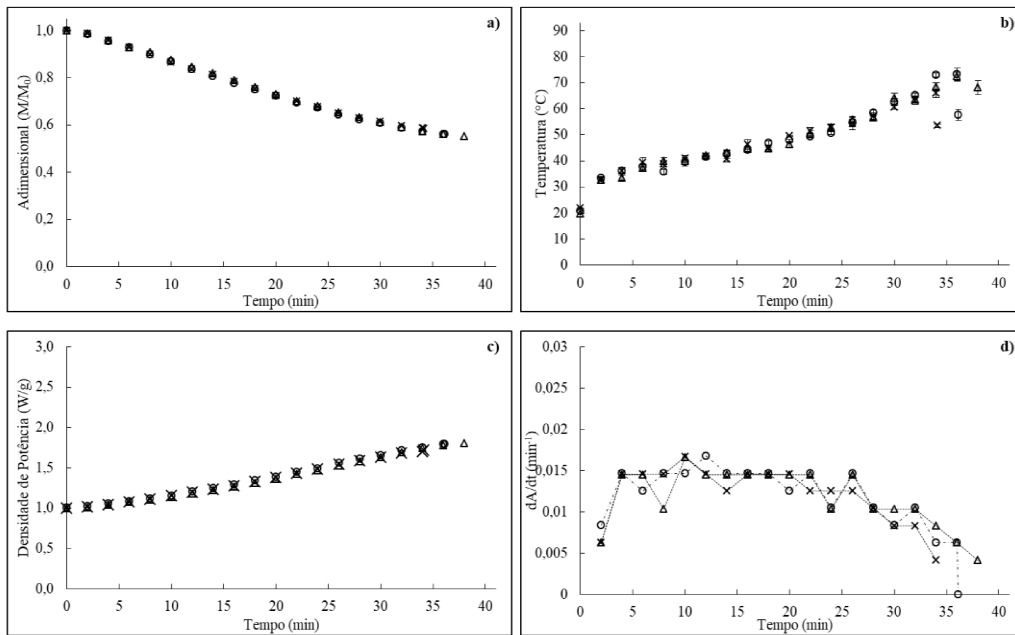
Fonte: Autor (2019).

Figura 66 - MWVD de muçarela integral a 20 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



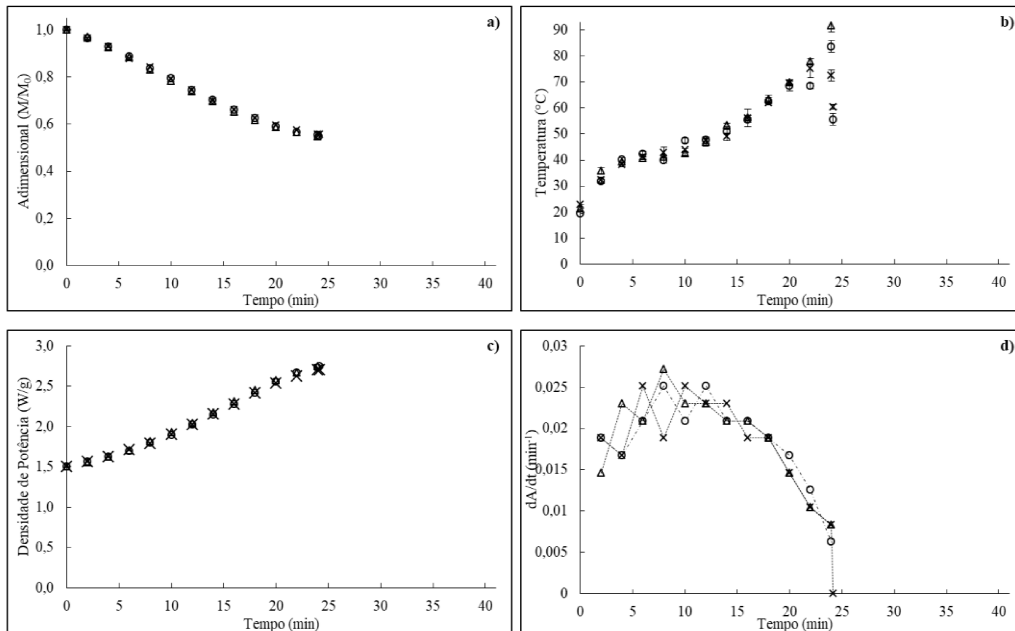
Fonte: Autor (2019).

