



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LAINY WALESKA DE BRITO SODRÉ

REDUÇÃO DE GORDURA ANIMAL EM HAMBÚRGUER DE CARNE CAPRINA  
UTILIZANDO HIDROGEL DE ÓLEO DE AÇAÍ

Maringá / PR - Brasil

2024

LAINY WALESKA DE BRITO SODRÉ

REDUÇÃO DE GORDURA ANIMAL EM HAMBÚRGUER DE  
CARNE CAPRINA UTILIZANDO HIDROGEL DE ÓLEO DE AÇAÍ

Defesa de Mestrado submetida à  
Universidade Estadual de Maringá, como  
requisito parcial necessários à obtenção  
do Grau de Mestre em Engenharia de  
Alimentos.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup> Diogo Francisco  
Rossoni

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andresa Carla  
Feihrmann

Maringá / PR - Brasil

2024

## FICHA CATALOGRÁFICA

### Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

S679r

Sodré, Lainy Waleska de Brito

Redução de gordura animal em hambúrguer de carne caprina utilizando hidrogel de óleo de açaí / Lainy Waleska de Brito Sodré. -- Maringá, PR, 2024.  
56 f. : il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Diogo Francisco Rossoni.

Coorientadora: Profa. Dra. Andresa Carla Feihrmann.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, 2024.

1. Hidrogel - Óleo de Açaí. 2. Hamburguer caprino. 3. Ácidos graxos. 4. Perfil lipídicos.  
I. Rossoni, Diogo Francisco , orient. II. Feihrmann, Andresa Carla , coorient. III.  
Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Ciências.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

CDD 23.ed. 664.92

**Rosana de Souza Costa de Oliveira - 9/1366**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Esta é a versão final da dissertação de Mestrado apresentada por Lainy Waleska de Brito Sodré perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos em 30 de julho de 2024.

COMISSÃO JULGADORA

Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Diogo Francisco Rossoni  
Orientador

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andresa Carla Feihrmann  
Co-orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lucineia Cestari  
Membro

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Grasielle Scaramal Madrona  
Membro

### *Dedicatória*

A Deus, pela força e sabedoria concedidas para superar os desafios ao longo desta jornada. Acredito que sua orientação foi fundamental para a realização deste trabalho. Dedico esta dissertação a minha mãe Ismailce Cano de Brito e minha avó Ruth Cano de Brito, cujo amor, apoio e sacrifício tornaram este sonho possível. Sem a fé inabalável de vocês em mim, eu não teria chegado até aqui. Muito obrigado por tudo.

## **Agradecimentos**

A conclusão deste trabalho não seria possível sem o apoio e a contribuição de diversas pessoas e instituições, às quais expresso minha profunda gratidão.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES)

Agradeço a Deus por me conceder a perseverança para concluir essa jornada.

Agradeço aos meus orientadores, Diogo Francisco Rossoni e Andresa Carla Feihmann, por sua orientação, paciência e incentivo contínuos. Suas valiosas sugestões e críticas foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PEG), agradeço pelas discussões enriquecedoras e pelo apoio ao longo desta jornada acadêmica. Em particular a professora Raquel Gomes Gutierrez pela colaboração e o compartilhamento de conhecimentos que foram essenciais neste estudo.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos (PEG) e servidores do programa, pelo suporte institucional e pelos recursos disponibilizados, que foram cruciais para a realização desta pesquisa.

Agradeço aos meus familiares, especialmente minha mãe Ismailce, avó Ruth, avô Ismael Fernandes de Brito e padrastrô Claudiney Souza Ribeiro. Aos meus irmãos Edwyn de Brito Sodré e Ian Daniel de Brito Cruz, que apesar da distância, sempre me incentivaram. Aos meus tios, em especial tia Irlene Renata Cano de Brito, que desde sempre me falava que poderíamos mudar a nossa realidade através da educação. A força e o carinho de todos vocês foram imprescindíveis para a conclusão desta dissertação.

Aos amigos, especialmente a minha amiga Kéthlyn Duarte Costa, que dividiu as conquistas e angústias desta jornada comigo. Agradeço pelo apoio emocional, compreensão e incentivo nos momentos mais desafiadores.

Um agradecimento especial ao meu namorado, Samuel do Amaral Gonçalves, por sua paciência, compreensão e amor incondicional. Seu apoio e encorajamento me deram a motivação necessária para seguir em frente.

Também gostaria de expressar minha gratidão aos colegas do grupo de pesquisa: Natallya Marques, Talita Campos, Marcos Matiucci e Annecler Marins, que gentilmente dedicaram seu tempo e compartilharam suas experiências, contribuindo de maneira significativa e valiosa para os resultados deste trabalho.

A todos, minha sincera gratidão.

# **REDUÇÃO DE GORDURA ANIMAL EM HAMBÚRGUER DE CARNE CAPRINA UTILIZANDO HIDROGEL DE ÓLEO DE AÇAÍ**

**AUTORA: Lainy Waleska de Brito Sodré**

**ORIENTADOR: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Diogo Francisco Rossoni**

**CO-ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andresa Carla Feihmann**

Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL 13 – 07; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil, defendida em 30 de julho de 2024. 56 p.

## **RESUMO**

Os processos de reformulação de produtos cárneos vem sendo objeto de estudo há muitos anos, visto que o consumidor atualmente tem sido mais criterioso e tem preferido alimentos mais saudáveis. No entanto essas novas alternativas além de conferirem menores impactos a saúde do consumidor, devem atender aos requisitos tecnológicos dos produtos aos quais são aplicados. À vista disso, esse trabalho tem por objetivo produzir um gel à base de óleo de açaí, goma guar e polisorbato 80 para substituir a gordura animal (25%, 50%, 75% e 100%) como uma alternativa com perfil lipídico mais saudável em hambúrgueres de carne caprina. Foram avaliados os efeitos da substituição de gordura nas características químicas (composição centesimal dos hambúrgueres e das matérias-primas, oxidação de lipídeos e proteínas, colorimetria, perfil de ácidos graxos, pH) e físicas (perfil de textura, análise reológica, perda por cozimento, atividade de água ( $A_w$ ), calorimetria de varredura diferencial) dos hambúrgueres durante os dias 0, 30, 60, 90 e 120 de armazenamento em  $-18^{\circ}\text{C}$ . Os resultados obtidos pelos hambúrgueres reformulados foram comparados a uma amostra controle utilizando 100% toucinho. A adição de hidrogel de óleo de açaí conferiu mastigabilidade e dureza menores que o controle. Na análise de oxidação proteica, as amostras apresentaram redução significativa de conteúdo de carbonilas do dia 0 ao final de 120 dias de armazenamento (com exceção da T50, em que houve aumento) e embora os valores de TBARS aumentaram durante o intervalo em análise, os hambúrgueres contendo hidrogel

apresentaram taxas de oxidação lipídicas significativamente ( $p > 0,05$ ) menores quando comparadas a amostra controle. Em relação a cor, os hambúrgueres reformulados não expressaram diferenças significativas em todos os parâmetros ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ). Houve redução do pH dos tratamentos ao final do período de 120 dias, com exceção do controle e em relação a atividade de água ( $A_w$ ) os tratamentos T75 e T100 apresentaram redução significativa do parâmetro ( $p > 0,05$ ). A contagem de coliformes termotolerantes ( $45^\circ\text{C}$ ) variou entre  $<3 \times 10^1$  a  $9,3 \times 10^1$  NMP/g e não foi detectada a presença de *Salmonella spp* nas amostras do estudo. Os valores para bactérias lácticas viáveis variaram entre 5,00 – 6,93 log UFC/g (0 dia) e 5,48 – 6,81 log UFC/g (120 dias), sendo notado que no tratamento T100 não houve o desenvolvimento de colônias. Na análise sensorial, as propriedades dos hambúrgueres caprinos não foram influenciadas pela reformulação com hidrogel, não havendo, portanto, diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os hambúrgueres reformulados e o controle, para os atributos de sabor, textura, odor, cor e a impressão global. Em síntese, a reformulação utilizando o hidrogel de óleo de açaí foi capaz de alterar o perfil de ácidos graxos dos tratamentos quando comparados ao controle, reduzindo o percentual de valores totais de ácidos graxos saturados (SFA) e aumentando os de ácidos graxos poli-insaturados (PUFA), melhorando dessa maneira o perfil lipídico do hambúrguer.

**Palavras – chave:** Emulsão de hidrogel, Substituição de gordura saturada e Hambúrguer.

# **REDUÇÃO DE GORDURA ANIMAL EM HAMBÚRGUER DE CARNE CAPRINA UTILIZANDO HIDROGEL DE ÓLEO DE AÇAÍ**

**AUTORA: Lainy Waleska de Brito Sodré**

**ORIENTADOR: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Diogo Francisco Rossoni**

**CO-ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Andresa Carla Feihrmann**

Disserta o de Mestrado; Programa de Pós-Gradua o em Engenharia de Alimentos; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL 13 – 07; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil, defendida em 30 de julho de 2024. 55 p.

## **ABSTRACT**

Processes for reformulating meat products have been the subject of study for many years, as consumers are currently more discerning and prefer healthier foods. However, these new alternatives, in addition to having lower impacts on consumer health, must meet the technological requirements of the products to which they are applied. In view of this, this work aims to produce a gel based on a a  oil, guar gum and polysorbate 80 to replace animal fat (25%, 50%, 75% and 100%) as an alternative with a healthier lipid profile in goat meat burgers. The effects of fat replacement on chemical characteristics (proximate composition of burgers and raw materials, lipid and protein oxidation, colorimetry, fatty acid profile, pH) and physical characteristics (texture profile, rheological analysis, cooking loss) were evaluated. , water activity ( $A_w$ ), differential scanning calorimetry) of the burgers during days 0, 30, 60, 90 and 120 of storage at  $-18^\circ\text{C}$ . The results obtained by the reformulated burgers were compared to a control sample using 100% pork backfat. The addition of a a  oil hydrogel provided lower chewability and hardness than the control. In the protein oxidation analysis, the samples showed a significant reduction in carbonyl content from day 0 to the end of 120 days of storage (with the exception of T50, in which there was an increase) and although the TBARS values increased during the interval under analysis, the burgers containing hydrogel showed significantly ( $p > 0.05$ ) lower lipid oxidation rates when compared to the control sample. Regarding color, the reformulated hamburgers did not express significant differences in all parameters ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ). There was a reduction in the pH of the treatments at the end of the 120-day

period, with the exception of the control and in relation to water activity ( $A_w$ ) treatments T75 and T100 showed a significant reduction in the parameter ( $p > 0.05$ ). The count of thermotolerant coliforms ( $45^\circ\text{C}$ ) ranged from  $<3 \times 10^1$  to  $9.3 \times 10^1$  MPN/g and the presence of *Salmonella* spp was not detected in the study samples. The values for viable lactic acid bacteria varied between 5.00 – 6.93 log CFU/g (0 day) and 5.48 – 6.81 log CFU/g (120 days), and it was noted that in the T100 treatment there was no development of colonies. In the sensory analysis, the properties of the goat burgers were not influenced by the reformulation with hydrogel, therefore, there was no statistical difference ( $p > 0.05$ ) between the reformulated burgers and the control, for the attributes of flavor, texture, odor, color and the overall impression. In summary, the reformulation using açai oil hydrogel was able to change the fatty acid profile of the treatments when compared to the control, reducing the percentage of total values of saturated fatty acids (SFA) and increasing those of polyunsaturated fatty acids (PUFA), thus improving the lipid profile of the burger.

**Key – words:** Hydrogel emulsion, Saturated fat substitution and Hamburger.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise de composição centesimal dos hambúrgueres com adição de hidrogel óleo de açaí. ....	34
Tabela 2 – pH e Aw .....	35
Tabela 3 – Oxidação lipídica (mg malonaldeído/kg de carne) de hambúrgueres com substituição de gordura armazenados por 120 dias. ....	36
Tabela 4 - Oxidação proteica (nmol carbonila/mg proteína) de hambúrgueres com substituição de gordura armazenados por 120 dias.....	38
Tabela 5 – Cor instrumental .....	39
Tabela 6 - Efeito da reformulação no perfil de ácidos graxos do hambúrguer de carne de cabra (g/100 g de ácidos graxos totais).....	41
Tabela 7 – Análise de tpa dos hambúrgueres .....	43
Tabela 8 - Resultados para coliformes termotolerantes .....	47

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reologia contínua do hidrogel de óleo de açaí .....	28
Figura 2 - Viscosidade aparente do hidrogel .....	29
Figura 3 - Módulo de armazenamento ou elástico ( $G'$ ) e módulo de perda ou viscoso ( $G''$ ) em função da frequência ( $f$ ). .....	30
Figura 4 - Efeito da variação de temperatura (20 a 80°C) sobre o módulo de armazenamento dinâmico ( $G'$ ) e viscoelástico ( $G''$ ).....	31
Figura 5 - Curvas de fusão por calorimetria exploratória diferencial (dsc).....	32
Figura 6 - Análise sensorial dos hambúrgueres reformulados.....	48

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	15
LISTA DE FIGURAS .....	16
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. OBJETIVO.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos .....	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
3.1 Óleo de açaí.....	17
3.2 Hidrogel.....	18
3.3 Carne caprina.....	19
3.4 Hambúrguer .....	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1 Local e período do experimento.....	20
4.2 Preparação da emulsão de óleo de açaí.....	21
4.3 Preparação do hambúrguer .....	21
4.4 Análises do hidrogel de óleo de açaí .....	21
4.4.1 Reologia.....	21
4.4.2 Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC .....	22
4.5 Análise de composição centesimal .....	22
4.5.1 Determinação de umidade .....	22
4.5.2 Determinação do teor de cinzas.....	22
4.5.3 Determinação do teor de proteínas.....	23
4.5.4 Determinação do teor de lipídios.....	23
4.6 Análises físico-químicas.....	23
4.6.1 Atividade de água (Aw) e Potencial hidrogeniônico (pH) do hambúrguer .....	23
4.6.2 Oxidação lipídica (TBARS) .....	23
4.6.3 Oxidação de proteína: conteúdo de proteínas carboniladas .....	23
4.6.4 Cor Instrumental.....	24
4.6.5 Perfil de ácidos graxos .....	24
4.6.6 Perda por cozimento .....	24

4.6.7 Perfil de textura .....	25
4.7 Análises microbiológicas .....	25
4.7.1 Coliformes termotolerantes .....	25
4.7.2 Determinação de <i>Salmonella spp.</i> .....	26
4.7.3 Detecção de bactérias lácticas viáveis .....	26
5. ANÁLISE SENSORIAL.....	26
6. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	27
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
7.1 Reologia do hidrogel .....	28
7.2 Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC .....	32
7.3 Análise de composição centesimal .....	33
7.4 Atividade de água (Aw) e Potencial hidrogeniônico (pH).....	34
7.5 Oxidação lipídica (TBARS) de hambúrgueres .....	36
7.6 Oxidação Proteica.....	37
7.7 Cor Instrumental.....	39
7.8 Perfil de ácidos graxos dos hambúrgueres .....	40
7.9 Perda por cozimento .....	43
7.10 Análise de perfil de textura (TPA) .....	43
7.11 Análises Microbiológicas.....	47
8. ANÁLISE SENSORIAL.....	48
9. CONCLUSÃO.....	49
REFERÊNCIAS.....	51

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento populacional fez com que as pessoas tivessem os seus padrões de consumo modificados ao longo do tempo e isso inclui o aumento no consumo de produtos cárneos (SYED, BANERJEE, SARKAR, 2020). No entanto, o consumo prolongado de gorduras trans e saturadas pode ocasionar o aparecimento de doenças cardiovasculares, coronarianas, aterosclerose, obesidade e diabetes tipo II (MARTINS, *et al.*, 2018).

As novas técnicas de reformulação de produtos cárneos são respostas à procura dos consumidores por alimentos mais saudáveis. A diminuição de sódio, gordura de origem animal e a utilização de ingredientes naturais em lugar dos sintéticos, tem sido ao longo do tempo um ponto de estudo importante para os pesquisadores. No entanto, essas novas possibilidades devem se adequar as legislações de cada país (RIOS-MERA *et al.*, 2021).

A carne de cabra vem ganhando espaço no cenário de países como os Estados Unidos, devido à sua menor taxa de gordura em comparação com as carnes suínas, bovinas e de cordeiro. Isto pode estar relacionado também aos imigrantes que consomem tipicamente essa carne e em decorrência disso, tanto a importação quanto a produção interna de carne de cabra cresceram nos Estados Unidos (APHIS, 2012 *apud.* DEGALA *et al.*, 2018). Essa proteína é amplamente produzida em países em desenvolvimento, principalmente África e Ásia, entretanto não é exportada, pois serve para consumo próprio. É considerada exótica em países desenvolvidos e predileta nos países muçulmanos (GAWAT *et al.*, 2023).

Em dietas com restrição da carne suína, como por exemplo de judeus e muçulmanos, a carne de cabra é uma opção mais saudável, fazendo com que a carne caprina seja introduzida em diferentes mercados. À vista disso, é essencial que haja, como consequência, mais pesquisas sobre produtos processados provenientes de carne caprina, maior controle dos processos que envolvem essa proteína, análises a respeito da segurança alimentar e desenvolvimento de novos produtos à base de carne caprina (TEIXEIRA *et al.*, 2021).

Inúmeras investigações afirmam que a gordura animal deve ser reduzida na dieta porque é rica em ácidos graxos saturados (SFA), o que pode aumentar a ocorrência de distúrbios fisiológicos específicos, como níveis elevados de colesterol no sangue, doenças cardiovasculares e obesidade (GUO et. al, 2022). Hooper et al., (2020) confirma que a atenuação da ingestão de ácidos graxos saturados tem resultados benéficos na saúde humana, como a redução de ocorrências de doenças cardiovasculares.

Nesse contexto, o presente estudo teve como finalidade o desenvolvimento de produto à base de carne caprina, além da substituição de gordura animal por hidrogel derivado de óleo vegetal.

## 2. OBJETIVO

### 2.1 Objetivo geral

Esse trabalho teve por objetivo produzir um hidrogel à base de óleo de açaí a fim de substituir a gordura animal em percentuais de 25%, 50%, 75% e 100%, como uma alternativa mais saudável em hambúrgueres de carne caprina.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Elaborar hidrogel a base de óleo de açaí
- b) Análises no hidrogel:
  - a. Reologia
  - b. Calorimetria de varredura diferencial (DSC)
- c) Produção de hambúrguer de carne caprina adicionados de hidrogel
- d) Análises químicas:
  - a. Composição centesimal dos hambúrgueres
  - b. Oxidação de lipídeos e proteínas
  - c. Colorimetria
  - d. Analisar o perfil de ácidos graxos
  - e. Potencial Hidrogeniônico (pH)
- e) Análises físicas:
  - a. Perfil de textura
  - b. Análise de perda por cozimento
  - c. Atividade de água (Aw)
- f) Análises microbiológicas
- g) Análise sensorial
- h) Avaliação estatística dos dados.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 Óleo de açaí

O açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) é um fruto de coloração roxo escura quando maduros, possuem forma globular, oriundo de uma palmácea e são comuns na região norte da América do Sul, incluindo a Amazônia brasileira e principalmente os estados do Pará e Manaus (BARBOSA *et al.*, 2022).

Atualmente, a polpa do açaí é utilizada pelo mercado em diversos produtos, como sorvetes, doces, sucos, suplementos alimentares e elaborações, sendo apontada por diversos estudos como detentora de propriedades antioxidantes (DE ANDRADE SOARES *et al.*, 2020). Pesquisas têm observado ainda que além da fruta, o óleo de açaí (*Euterpe oleracea*) é um novo princípio ativo, originário da Floresta Amazônica, que oferece inúmeros benefícios como agente antioxidante e antimicrobiano (DA SILVA *et al.*, 2024).

A capacidade antioxidante do açaí se deve aos polifenóis que possui em sua composição, tendo quantidades significativas de antioxidantes lipofílicos. O óleo de açaí é uma das formas em que apresenta mais de 70% de ácidos graxos insaturados de boa qualidade, o que mostra ser superior aos valores em óleos comumente comercializados (milho e soja) (ADMASSIE *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2021.).

### **3.2 Hidrogel**

Os compostos coloidais podem ser produzidos com as finalidades de proteger, transportar, encapsular e/ou disponibilizar compostos biologicamente ativos ou funcionais como, por exemplo, antioxidantes, enzimas, antimicrobianos, entre outros (SAQIB *et al.*, 2022). Um sistema coloidal é caracterizado pela presença de uma fase dispersa, que, nesse caso, pode ser um óleo vegetal (como azeite de oliva ou óleo de girassol), e uma fase contínua, composta por biopolímeros como gelatina, amido ou até mesmo proteínas vegetais. Essa estrutura coloidal é crucial para a funcionalidade dos hidrogéis, pois é capaz de formar uma rede tridimensional que retém grandes quantidades de água ou óleo (Kasaiyan *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022).

Os hidrocoloides convencionais são a pectina, goma guar, amidos modificados, celuloses modificadas, goma de alfarroba e manana konjac, que são provenientes de plantas. Além disso, há gomas de exsudato, como goma ghatti, arábica e tragacanto. A aplicação dos hidrocoloides têm sido evidenciada no âmbito alimentar, por serem seguros, conduzir diversos compostos bioativos e principalmente, associar a propriedades físico-químicas e sensoriais dos alimentos (GOFF; GUO, 2019).

A estrutura coloidal dos hidrogéis oferece uma série de vantagens, sendo utilizados não apenas para melhorar a textura e a suculência dos produtos

cárneos, mas também para aumentar sua funcionalidade nutricional. A encapsulação de antioxidantes dentro da rede tridimensional dos hidrogéis contribui significativamente para a estabilidade oxidativa, que é especialmente importante em produtos de baixo teor de gordura, onde a ausência de gordura animal pode aumentar a ocorrência de oxidação lipídica (Palamutoğlu et al., 2024).

### **3.3 Carne caprina**

A carne é a proteína de fonte animal mais consumida mundialmente e apesar de ter sido associada a alguns problemas de saúde, a carne segue sendo a principal e melhor fonte de proteínas, vitaminas do grupo B e minerais essenciais (BELLUCCI et al., 2022).

A presença significativa de gordura em produtos cárneos processados, como hambúrgueres, muitas vezes resulta da adição de frações de gordura suína. No entanto, uma alternativa mais saudável pode ser encontrada na carne proveniente de caprinos, que se destaca por seu teor reduzido de gordura e calorias em comparação com outras carnes vermelhas. Pesquisas destacam que a carne de cabras tende a apresentar um teor mais baixo de gordura saturada, proporcionando benefícios potenciais para a saúde cardiovascular (TEIXEIRA et al., 2021).

Apesar desses benefícios, a adoção mais ampla da carne de caprinos como fonte de proteína ainda enfrenta desafios. Os consumidores têm demonstrado interesse crescente em alternativas de proteína animal, incluindo aquelas provenientes de animais menos convencionais. No entanto, a carne de caprinos enfrenta limitações devido à sua baixa disponibilidade e à relativa resistência dos consumidores em relação aos seus aspectos sensoriais. Essa dinâmica destaca a necessidade de maior conscientização e aceitação para promover o consumo dessa opção proteica mais saudável (RESOSEMITO et al., 2021)

### **3.4 Hambúrguer**

Devido à mudança no estilo de vida humano, nota-se uma crescente demanda por alimentos de fácil preparo, como por exemplo fast-foods, com a utilização principal de carne bovina em hambúrgueres. Pesquisas recentes têm

focado em cumprir essas demandas por meio da produção de hambúrgueres com possíveis benefícios à saúde, considerando as necessidades dos consumidores e as diretrizes nutricionais de organizações internacionais. Isso tem sido alcançado através da empregabilidade de ingredientes funcionais e utilização de substitutos de gordura (Domínguez *et al.*, 2021).