Figura 67 - MWVD de muçarela integral a 20 °C, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



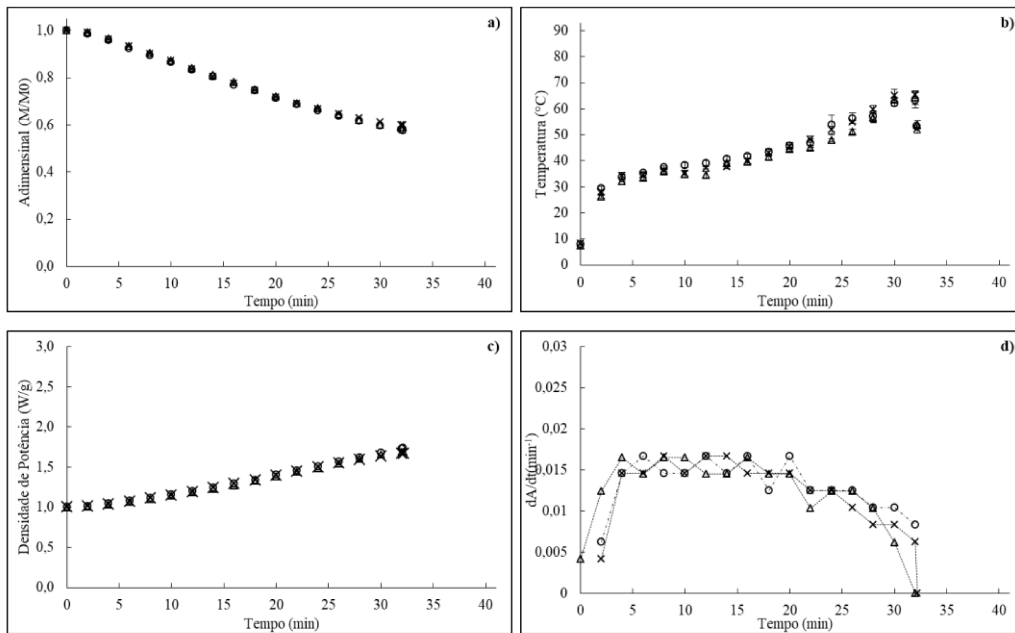
Fonte: Autor (2019).

Figura 68 - MWVD de muçarela integral a 20 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



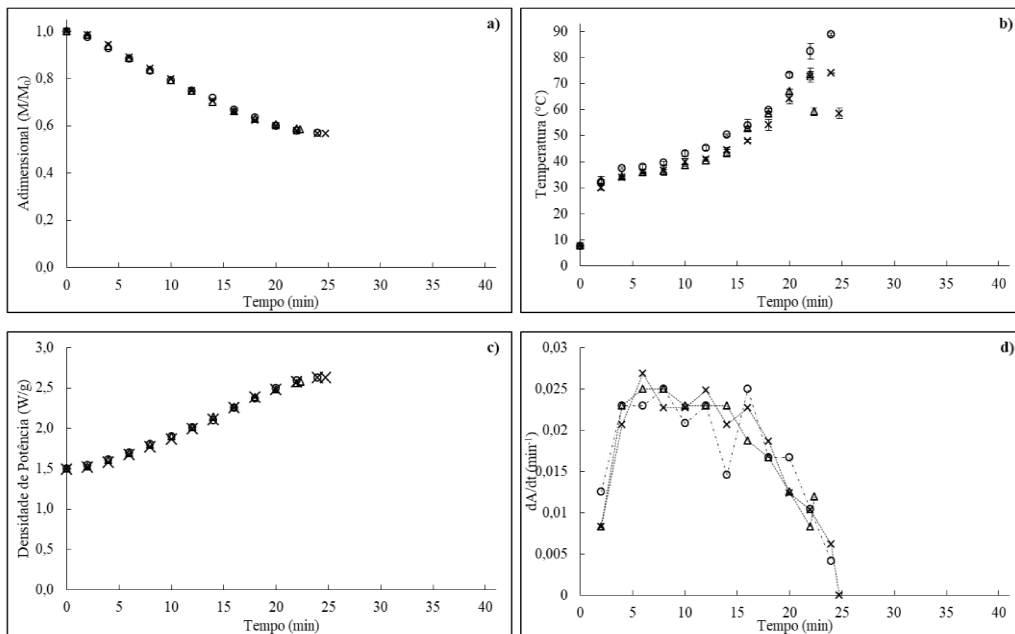
Fonte: Autor (2019).

Figura 69 - MWVD de muçarela integral a 8 °C, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



Fonte: Autor (2019).