Os hambúrgueres são produtos cárneos com bastante consumo mundialmente, principalmente por apresentar boas características sensoriais e rápida preparação (Rios-Mera 2019). No entanto, em virtude do seu alto teor de gordura animal (15 a 35%), pode afetar consideravelmente a saúde da população (DE LIMA GUTERRES *et al.*, 2023; HECK *et al.*, 2019).

Segundo a Portaria Nº 724, de 23 de dezembro de 2022, a qual dispõe sobre o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do hambúrguer:

Entende-se por hambúrguer, o produto cárneo industrializado obtido da carne moída dos animais de açougue, adicionado ou não de tecido adiposo e ingredientes, moldado na forma de disco ou na forma oval, e submetido a processo tecnológico adequado (BRASIL, 2022).

A legislação define ainda que o hambúrguer pode conter ingredientes opcionais, sendo a gordura vegetal citada como um desses componentes. Ademais, pode ainda se apresentar no estado cru, cozido, congelado ou resfriado (BRASIL, 2022).

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Local e período do experimento**

Os experimentos foram conduzidos entre os meses de fevereiro a dezembro de 2023, nas dependências da Universidade Estadual de Maringá e dentre as matérias-primas utilizadas nesse estudo, o toucinho foi adquirido no comércio local do município de Maringá/PR e o óleo de açaí (Marca Santo Óleo) adquirido do fabricante. As carnes utilizadas foram de cabritos cruzados ½Boer-Saanen abatidos com média de 188 dias (+ ou - 6 meses) peso vivo de 32 ± 2,015 kg, provenientes da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Maringá-PR.

## **4.2 Preparação da emulsão de óleo de açaí**

O hidrogel foi preparado seguindo o método descrito por Heck *et al.*, (2019) com algumas modificações. As emulsões foram preparadas misturando as fases oleosa e aquosa. Na fase oleosa se utilizou-se o óleo de açaí (25%) e polissorbato 80 (0,3%), realizando-se agitação por 1 minuto em agitador. Já para a fase aquosa foi utilizada a água destilada (69,7%) e goma guar (Marca Kerry) (5%), seguindo para a homogeneização durante 1 minuto. Após, a fase oleosa foi adicionada a aquosa e homogeneizada por mais dois minutos e transferido ao banho de aquecimento, onde permaneceu por 20 minutos a 80 °C sob agitação constante.

## **4.3 Preparação do hambúrguer**

Utilizou-se na elaboração dos hambúrgueres os componentes: carne caprina, toucinho suíno e sal, sendo todos adquiridos em comércio local da cidade de Maringá – PR. Foram desenvolvidos cinco tratamentos, sendo o controle (CONT) contendo 78,5% de carne, 20% de toucinho e 1,5% sal. Nos demais tratamentos houve a substituição do toucinho respectivamente em 25% (T25), 50% (T50), 75% (T75) e 100% (T100). Foram elaborados 180 hambúrgueres, sendo 36 hambúrgueres para cada tratamento, cinco tratamentos, três pontos de amostragem e três replicações diferentes. Os hambúrgueres foram embalados em filme de PVC transparente e armazenados em temperatura média de - 18 °C.

## **4.4 Análises do hidrogel de óleo de açaí**

### **4.4.1 Reologia**

Os parâmetros reológicos foram obtidos em triplicata na temperatura de 25°C, utilizando um reômetro da marca THERMO SCIENTÍFIC, modelo MARS III. Para a reologia contínua foram utilizados gradientes de cisalhamento de 0 até 2000 s<sup>-1</sup>, sendo que foi 150 segundos para a curva de subida e 150 segundos para a curva de descida, com a geometria cone placa C60/1° e 0,5 ml de amostra obtendo assim curvas ascendentes e descendentes. A taxa de deformação foi determinada usando-se o programa computacional RheoWin Data Manager da Thermo.

Para as propriedades reológicas analisadas por meio de experimentos oscilatórios, utilizou-se geometria cone-placa, em que a geometria empregada nas análises foi a C35/2°, ou seja, 35 mm de diâmetro e cone com 2°. Os espectros mecânicos foram registrados em uma ampla faixa de frequência, variando de 0,001 a 10 Hz. A região viscoelástica linear (LVR) foi determinada por meio do aumento da tensão oscilatória (torque *sweep*) a uma frequência fixa de 10 Hz, à temperatura ambiente (25°C). As amostras foram cuidadosamente aplicadas a placa inferior do reômetro, assegurando o mínimo cisalhamento da amostra e permitindo um tempo de repouso (relaxamento da tensão introduzida antes da análise) de 1 minuto antes de cada análise. O módulo elástico ( $G'$ ) e o módulo viscoso ou de perda ( $G''$ ), foram determinadas utilizando o programa RheoWin 4.10.0000 (Haake®).

#### **4.4.2 Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC**

As amostras de hidrogel foram submetidas à análise por calorimetria diferencial de varredura (DSC) utilizando um analisador térmico (TA INSTRUMENTS, MODELO DSC V4.7A). O experimento foi conduzido com uma taxa de aquecimento de 5 °C/min, em uma atmosfera inerte de Nitrogênio a uma taxa de fluxo de 50 mL/min, dentro de uma faixa de temperatura de 0-350°C. A massa de amostra de hidrogel empregada foi de 10-15 mg.

### **4.5 Análise de composição centesimal**

#### **4.5.1 Determinação de umidade**

A determinação da umidade foi realizada por gravimetria, segundo a AOAC-920.151 (1997).

#### **4.5.2 Determinação do teor de cinzas**

Para a análise de resíduo mineral fixo (cinzas) empregou-se a gravimetria conforme a AOAC (AOAC-923.03, 1997).

#### **4.5.3 Determinação do teor de proteínas**

A análise de proteína foi realizada utilizando o método Kjeldahl (AOAC-926.86, 2005).

#### **4.5.4 Determinação do teor de lipídios**

A determinação do teor de lipídios seguiu o método de Bligh Dyer (1959).

### **4.6 Análises físico-químicas**

#### **4.6.1 Atividade de água (Aw) e Potencial hidrogeniônico (pH) do hambúrguer**

A análise de atividade de água (Aw) foi determinada em equipamento Aqualab 4TE (METER Group Inc., Pullman, EUA). O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado pelo phmetro Hanna (Hanna Instruments, Woonsocket, EUA). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

#### **4.6.2 Oxidação lipídica (TBARS)**

A análise de oxidação de lipídios foi determinada segundo o método de Raharjo et al. (1992) sendo realizada a triplicata de cada tratamento dos hambúrgueres crus. Os valores apresentados se encontram em miligrama de malonaldeído por quilograma de amostra.

#### **4.6.3 Oxidação de proteína: conteúdo de proteínas carboniladas**

Para avaliar a oxidação das proteínas, a formação de grupos carbonílicos, foi mensurada através do método que utiliza o reagente 2-4 dinitrofenilhidrazina (DNPH – Sigma Aldrich), conforme descrito por Levine et al. (1990). As leituras das amostras foram realizadas em espectrofotômetro Evolution™ 300 UV-VIS (Thermo Fisher Scientific™) no comprimento de onda de 370 nm. A concentração de grupos carbonilas foi determinada utilizando a equação de Lambert Berr ( $A = C \times b \times \epsilon$ ). Onde A é a diferença entre a absorvância da amostra e do controle, C é a concentração de PC, b é o caminho óptico e  $\epsilon$  é o coeficiente de extinção molar (22,000 mol/cm). Os resultados foram expressos como nmol de grupos carbonilas formados/mg de proteína.

#### **4.6.4 Cor Instrumental**

A cor dos hambúrgueres crus foi determinada utilizando um colorímetro Konica Minolta CR-400 (Minolta Optics Inc. Konica, Japão), em três diferentes pontos de cada amostra. Foram determinados os parâmetros de L\* (luminosidade), a\* (vermelho) e b\* (amarelo).

#### **4.6.5 Perfil de ácidos graxos**

Os lipídeos foram obtidos por meio do método Bligh e Dyer (1959); e o perfil de ácidos graxos dos hambúrgueres crus foi determinado por meio da esterificação dos lipídeos totais em cromatógrafo gasoso Agilent 7890A, fixado a um detector de massas (Agilent 5975C), passando através de uma coluna RT-x Wax Polietileno Glicol (30 m de comprimento x 0,25 mm de diâmetro interno). O gás de arraste utilizado foi o hidrogênio e o volume de injeção da amostra foi de 1 µL em uma proporção de divisão de 1:50. A análise se iniciou com a temperatura de 250°C para injetor e detector, sendo a temperatura da coluna 80°C, permanecendo por cerca de 2 min e após isso passado para 235°C por 10 min (a uma taxa de 4 °C/min). A determinação de cada ácido graxo foi realizada por meio da comparação dos fragmentos da amostra com a biblioteca NIST (MS Search versão 2.0). A análise foi realizada em triplicata e os resultados expressos em g/100 g de ácidos graxos.

#### **4.6.6 Perda por cozimento**

A perda por cozimento foi determinada pesando os hambúrgueres crus (dia 0) em balança analítica (Unibloc, PSC AUW220, Shimadzu). Em seguida estes foram assados em uma grelha elétrica (Grill Cadence Perfect Taste, Santa Catarina, Brasil), até atingirem uma temperatura interna de 80°C, que foi medida por um termômetro de espeto (HM-600, Highmed, São Paulo, Brasil). Durante o processo de cocção, os hambúrgueres foram virados a intervalos de aproximadamente 2,5 minutos para garantir um cozimento uniforme dos dois lados, sendo a distribuição de temperatura monitorada em diferentes pontos do hambúrguer para assegurar uma uniformidade térmica. A determinação ocorreu em triplicata e calculada conforme equação abaixo:

Perda de cozimento (%):  $\frac{\text{peso cru} - \text{peso cozido}}{\text{peso cru}} \times 100$

#### **4.6.7 Perfil de textura**

Para análise de perfil de textura os hambúrgueres foram assados até que o centro do hambúrguer atingisse 80 °C e posteriormente foram resfriados em temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C). O equipamento utilizado foi o TAXTplus - Texture Analyser - Stable Micro Systems com probe de 0,5 mm de diâmetro. Três diferentes pontos do hambúrguer foram testados em dois ciclos de compressões, separados por 5 s.

#### **4.7 Análises microbiológicas**

As análises microbiológicas foram conduzidas utilizando a metodologia da American Public Health Association - APHA (2001), no dia zero e após 120 dias de armazenamento.

##### **4.7.1 Coliformes termotolerantes**

A técnica utilizada foi a de Número Mais Provável (NMP). A princípio, foram pesadas 25 g de amostra de cada tratamento e adicionadas em erlenmeyers contendo 225 mL de água peptonada tamponada (1%) em cada, totalizando cinco. Em sequência, foram realizadas as diluições seriadas, em que de um erlenmeyer de 90 mL, foram retirados 10 mL da diluição anterior para a diluição seguinte, obtendo-se as diluições em concentrações de 10<sup>-2</sup> e 10<sup>-3</sup>. Seguidamente, são pipetadas alíquotas de 1 mL de cada diluição (10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup> e 10<sup>-3</sup>) e subdivididos em séries de três tubos de ensaio contendo 9 mL de caldo Lauril Sulfato Triptose (LST), com tubo de Durham invertido em cada tubo e incubados em estufa a 35 °C por 48 h. Após esse período, considera-se positivos para coliforme os tubos que apresentarem produção de gás e/ou turvação do meio.

Os tubos positivos, seguiram para a execução de testes confirmativos para coliformes termotolerantes. Nessa etapa, foram retiradas alíquotas dos tubos positivos de caldo LST e transferidas para três tubos contendo caldo verde brilhante bile (2%), com o auxílio de alças de inoculação calibrada (10 µl) e levados para estufa a 35 °C por 48 horas para determinar o NMP de coliformes.

#### **4.7.2 Determinação de *Salmonella spp.***

Inicialmente na etapa de enriquecimento em caldo não seletivo, foram preparadas previamente as soluções de água peptonada (estéreis em autoclave a 121 °C) e após resfriamento foram homogeneizadas com a amostra de hambúrguer de cada tratamento, sendo 225 mL de água peptonada e 25 g de amostra. Posteriormente, levadas à estufa para serem encubadas a 35 °C por 24 h. Após esse período, foi pipetada uma alíquota de 1 mL de caldo enriquecido para 9 mL de caldo de tetrionato e 1 mL de caldo enriquecido para 9 mL de Selenito Cistina, incubando ambos em 42 °C por 24 horas. Além disso, também utilizou-se 1 mL de caldo de enriquecimento juntamente com o caldo Rappaport Vassiliadis e incubado em estufa a 36 °C por 24 horas. Subsequentemente, após o período de incubação foi realizada a estriagem em placas contendo os meios seletivos de ágar Xilose Lisina Desoxicolato e ágar Verde Brilhante, passando então para a incubação com as placas em posição invertida a 37 °C durante 24 horas. O resultado foi denominado como ausência ou presença de *Salmonella spp.*

#### **4.7.3 Detecção de bactérias lácticas viáveis**

Pesou-se 25 g de amostra, adicionado em 225 mL de água peptonada e em seguida foram realizadas as diluições seriadas de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$ , em que cada uma continha 1 mL de amostra e 9 mL de água peptonada. Sequencialmente foram homogeneizadas e então retirou-se 1 mL de cada diluição contidas em tubos de ensaio e plaqueadas em placas estéreis e acrescentou-se em seguida o meio de cultura ágar de Man Rogosa & Sharpe (MRS) em temperatura ambiente. As placas foram incubadas em posição invertida e acondicionadas em jarro com atmosfera anaeróbia (almofadadas) a 35 °C durante 4 dias. O resultado foi expresso em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL).

### **5. ANÁLISE SENSORIAL**

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética (CAAE) da Universidade Estadual de Maringá, sob o protocolo N° 50178121.2.0000.0104. Inicialmente o Comitê de Ética da Universidade Estadual de Maringá (Paraná, Brasil) aprovou a ocorrência da análise sensorial para fins de pesquisa. A análise sensorial foi

composta por 9 provadores semi-treinados, familiarizados com o produto e com experiência prévia em avaliação sensorial, sendo 89% mulheres e 11% homens, com idades entre 22 a 47 anos. Os hambúrgueres foram elaborados conforme o item 4.3, grelhados em chapa até que o centro atingisse 80 °C, divididos em porções de 4 x 4 x 2,5 cm e oferecidos em bandejas com codificação aleatória de três dígitos. A análise sensorial foi realizada utilizando-se uma escala hedônica de 9 pontos, em que 9 representa “Gostei muitíssimo” e 1 representa “Desgostei muitíssimo”. Para a análise de intenção de compra utilizou-se uma escala de 5 pontos, onde 5 significava “Certamente compraria” e 1 “Certamente não compraria”. Cada provador recebeu água para limpar o palato entre as amostras.

## **6. ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA), Teste de Tukey a 5% de significância em ambiente R.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 Reologia do hidrogel

Encontram-se expressas nas figuras de 1 a 4 os gráficos de reologia contínua (figura 1), viscosidade (figura 2), módulos de armazenamento ( $G'$ ) e de perda de energia ( $G''$ ) (figura 3) e o efeito da variação de temperatura entre os dois módulos (figura 4) de hidrogel de óleo de açaí.

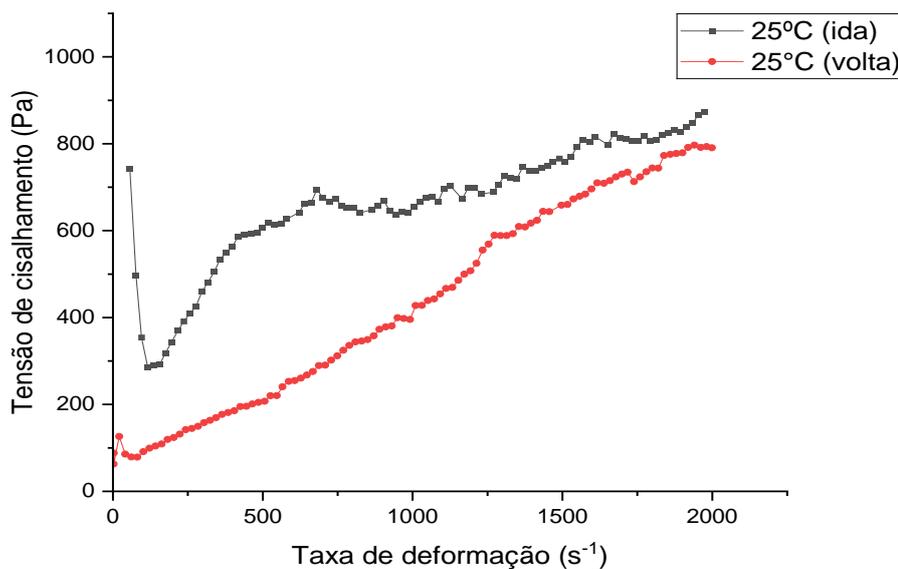


Figura 1: Reologia contínua do hidrogel de óleo de açaí

Constatou-se um comportamento não-newtoniano pseudoplástico através da análise da figura 1. Brydson (1981), conceitua que a pseudoplasticidade dar-se-á com frequência em suspensões, polímeros fundidos e soluções com baixas à moderadamente altas faixas de cisalhamento, sendo este um fenômeno que não depende do tempo.

A tixotropia, igualmente observada no hidrogel, de acordo com Navarro (1989), está relacionada com as perturbações nas interações moleculares, que promove uma destruição gradual da “estrutura” formada por partículas da fase dispersa frente ao cisalhamento realizado neste material. Considera-se como um fenômeno reversível, porquê após a remoção do cisalhamento, as ligações que haviam se rompido, são reestabelecidas.

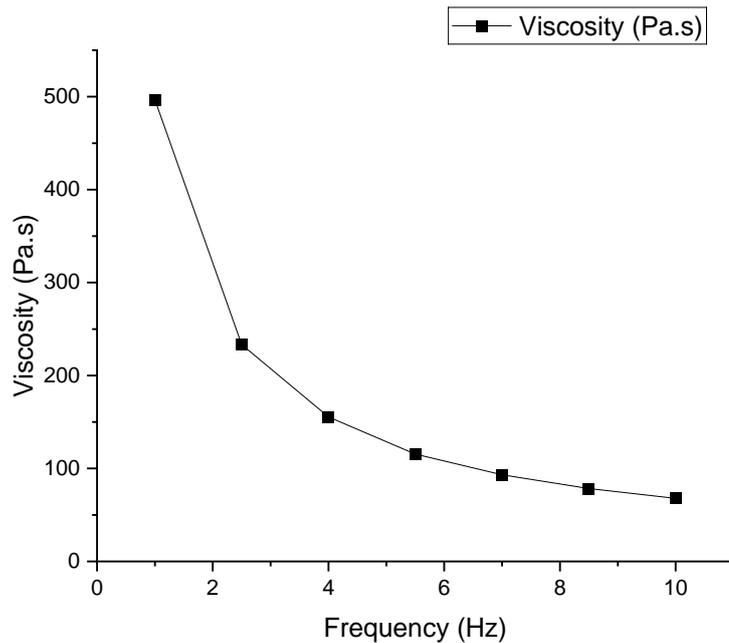


Figura 2: Viscosidade aparente do hidrogel

Na figura 2 pode ser observado um comportamento comum aos fluidos pseudoplásticos, que é a redução da viscosidade quando a taxa de cisalhamento aumenta. Tal fato, se deve à condição de equilíbrio termodinâmico em que as partículas se encontram quando apresentam alta entropia, manifestada por sua desordem, resultando em uma viscosidade significativa. Com o aumento das taxas de cisalhamento, há um desvio desse equilíbrio, levando as partículas a se orientarem na direção do fluxo e as cadeias poliméricas a se desagregarem, alinhando-se ao fluxo. Isso promove uma redução na viscosidade devido à diminuição na resistência ao escoamento, resultante da maior organização molecular e da diminuição das interações intermoleculares (SCHRAMM, 2006).

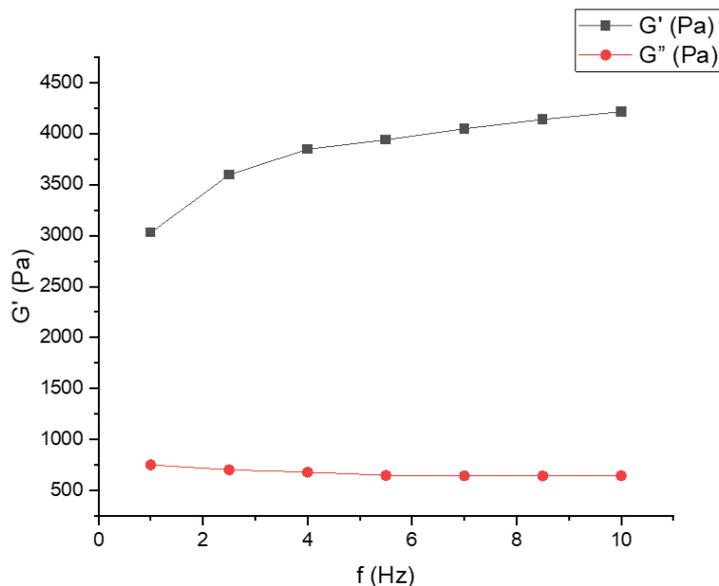


Figura 3: Módulo de armazenamento ou elástico ( $G'$ ) e módulo de perda ou viscoso ( $G''$ ) em função da frequência ( $f$ ).

Na figura 3 é possível observar que o  $G'$  apresentou valor superior ao  $G''$ , e que esse padrão de comportamento evidencia que as frações apresentam características viscoelásticas, com uma predominância do módulo elástico. Isso implica que, após a deformação, as amostras têm uma tendência a retornar aos seus estados originais (LOU *et al.*, 2022).

No comportamento reológico, um gel é caracterizado pelo módulo de armazenamento ( $G'$ ) sendo maior do que o módulo de perda ( $G''$ ) (DARTOIS *et al.*, 2010). Isso significa que o material exibe uma resistência predominante à deformação elástica (armazenamento de energia) em comparação com a dissipação de energia. Em outras palavras, o material tende a se comportar mais como um sólido do que como um líquido, mantendo sua estrutura mesmo sob estresse.

A observação indica ainda que tanto o módulo de armazenamento ( $G'$ ) quanto o módulo de perda ( $G''$ ) não variaram significativamente com a frequência aplicada durante o teste reológico. Essa observação sugere que a estrutura dos precipitados se comporta de maneira semelhante a um gel frágil (Monroy *et al.*, 2018). Ou seja, a estrutura do material é capaz de armazenar energia elástica ( $G'$ ) e sofrer dissipação de energia ou viscosidade ( $G''$ ) de forma consistente ao

longo da faixa de frequência testada, o que é uma característica típica de materiais gelificados.