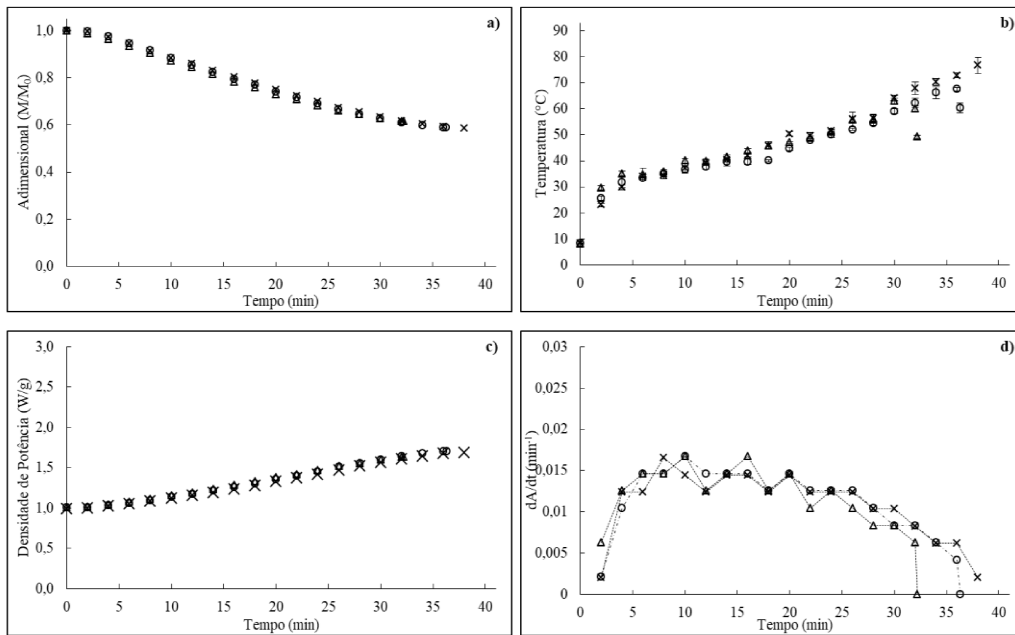
Figura 70 - MWVD de muçarela integral a 8 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 40 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



Fonte: Autor (2019).

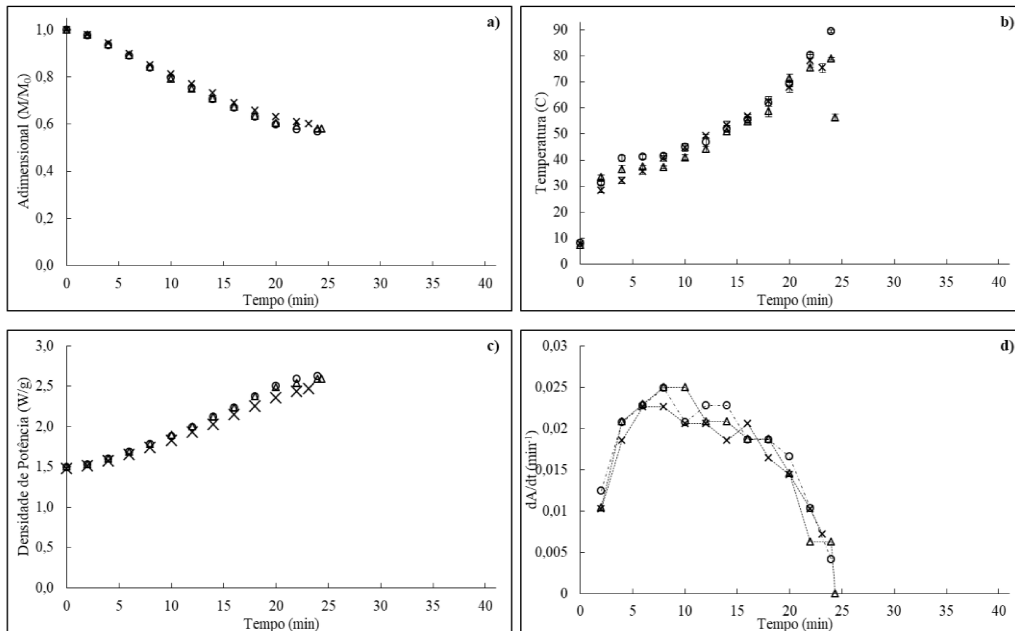


Figura 71 - MWVD de muçarela integral a 8 °C, 1,0 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



Fonte: Autor (2019).

Figura 72 - MWVD de muçarela integral a 8 °C, 1,5 W g<sup>-1</sup> e 60 mbar. a) Variação temporal da massa adimensional, b) Evolução temporal da temperatura do queijo, c) Variação temporal da densidade de potência, d) Determinação da taxa ao longo da secagem.



Fonte: Autor (2019).