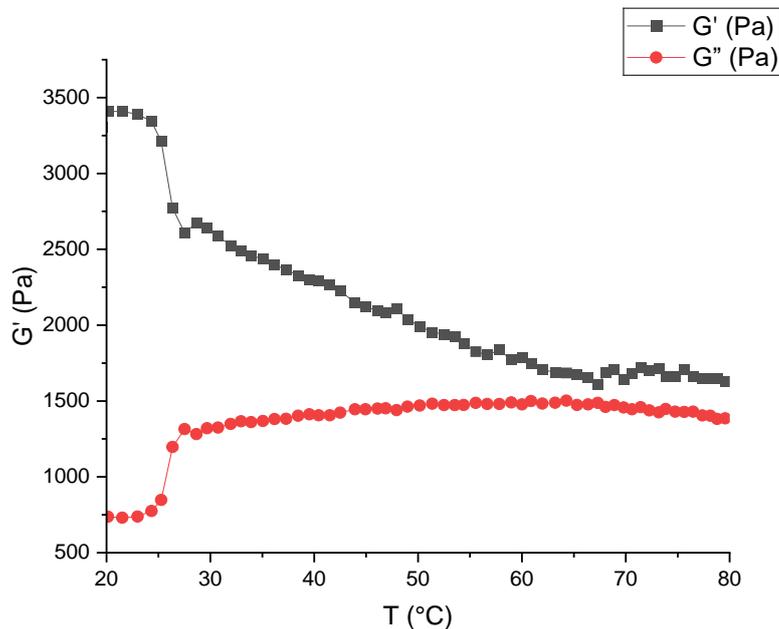


Figura 4: Efeito da variação de temperatura (20 a 80°C) sobre o módulo de armazenamento dinâmico ( $G'$ ) e viscoelástico ( $G''$ ).

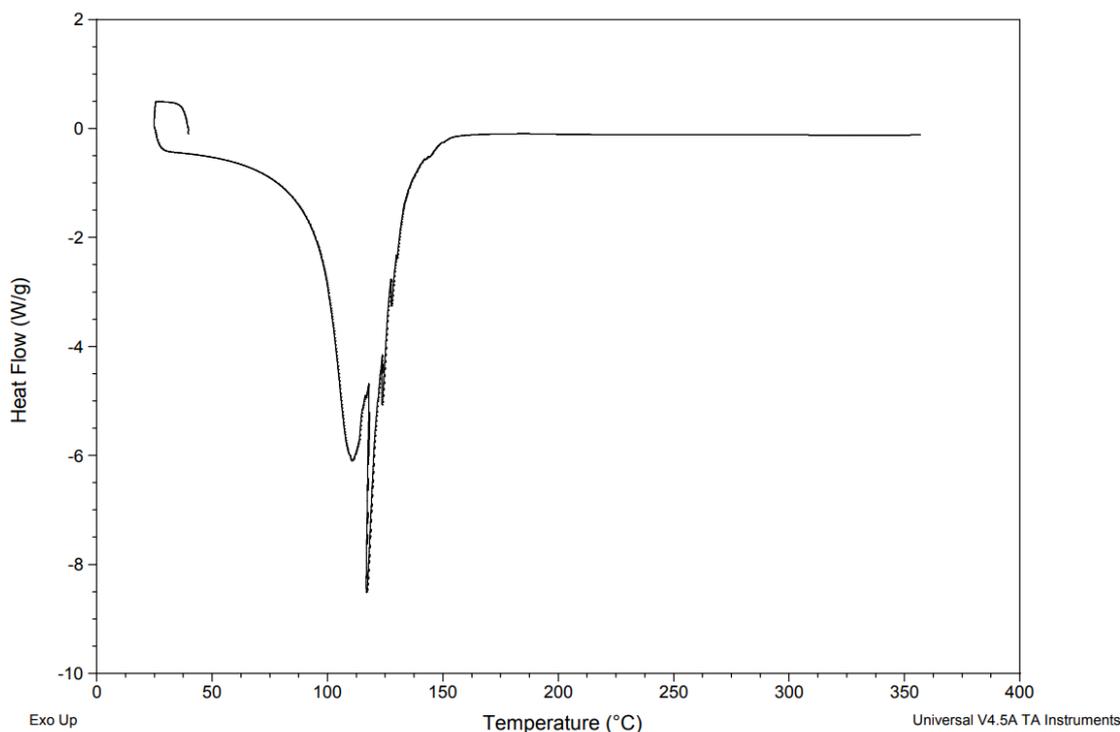
Na figura 4, o módulo de armazenamento de energia aumentou, enquanto que o módulo viscoelástico apresentou um comportamento oposto. Isto pode estar relacionado com a sensibilidade da goma guar à temperatura, e o aumento da temperatura geralmente diminui a viscosidade da solução de goma guar. Acerca disso, Bretas (2010) considera que altas temperaturas aumentam os movimentos intermoleculares e o volume livre entre as moléculas, sendo que esse último reduz o atrito entre as macro-moléculas e como efeito, a viscosidade diminui.

Outro possível motivo, seria que a temperatura pode ter afetado a formação de micelas e a solubilidade do surfactante. A temperatura crítica de micelização pode ter sido ultrapassada, o que afetou a estabilidade do sistema emulsificado. De maneira análoga Alauddin (1988), considerou que níveis mais altos de temperaturas podem ser atribuídas à quebra da estrutura da água à medida que o solubilizado é transferido para a parte interna da micela.

## 7.2 Calorimetria Exploratória Diferencial - DSC

A calorimetria de varredura diferencial (DSC) é uma técnica analítica amplamente utilizada para estudar a estabilidade intramolecular de macromoléculas estruturadas. Por meio dela, as transições térmicas são identificadas com rapidez, fornecendo ainda em amostras de hidrogel, aspectos termodinâmicos que influenciam na estabilidade e conformação deste (CHEN *et al.*, 2020). Na figura 5 se encontra a curva obtida a partir da análise DSC do hidrogel.

**Figura 5 - Curvas de fusão por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)**



A temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), está associada a fração amorfa do material. Ocorre que geralmente os hidrogéis são caracterizados pela sua estrutura predominantemente amorfa, o que significa que não possuem uma estrutura cristalina ordenada. No presente estudo encontra-se em torno de 50 °C. Chen *et al.* (2024) notaram um aumento na  $T_g$  (46 – 67 °C) com a quantidade crescente de goma guar em estudo sobre hidrogéis de polissacarídeos antimicrobianos incorporados com complexos de inclusão de metil- $\beta$ -ciclodextrina /óleo de tomilho, valores esses que estão próximos ao encontrado no presente estudo.

É possível observar na figura 5 o pico endotérmico, em que acontece a maior taxa de fusão do material. A temperatura de fusão ( $T_m$ ) do hidrogel é encontrada na faixa 100 – 115 °C. Quando todos os cristais inter estruturais se fundem em temperaturas maiores, o gráfico volta a assumir uma linha reta. De maneira semelhante, Chen *et al.* (2024) em estudo sobre hidrogéis de polissacarídeos antimicrobianos incorporados com complexos de inclusão metil- $\beta$ -ciclodextrina /óleo de tomilho, consideraram que o maior pico endotérmico representa a pirólise térmica da amostra ou temperatura de fusão ( $T_m$ ).

Quanto á temperatura de cristalização ( $T_c$ ), geralmente ocorre em materiais que possuem componentes capazes de formar estruturas cristalinas ordenadas. No caso do hidrogel, os componentes principais são polímeros (goma guar e polisorbato 80), que geralmente não têm tendência significativa para cristalizar em soluções aquosas. Além disso, o processo de homogeneização em 80 °C por 20 minutos pode favorecer a formação de uma estrutura amorfa, já que as condições não são propícias para a cristalização dos componentes.

Portanto, é plausível que o hidrogel não apresente uma taxa significativa de cristalização, nem uma temperatura de cristalização claramente definida. No entanto, seria necessário confirmar por meio de análises experimentais específicas, como difração de raios-X ou microscopia, para verificar a presença ou ausência de cristais na estrutura do hidrogel.

Deka *et al.* (2024) em estudos sobre hidrogel de nanofibras de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) dispersas em goma guar reticulada com ligação de bórax, encontraram dois picos endotérmicos distintos a 108 °C e 242 °C, correspondendo à sua temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e temperatura de cristalização ( $T_c$ ). Já para a temperatura de fusão ( $T_m$ ) o pico encontrado foi exotérmico à 309 °C.

### **7.3 Análise de composição centesimal**

Se encontram expressas na Tabela 1 as análises centesimais dos hambúrgueres.

**Tabela 1 - Análise de composição centesimal dos hambúrgueres com adição de hidrogel óleo de açaí.**

(%)	Tratamentos					C.V. (%)*	P-Valor
	CONT	T25	T50	T75	T100		
Umidade	62,65±0,18e	65,06±0,06d	65,95±0,14c	69,24±0,15b	72,26±0,01a	0,21	>0,01
Proteínas	19,89±0,77	18,71±0,88	18,32±1,70	18,78±1,21	20,06±0,52	6,81	0,71
Lipídios	12,12±0,30a	7,70±1,97b	8,22±1,14b	5,24±0,46b	1,85±0,85c	15,87	>0,01
Carboidratos	3,72±0,20	5,60±1,20	3,64±0,01	4,42±1,24	5,60±0,17	18,64	0,05
Cinzas	2,05±0,18	2,37±0,06	2,20±0,06	2,33±0,99	2,00±0,06	7,87	0,09

Média±Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si na mesma linha pelo teste de Tukey 5%.

No presente estudo, a umidade foi aumentando conforme aumentou-se a porcentagem de hidrogel nos hambúrgueres, isso pode ser devido ao fato de que a goma guar, presente na formulação do hidrogel é um hidrocolóide polissacarídico com capacidade de formar soluções viscosas em presença de água, por possuir natureza hidrofílica (MOUSA, 2021). A combinação entre a presença de grupos hidroxila e sua capacidade de formar géis contribui para a retenção de água em sua estrutura.

Similarmente, Badar *et al.*, (2023), também notou o aumento da umidade em hambúrgueres conforme o aumento do nível de reposição de gordura e aponta que a possível causa do aumento do teor de umidade dos hambúrgueres reformulados é a quantidade de umidade encontrada na formulação das emulsões de hidrogel.

A redução no teor total de lipídios observada neste estudo está de acordo com os resultados de Kibler *et al.* (2022), que concluíram que a substituição da gordura animal levou à diminuição do conteúdo lipídico total, já que o teor de lipídios em cada gel testado foi inferior ao da gordura suína que ele substituiu.

Os valores de proteínas e cinzas não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre o controle e os tratamentos com o hidrogel.

#### **7.4 Atividade de água (Aw) e Potencial hidrogeniônico (pH) do hambúrguer**

O pH é um parâmetro considerável, pois está relacionado com o sabor, cor, textura, suculência e valor nutricional dos produtos cárneos. Enquanto que

a atividade de água propicia a análise de possível deterioração dos alimentos, bem como a vida de prateleira deste. A Tabela 2 traz os valores de pH e Aw obtidos no tempo de armazenamento de 0 a 120 dias.

**Tabela 2 – pH e Aw**

		Dias				
		0	30	60	90	120
Tratamentos						
<b>pH</b>	CONT	5,75±0,15aA	6,44±0,23bA	5,89±0,11aA	5,94±0,18aA	5,97±0,04aA
	T25	6,38±0,01abB	6,41±0,07bA	6,22±0,03acB	6,28±0,07bcB	6,19±0,10cB
	T50	6,40±0,05abB	6,57±0,13aA	6,31±0,05bB	6,37±0,02bB	6,31±0,06bB
	T75	6,58±0,02aBC	6,57±0,14aA	6,37±0,06bB	6,32±0,04bB	6,31±0,02bB
	T100	6,71±0,08aC	6,53±0,19abA	6,36±0,05bB	6,35±0,02bB	6,26±0,09bB
<b>Aw</b>	CONT	0,99±0,00aAB	0,99±0,00aA	0,99±0,00aA	0,99±0,00aA	0,98±0,00bA
	T25	0,98±0,00aAC	0,99±0,00aA	0,99±0,00aAB	0,99±0,00aA	0,98±0,00aA
	T50	0,98±0,00aA	0,99±0,00aA	0,99 ±0,00aA	0,99±0,00aA	0,98±0,01aA
	T75	0,99±0,00abB	0,99±0,00acA	0,99±0,00bB	0,99±0,00abA	0,98±0,00cA
	T100	0,99±0,00abBC	0,99±0,00bA	0,99±0,00bAB	0,99±0,00abA	0,98±0,00aA

Média±Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si na mesma coluna; Médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si na mesma linha pelo teste de Tukey 5%.

Houve redução significativa ( $p > 0,05$ ) do pH dos tratamentos T75 e T100 ao final do período de 120 dias em comparação com o dia zero. Quando analisados dentro do mesmo período de tempo, os tratamentos com substitutos de gordura não demonstraram diferenças significativas entre si, com exceção do dia 0. A carne com pH mais baixo, se caracteriza por ser mais macia e suculenta, sendo além disso, menos favorável ao desenvolvimento de patógenos.

Vargas-Ramella et al., (2020), notou a redução de pH em estudo sobre hambúrguer de carne de veado com óleo de noz-de-tigre. Uma tendência de declínio nos valores de pH, também foi observado por Badar et al., (2023) em hambúrgueres de búfala com hidrogel de óleo vegetal e ele atribui esse fato da redução de pH ao aumento dos níveis de reposição de gordura.

Em relação a Aw, os tratamentos CONT, T75 e T100 apresentaram uma redução do parâmetro. No entanto, os valores de pH e Aw não foram afetados significativamente, de modo geral pela substituição lipídica e se encontram dentro dos valores estabelecidos para esses parâmetros, tal como Heck et al. (2019), observou que a substituição não teve grande impacto no pH e Aw de hambúrgueres contendo emulsão de óleos de chia e linhaça como substitutos.

## 7.5 Oxidação lipídica (TBARS) de hambúrgueres

O malonaldeído é um composto formado na oxidação de lipídios, que pode ser quantificado pela reação com o ácido tiobarbitúrico (TBARS), sendo utilizado para estimar a rancidez dos produtos cárneos (AL-DALALI; LI; XU, 2022).

A análise de TBARS é um parâmetro utilizado para estimar a quantidade de produtos de oxidação secundária, o que indicaria a ocorrência da oxidação lipídica da carne. Os teores de gorduras e o perfil de ácidos graxos são os agentes básicos envolvidos na oxidação lipídica, logo, os valores de oxidação lipídica obtidos para os hambúrgueres reformulados, podem estar relacionados as diferentes quantidades de gordura utilizada nas formulações (DE CARVALHO *et al.*, 2019).

A oxidação lipídica em carnes gera a perda da qualidade sensorial do produto devido aos off flavors (sabores estranhos), em colaboração com as mudanças na cor e textura do produto (HANULA *et al.*, 2022). A análise de conteúdo resultante de oxidação lipídica obtida em hambúrgueres durante 0, 30, 60, 90 e 120 dias, estão expressas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Oxidação lipídica (mg malonaldeído/kg de carne) de hambúrgueres com substituição de gordura armazenados por 120 dias.**

Tratamentos	Dias				
	0	30	60	90	120
CONT	0,13 ± 0,01aA	0,21 ± 0,05abAB	0,48 ± 0,21abA	0,45 ± 0,02abA	0,53 ± 0,13bA
T25	0,17 ± 0,03aA	0,26 ± 0,04abA	0,44 ± 0,02cA	0,34 ± 0,05bcAB	0,42 ± 0,09cA
T50	0,10 ± 0,02aA	0,25 ± 0,03bAC	0,34 ± 0,03bcA	0,28 ± 0,03bcB	0,38 ± 0,08cA
T75	0,11 ± 0,07aA	0,14 ± 0,02abB	0,35 ± 0,01cA	0,25 ± 0,08acB	0,30 ± 0,07bcA
T100	0,21 ± 0,03abA	0,16 ± 0,03bBC	0,30 ± 0,04acA	0,24 ± 0,04bcB	0,34 ± 0,06cA

Média±Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si na mesma coluna; Médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si na mesma linha pelo teste de Tukey 5%.

Ao longo do período de armazenamento observou-se que os valores de TBARS aumentaram durante o intervalo em análise, isso pode ser devido ao alto teor de ácidos graxos insaturados presente nos óleos vegetais. No entanto, a substituição do toucinho pelo hidrogel de óleo de açaí não influenciou significativamente entre os tratamentos (com exceção dos dias 30 e 90). O percentual de oxidação lipídica nos tratamentos com o substituto (do dia 0 ao 120) foram menores conforme foi aumentada a porcentagem de substituto de

gordura, comportamento também observado por Alejandre et al. (2019) em um estudo que utilizou como substituto a emulsão de hidrogel liofilizado com óleo de açaí encapsulado.

O controle (CONT) chegou a aumentar cerca de 40% o valor de oxidação lipídica quando comparado o valor do dia 0 e do 120, enquanto que para os tratamentos com o hidrogel de óleo de açaí, conforme foi aumentando a porcentagem de substituição foi havendo a redução dos valores de oxidação lipídica, sendo T25: 25%; T50: 28%, T75: 19%, T100: 13%, isso pode ser atribuído aos antioxidantes presentes no óleo de açaí, que contribuíram para ocorrência de menor oxidação de gordura.

Greene e Cumuze (1982), estabeleceram que o limite aceitável nos valores de TBARS seria de no máximo 2.0 mg de MDA/kg. No entanto, Hanula et al. (2022) conceitua que o limiar que determina a perda da qualidade sensorial para os hambúrgueres é de >1.0 mg MDA/kg. O presente estudo obteve valores que variaram entre 0,10 - 0,53 mg de MDA/kg, demonstrando que se encontram abaixo dos níveis mencionados, o que denota que o produto se manteve com baixo nível de rancidez ao longo do período de estudo.

## **7.6 Oxidação Proteica**

A oxidação é um dos fatores mais considerados na deterioração de alimentos, tanto em processamento quanto em armazenamento e por esse motivo a oxidação de lipídios em alimentos tem sido amplamente estudada. Entretanto, há tempos não havia sido dada a oxidação de proteínas a mesma notoriedade da oxidação de lipídeos, possivelmente em razão de que embora as proteínas sejam capazes de reagir facilmente com compostos oxidantes, possui a cinética de ação mais demorada em relação a de lipídeos, podendo ser essa a razão pela falta de estudos sobre esse tema (HADIDI et al., 2022).

O processo de oxidação de proteínas gera diversas modificações nos aminoácidos, como produção de polímeros de proteína, ampliação de grupos carbonilas e redução de solubilidade. Havendo ainda a relação entre as oxidações de proteínas e lipídeos e o valor de pH, na modificação dos componentes voláteis de sabor dos produtos cárneos (AL-DALALI et al., 2022).

Os teores de carbonilas resultantes da análise de oxidação proteica nos dias 0, 30, 60, 90 e 120 estão expressos na Tabela 4.

**Tabela 4 - Oxidação proteica (nmol carbonila/mg proteína) de hambúrgueres com substituição de gordura armazenados por 120 dias.**

Tratamentos	Dias				
	0	30	60	90	120
CONT	0,39 ± 0,09aA	0,48 ± 0,06aAB	0,16 ± 0,02bA	0,06 ± 0,03bA	0,17 ± 0,00bA
T25	0,08 ± 0,01aA	0,53 ± 0,06bAB	0,13 ± 0,02aA	0,34 ± 0,02cB	0,07 ± 0,00aB
T50	0,13 ± 0,02aA	0,62 ± 0,10bB	0,16 ± 0,01acA	0,34 ± 0,01cdB	0,49 ± 0,00bdC
T75	1,16 ± 0,19aB	0,63 ± 0,06bB	0,14 ± 0,03cA	0,10 ± 0,02cA	0,04 ± 0,04cB
T100	0,40 ± 0,09aA	0,36 ± 0,03abA	0,27 ± 0,01bB	0,24 ± 0,02bC	0,09 ± 0,00cB

Média±Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si na mesma coluna; Médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si na mesma linha pelo teste de Tukey 5%.

Na análise de oxidação proteica deste estudo, as amostras (com exceção da T50) apresentaram redução significativa de conteúdo de carbonilas do dia 0 ao final de 120 dias de armazenamento. Os valores de oxidação do tratamento T50 aumentaram entre o dia 0 e o dia 30. Esse valor se reduziu no dia 60 e voltou a aumentar em 90 e 120 dias. Ao final de 120 dias é possível notar que o T75 (0,04 nmol carbonila/mg proteína), apresentou o menor teor de carbonilas, seguido do T25 (0,07 nmol carbonila/mg proteína) e T100 (0,09 nmol carbonila/mg proteína).

Resultados similares, em que não houve um comportamento padrão de aumento ou redução nos resultados de oxidação lipídica também foram apresentados por Cunha et al.(2021) em seu estudo sobre o efeito do extrato microencapsulado de pitaya (*Hylocereus costaricensis*) nos parâmetros de qualidade oxidativa de hambúrgueres suínos moídos refrigerados submetidos a radiação UV-C. No estudo supracitado, os autores atribuíram os menores valores de carbonilas ao efeito dos antioxidantes dos extratos de pitaya, que promoveram a quelação de íons, eliminação de radicais livres e/ou prevenção de reações que causam efeitos prejudiciais das espécies de hidrogênio.

Em contrapartida aos resultados encontrados no presente estudo, no qual os valores de carbonilas reduziram após 120 dias de armazenamento, Belucci et al. (2021) que também se utilizou de antioxidantes de fonte natural, observou o aumento no teor de carbonilas em estudo sobre hambúrgueres suínos contendo extrato de pitaya vermelha. De forma semelhante De Carvalho et al. (2019),

notou um aumento nos teores de carbonilas de sua pesquisa, acerca de hambúrgueres de cordeiro com substituição de gordura por emulsão de óleo de chia e contendo extratos de semente de guaraná e de folhas de pitanga. No entanto, os valores obtidos eram menores para os hambúrgueres com adição de antioxidantes do que o da amostra controle.

### 7.7 Cor Instrumental

A cor é um aspecto de qualidade indispensável em carnes e produtos cárneos, influenciando de forma significativa na decisão de compra desses produtos. Conforme exposto na Tabela 5, as substituições totais ou parciais da gordura afetaram significativamente ( $p > 0,05$ ) os resultados obtidos de cor instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) ao longo de 120 dias de armazenamento.

**Tabela 5 – Cor Instrumental**

		Dias				
		0	30	60	90	120
Parâmetros de cor	Tratamentos					
$L^*$	CONT	50,27 ± 2,92aAB	56,91 ± 6,34aA	52,00 ± 2,62aA	52,89 ± 6,02aA	56,75 ± 5,93aA
	T25	45,67 ± 3,49aA	57,75 ± 0,67abA	65,58 ± 9,27bA	57,46 ± 5,10abA	60,64 ± 8,14abA
	T50	60,72 ± 7,34aB	53,99 ± 5,43aA	53,62 ± 3,31aA	53,31 ± 11,47aA	54,25 ± 3,48aA
	T75	49,23 ± 3,44aAB	58,13 ± 3,29aA	55,37 ± 3,65aA	50,16 ± 3,46aA	54,83 ± 4,06aA
	T100	59,62 ± 2,68aB	51,51 ± 2,37abA	54,88 ± 4,04abA	50,38 ± 4,40bA	49,56 ± 1,73bA
$a^*$	CONT	11,21 ± 0,65aA	6,97 ± 1,98aA	8,14 ± 3,06aA	8,61 ± 0,48aA	7,21 ± 3,74aA
	T25	10,79 ± 0,35aA	7,75 ± 1,37aA	6,67 ± 2,21aA	6,12 ± 1,83aA	6,83 ± 2,66aA
	T50	12,53 ± 4,26aA	9,50 ± 1,77aA	11,25 ± 0,35aA	7,93 ± 1,19aA	8,29 ± 2,32aA
	T75	11,35 ± 1,32aA	10,62 ± 1,95aA	8,87 ± 1,41aA	8,89 ± 2,15aA	7,44 ± 1,28aA
	T100	10,92 ± 0,41aA	9,43 ± 0,50abA	7,45 ± 1,02bcA	6,54 ± 0,63cA	8,75 ± 1,19abA
$b^*$	CONT	8,35 ± 0,69aA	11,11 ± 2,24aA	9,88 ± 2,39aA	11,57 ± 2,34aA	10,78 ± 1,44aA
	T25	7,80 ± 1,15aA	12,80 ± 3,13abA	13,26 ± 2,43bA	11,44 ± 1,34abA	11,27 ± 0,94abA
	T50	13,99 ± 2,67aB	12,11 ± 2,38aA	12,63 ± 1,06aA	10,47 ± 4,54aA	13,29 ± 2,56aA
	T75	9,48 ± 2,13aA	11,27 ± 0,95aA	9,92 ± 0,61aA	11,02 ± 1,28aA	11,47 ± 0,80aA
	T100	11,43 ± 0,56aAB	11,47 ± 0,60aA	11,52 ± 2,37aA	11,48 ± 1,32aA	11,03 ± 0,51aA

Média±Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si na mesma coluna; Médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si na mesma linha pelo teste de Tukey 5%.

No parâmetro  $L^*$ , apenas os tratamentos T25 e T100 demonstraram variações significativas com o passar dos 120 dias, já as demais amostras não sofreram modificações significativas ( $p > 0,05$ ) quanto a luminosidade no período em estudo. O T25 apresentou o aumento de  $L^*$ , assim como observado por De Carvalho et al. (2019) em seu estudo sobre a substituição de gordura por emulsão de óleo de chia em hambúrgueres de cordeiro e esse aumento pode ser devido à presença elevada de oxigênio em contato com o hambúrguer. Já T100 reduziu os valores do mesmo parâmetro.

O parâmetro  $a^*$  (coordenada vermelho/verde), não demonstrou diferenças significativas na maioria dos tratamentos, com exceção do T100 (tratamento com maior porcentagem de substituição), em que houve diminuição da cor vermelha ao longo dos dias de armazenamento, diferentemente dos demais tratamentos, nos quais não ocorreram mudanças significativas. No parâmetro  $b^*$  (coordenada amarelo/azul), o tratamento T25 apresentou um aumento significativo em relação a coloração amarela. De maneira análoga, Badar et al. (2023), em seu estudo sobre hambúrgueres de búfalo com emulsão de hidrogel de óleo vegetal como substituto de gordura, observou a redução da cor vermelha ( $a^*$ ) e aumento do amarelecimento ( $b^*$ ).

A diminuição de  $a^*$  pode estar associada a oxidação do ferro e consequente transformação de oximioglobina (pigmento vermelho-brilhante) em metamioglobina (pigmento marrom) (TOMASEVIC *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2019) sendo que esse processo pode se mostrar mais acelerado em carnes moídas, como é o caso dos hambúrgueres, uma vez que a moagem aumenta a superfície de contato da carne com o oxigênio.

Em relação as reformulações, não houve diferenças significativas em todos os parâmetros (  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  ) dentre os tratamentos nos dias 30, 60, 90 e 120, sendo observado somente no dia 0 que as formulações diferiram entre si, quanto a  $L^*$  e  $b^*$ .

## **7.8 Perfil de ácidos graxos dos hambúrgueres**

Os ácidos graxos saturados (SFA), ácidos graxos poli-insaturados (PUFA) e ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) nos hambúrgueres grelhados estão expressos apresentada na Tabela 6.

**Tabela 6 - Efeito da reformulação no perfil de ácidos graxos do hambúrguer de carne de cabra (g/100 g de ácidos graxos totais).**

Ácido graxo	Tratamento				
	CONT	T25	T50	T75	T100
C14:0 Myristic acid	1.09± 0.90 <sup>a</sup>	0.98± 0.88 <sup>a</sup>	1.15± 0.76 <sup>a</sup>	1.03± 1.09 <sup>a</sup>	0.97± 0.01 <sup>a</sup>
C14:1 Myristoleic acid	0.15±0.13 <sup>a</sup>	0.13± 0.17 <sup>a</sup>	0.16± 0.39 <sup>a</sup>	0.16± 0.39 <sup>a</sup>	0.29±0.15 <sup>ab</sup>
C15:0 Pentadecanoic acid	0.41±0.14 <sup>a</sup>	0.45± 0.16 <sup>a</sup>	0.49± 0.30 <sup>a</sup>	0.46± 0.22 <sup>a</sup>	0.44±0.11 <sup>a</sup>
C16:0 Palmitic acid	38.94±0.15 <sup>a</sup>	33.12± 0.09 <sup>b</sup>	25.99± 0.39 <sup>c</sup>	18.94± 0.13 <sup>d</sup>	15.86± 0.23 <sup>e</sup>
C16:1 <i>n</i> -7 Palmitoleic acid	1.52± 0.21 <sup>a</sup>	0.95± 0.11 <sup>b</sup>	0.66± 0.09 <sup>c</sup>	0.40± 0.22 <sup>d</sup>	0.28± 0.30 <sup>e</sup>
C17:0 Margaric acid	0.21±0.02 <sup>a</sup>	0.26± 0.51 <sup>a</sup>	0.23± 0.74 <sup>a</sup>	0.20± 0.06 <sup>a</sup>	0.19±0.10 <sup>a</sup>
C18:0 Estearic acid	12.14± 0.03 <sup>a</sup>	8.55± 0.13 <sup>ab</sup>	8.16± 0.23 <sup>ab</sup>	6.30± 0.04 <sup>b</sup>	4.39± 0.02 <sup>bc</sup>
C18:1 <i>n</i> -9 Oleic acid	34.73±0.11 <sup>e</sup>	47.69± 0.09 <sup>d</sup>	54.60± 0.13 <sup>c</sup>	61.92± 1.09 <sup>ab</sup>	66.33± 0.14 <sup>a</sup>
C18:2 <i>n</i> -6 Linoleic acid	6.63± 0.70 <sup>ab</sup>	6.89± 0.90 <sup>ab</sup>	7.22± 1.39 <sup>a</sup>	8.88± 1.39 <sup>a</sup>	9.38± 1.33 <sup>a</sup>
C18:3 <i>n</i> -3 Linolenic acid	0.21± 0.14 <sup>a</sup>	0.33± 0.11 <sup>ab</sup>	0.58± 0.39 <sup>b</sup>	0.70± 0.09 <sup>bc</sup>	1.01± 0.75 <sup>c</sup>
C20:4 <i>n</i> -6 Arachidonic acid	0.36± 0.31 <sup>a</sup>	0.30± 0.36 <sup>a</sup>	0.36± 0.08 <sup>a</sup>	0.36± 0.09 <sup>a</sup>	0.38± 0.06 <sup>a</sup>
SFA	52.79±0.21 <sup>a</sup>	43.36 ± 0.14 <sup>ab</sup>	36.02± 0.44 <sup>b</sup>	26.93± 0.78 <sup>c</sup>	21.85 ± 0.18 <sup>c</sup>
MUFA	36.40± 0.01 <sup>c</sup>	48.77 ± 0.04 <sup>bc</sup>	55.42± 0.12 <sup>b</sup>	62.47± 0.29 <sup>ab</sup>	66.90 ± 0.33 <sup>a</sup>
PUFA	7.20 ± 0.17 <sup>b</sup>	7.52 ± 0.23 <sup>b</sup>	8.16± 0.31 <sup>ab</sup>	9.94± 0.15 <sup>a</sup>	10.77 ± 0.02 <sup>a</sup>
PUFA/SFA	0.13± 0.09 <sup>c</sup>	0.17± 0.03 <sup>c</sup>	0.33± 0.01 <sup>bc</sup>	0.37± 0.08 <sup>ab</sup>	0.49± 0.09 <sup>a</sup>
ω3	0.21± 0.14 <sup>c</sup>	0.33± 0.11 <sup>bc</sup>	0.58± 0.39 <sup>b</sup>	0.70± 0.09 <sup>ab</sup>	1.01± 0.75 <sup>a</sup>
ω6	6,99± 0.11 <sup>b</sup>	7,19± 0.02 <sup>b</sup>	7.58± 0.19 <sup>b</sup>	9,24± 0.03 <sup>a</sup>	9,76± 0.13 <sup>a</sup>
ω6/ω3	33,28± 0.09 <sup>a</sup>	21,78± 0.13 <sup>b</sup>	13,06± 0.11 <sup>c</sup>	13,20± 0.06 <sup>c</sup>	9,66± 0.04 <sup>d</sup>

Média±Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si na mesma linha pelo teste de Tukey 5%.

Em linhas gerais o controle (CONT) apresentou maior quantidade de SFA (52,79 g/100 g). Observou-se uma diminuição significativa nos níveis de ácidos graxos saturados (C16:0 - Ácido Palmítico e C18:0 - Ácido Esteárico) à medida

que a substituição de gordura aumentou. Ainda no controle (CONT) obteve-se os valores de MUFA (36.40 g/100 g) e PUFA (7.20 g/100 g), respectivamente. A razão entre PUFA e SFA aumenta à medida que a substituição de gordura aumenta, indicando uma melhora na qualidade nutricional dos hambúrgueres reformulados.

Nos tratamentos com o hidrogel foi verificada maior concentração de MUFA (48,77 g/100 g (T25); 55,42 g/100 g (T50); 62,47 g/100 g (T75); 66,90 g/100 g (T100)), seguido de SFA (43,36 g/100 g; 36,02 g/100 g; 26,93 g/100 g; 21,85 g/100 g) e PUFA (7.52 g/100 g; 7,52 g/100 g; 8,16 g/100 g; 9,94 g/100 g; 10,77 g/100 g). Os valores de SFA demonstraram redução conforme aumentou a concentração de MUFA e PUFA.

A reformulação utilizando o hidrogel de óleo de açaí resultou em mudança no perfil de ácidos graxos dos tratamentos quando comparados ao controle, reduzindo o percentual de valores totais de SFA (T25: 17,86%; T50: 31,77%; T75: 48,99%; T100: 58,61%) e aumentando os de PUFA (T25: 4,44%; T50: 13,33%; T75: 38,06%; T100: 49,58%), ocorrência que se deve aos ácidos graxos presentes no óleo de açaí, um dos componentes do hidrogel, devido a redução dos teores de ácidos graxos saturados.

Os níveis de ácido oleico aumentam significativamente com a substituição de gordura, especialmente em T75 e T100. Os hambúrgueres deste estudo podem ser considerados com alto teor de ômega 3, uma vez que os valores de ácido linolênico (C18:3n-3) em todos os tratamentos ultrapassaram o valor mínimo (0,6 g C18:3n-3/100 g de produto) informado no European Parliament and Council. E além disso, apresentou teores altos de ácido linoleico (C18:2n-6), culminando em altos valores de dois ácidos graxos essenciais.

Em relação as maiores quantidades encontradas nos tratamentos foram ácido oleico (C18:1n-9); ácido palmítico (C16:0); ácido linoleico (C18:2n-6); ácido esteárico (C18:0), sendo de maneira semelhante esses quatro os principais ácidos graxos encontrados por Vargas-Ramella et al., (2020), nas amostras de hambúrgueres controle e com óleo de noz-de-tigre.

Os estudos mencionados corroboram demonstrando que a substituição de gordura animal por hidrogéis de emulsão de óleos saudáveis pode resultar em produtos alimentares com perfis de ácidos graxos mais saudáveis.

### 7.9 Perda por cozimento

Um dos grandes desafios da indústria alimentícia é a redução do teor de gorduras em produtos cárneos, especialmente em hambúrgueres. A diminuição do teor de gordura pode acarretar impactos negativos, como alterações no sabor, suculência, textura, rendimento e aumento da perda por cozimento. Estudos anteriores mostraram que substitutos de gordura na forma de emulsões de hidrogel com óleo encapsulado por coacervação melhoram as propriedades físicas e químicas de hambúrgueres bovinos (Hanula *et al.*, 2022).

Os resultados deste estudo demonstraram que a adição de emulsões de hidrogel de óleo de açaí não afetou negativamente a perda por cozimento. Os valores obtidos para as reformulações não diferiram significativamente do controle ( $p > 0,05$ ). As porcentagens de perda por cozimento foram:  $21,00 \pm 0,14$  para o controle (CONT),  $24,50 \pm 0,12$  para T25,  $24,50 \pm 0,06$  para T50,  $22,50 \pm 0,06$  para T75 e  $20,50 \pm 0,12$  para T100.

### 7.10 Análise de perfil de textura (TPA)

A análise de textura é um parâmetro que deve ser levada em consideração, inclusive na reformulação de produtos cárneos, em que se julga como um desafio a substituição de gordura animal sem que seja afetada a textura do produto (Lucas-González *et al.*, 2019). A análise de TPA dos hambúrgueres grelhados está representada na Tabela 7.

**Tabela 7 – Análise de TPA dos hambúrgueres**

Parâmetros	Dias	Tratamentos				
		CONT	T25	T50	T75	T100
<b>Dureza (N)</b>	0	35,23±3,97aA	7,86±1,51bcB	9,35±0,78bA	4,83±0,77bcA	3,05±0,26cA
	120	38,68±2,16aA	14,24±2,95bA	8,46±1,42cA	3,25±0,55dB	3,83±0,88cdA
<b>Mastigabilidade (N*mm)</b>	0	480,17±6,22aA	74,44±4,81bB	75,53±4,62bA	32,48±4,60cA	34,36±2,32cB
	120	312,07±0,55aB	112,78±2,21bA	68,69±2,45cA	28,06±4,29eA	39,47±2,13dA
<b>Coesividade (N*s)</b>	0	0,89±0,06aA	0,74±0,09abA	0,68±0,06bA	0,45±0,04cB	0,75±0,06abA
	120	0,60±0,07bB	0,50±0,04bB	0,58±0,07bA	0,57±0,01bA	0,76±0,05aA

<b>Adesividade</b>	0	0,03±0,00aA	0,04±0,01aA	0,04±0,01aA	0,04±0,02aA	0,07±0,01bA
	120	0,17±0,03bB	0,05±0,02aA	0,05±0,00aA	0,03±0,01aA	0,07±0,01aA
<b>Gomosidade (N)</b>	0	31,10±1,64aA	5,33±0,71bA	5,62±1,06bA	2,17±0,31cA	2,29±0,15cA
	120	21,44±1,10aB	6,99 ±0,93bA	4,88±0,54cA	1,56±0,62dA	2,88±0,45cdA

Média±Desvio Padrão.

Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferem entre si na mesma linha pelo teste de Tukey 5%.

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas diferem entre si na mesma coluna pelo teste de Tukey 5%.

A dureza apresentou menores valores, conforme aumentou a porcentagem de hidrogel, esse aumento corresponde a maior elasticidade do gel na reologia e uma vez que o gel foi adicionado aos hambúrgueres, a dureza destes se mostrou reduzida. Todos os tratamentos foram significativamente inferiores ( $p < 0,05$ ) ao valor da amostra controle. Outrossim, a dureza dos produtos cárneos está intrinsecamente ligada ao tamanho das moléculas de gordura presentes. Conseqüentemente, observa-se uma relação exponencial entre o tamanho dos glóbulos de gordura e a quantidade da camada proteica interfacial formada. Já com a substituição, houveram variações nas propriedades da matriz cárnea, que aliadas à redução do teor de gordura, juntamente com o aumento do teor de água, podem estar correlacionadas a uma textura mais macia, resultando em uma diminuição na dureza (FREIRE et al., 2017; YOUSSEF, BARBUT, 2010). Isso está de acordo com a composição centesimal dos hambúrgueres, em que os teores de proteínas e lipídeos foram menores nos tratamentos reformulados, quando em comparação com maiores valores do controle.

Afshari *et al.* (2017), mencionaram que a substituição da gordura em hambúrgueres bovinos por uma emulsão de canola/azeite de oliva, proteína de soja, inulina e  $\beta$ -glucana diminuiu consideravelmente a dureza das amostras. De forma discrepante, Heck et al. (2019) encontrou maiores valores para dureza e mastigabilidade, quando comparados com o controle, em estudo sobre emulsão hidrogelada de óleos de chia e linhaça. Com relação ao tempo no parâmetro de dureza, houveram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) somente nos tratamentos de 25 e 75%.

A substituição do toucinho pelo hidrogel, não afetou a elasticidade (dado não apresentado na tabela) dos hambúrgueres reformulados ( $p > 0,05$ ) nesse estudo, sendo condizente com a reologia do hidrogel, em que foi observado

maior elasticidade, o que contribui para a suculência e uma textura mais agradável do hambúrguer. Fato também observado por Heck *et al.* (2019) em estudo citado anteriormente e Badar *et al.*, (2023) em hambúrgueres de búfalo contendo nozes e géis de emulsão de óleo de amendoim misturados com farinha de chia.

Para Szczesniak (1963), o parâmetro de mastigabilidade, está relacionado ao esforço necessário para mastigar um alimento até um estado que seja adequado para engolir, bem como o parâmetro de coesividade, que está atrelado as forças internas que mantêm o alimento unido, os quais também apresentaram atenuação significativa nesse estudo, quando comparado ao CONT ( $p < 0,05$ ). Analogamente, Hanula *et al.* (2022), encontraram menores valores para dureza, elasticidade e coesividade de hambúrgueres reformulados com hidrogel liofilizado enriquecido com óleo de açaí em relação ao controle.

Lucas-Gonzalez *et al.* (2019) consideraram que a redução nos parâmetros de dureza e mastigabilidade pode ser considerada vantajosa para o consumidor, pois essas modificações podem estar correlacionadas com uma melhor qualidade sensorial da carne empregada na elaboração do hambúrguer. Além disso, diminuem a quantidade necessária de mastigação desse alimento.

Ainda a respeito da mastigabilidade, nos tempos de 0 e 120 dias, houveram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre as formulações CONT, T25 e T100. O controle apresentou valores maiores no dia zero quando comparado ao dia 120. Em contrapartida, T25 e T100 demonstraram valores superiores no dia 120 e menores valores no dia zero.

A coesividade pode ser entendida como um indicativo da resistência interna de um alimento quando ele é deformado (SZCZESNIAK, 2002), ou seja, como ele se mantém coeso durante a mastigação. O hidrogel de óleo de açaí utilizado nesse trabalho, apresentou maior elasticidade, o que acarretou menor coesividade aos hambúrgueres reformulados (exceto T100). A respeito da influência da substituição de gordura neste parâmetro, foi observado que T50 ( $\pm 0,68 \text{ N*s}$ ) e T75 ( $\pm 0,45 \text{ N*s}$ ) diferiram significativamente do controle ( $\pm 0,89 \text{ N*s}$ ) no dia zero. Quanto ao dia 120, houve uma variação expressiva do tratamento T100 ( $\pm 0,76 \text{ N*s}$ ) quando comparado ao CONT ( $0,60 \text{ N*s}$ ). Acerca do impacto

do tempo, houveram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nos períodos de zero e 120 dias, entre os tratamentos CONT, T25 e T75, sendo o CONT e T25 do tempo zero superiores aos valores de 120 dias. Por outro lado, o T75 apresentou menores valores para o dia zero, quando comparado com o armazenamento.

Os valores de coesividade encontrados no presente estudo (0,45 – 0,89) se encontram próximos aos encontrados por Vargas-Ramella *et al.* (2020) (0,59 a 0,61) e Heck *et al.* (2019) (0,45 – 0,52).

A adesividade está ligada a capacidade de um alimento de se aderir ou grudar em uma superfície de contato, como o palato ou os dentes (SZCZESNIAK, 2002). Este parâmetro é frequentemente avaliado através de testes onde a força para remover o alimento da superfície é medida. No dia zero, somente o T100 apresentou discrepância comparado a amostra controle ( $p < 0,05$ ), já no dia 120 todas as amostras divergiram estatisticamente ( $p < 0,05$ ) do controle.

A gomosidade se trata da energia necessária para desintegrar um semissólido em pedaços prontos para deglutição. Bourne (2002) esclarece que a gomosidade combina os parâmetros de dureza e coesividade, sendo considerável em alimentos como carnes processadas. Quanto a substituição, as amostras do dia zero, T25 e T50 não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ), assim como T75 e T100 também não apresentaram diferenças mutuamente ( $p > 0,05$ ), no entanto todas foram distintas do CONT, bem como ocorreu no dia 120 ( $p < 0,05$ ). Em relação ao tempo de armazenamento, somente o controle apresentou diferença significativa entre os dias zero ( $\pm 31,10$  N) e 120 ( $\pm 21,44$  N). A redução da gomosidade conforme foi aumentada a substituição condiz com o que foi apresentado por Vargas-Ramella *et al.* (2020), uma vez que esse parâmetro está associado com a dureza, que também diminuiu.

Na literatura, existem inúmeros relatos conflitantes acerca do efeito do tipo de hidrogel nos parâmetros de textura de hambúrgueres, sendo que essas discrepâncias podem ser atribuídas a vários fatores, incluindo o método de incorporação do óleo vegetal e homogeneidade da mistura (FOGGIARO *et al.*, 2022), as técnicas de mistura adequada (HANULA *et al.* 2022), a concentração

de hidrogel utilizada (HECK *et al.*,2019), e a origem e composição do hidrogel (VARGAS-RAMELLA *et al.*, 2020).

### 7.11 Análises Microbiológicas

Os resultados obtidos a partir da técnica de Número Mais Provável (NMP) estão expressos na Tabela 8.

**Tabela 8 - Resultados para coliformes termotolerantes**

	0 dia	120 dias
Amostra	(NMP/g)	(NMP/g)
CONT	$<3 \times 10^1$	$9,3 \times 10^1$
T25	$<3 \times 10^1$	$4,3 \times 10^1$
T50	$<3 \times 10^1$	$<3 \times 10^1$
T75	$<3 \times 10^1$	$<3 \times 10^1$
T100	$<3 \times 10^1$	$<3 \times 10^1$

Fonte: Os autores (2023)

Os resultados obtidos neste estudo para coliformes termotolerantes (45°C) em hambúrgueres de carne caprina variou entre  $<3 \times 10^1$  a  $9,3 \times 10^1$  NMP/g. A contagem máxima encontrada por Martineli *et al.* (2009) foi  $> 3,2 \times 10^1$ , valor menor do que os encontrados no presente estudo.

Na análise de *Salmonella*, passado o período de incubação, as placas não apresentaram a presença de colônias, portanto, foram negativos para a presença de *Salmonella spp.*

As bactérias lácticas viáveis são utilizadas comumente como indicadores de qualidade em produtos cárneos, mas não há um parâmetro estabelecido para os valores de bactérias lácticas viáveis em produtos cárneos. Os valores obtidos nesse estudo variaram entre 3,30 - 4,32 log UFC/g (0 dia) e 3,48 – 4,81 log UFC/g (120 dias), sendo notado que no tratamento T100 não houve o desenvolvimento de colônias (nos dia 0 e 120). Os valores supracitados se encontram dentro do intervalo de valores encontrados por Olusegun *et al.* (2011) na amostra controle de carne caprina, sendo entre 3,77 – 9,03 log UFC/g. Segundo os valores mencionados, o fato do T100 não ter apresentado o desenvolvimento de

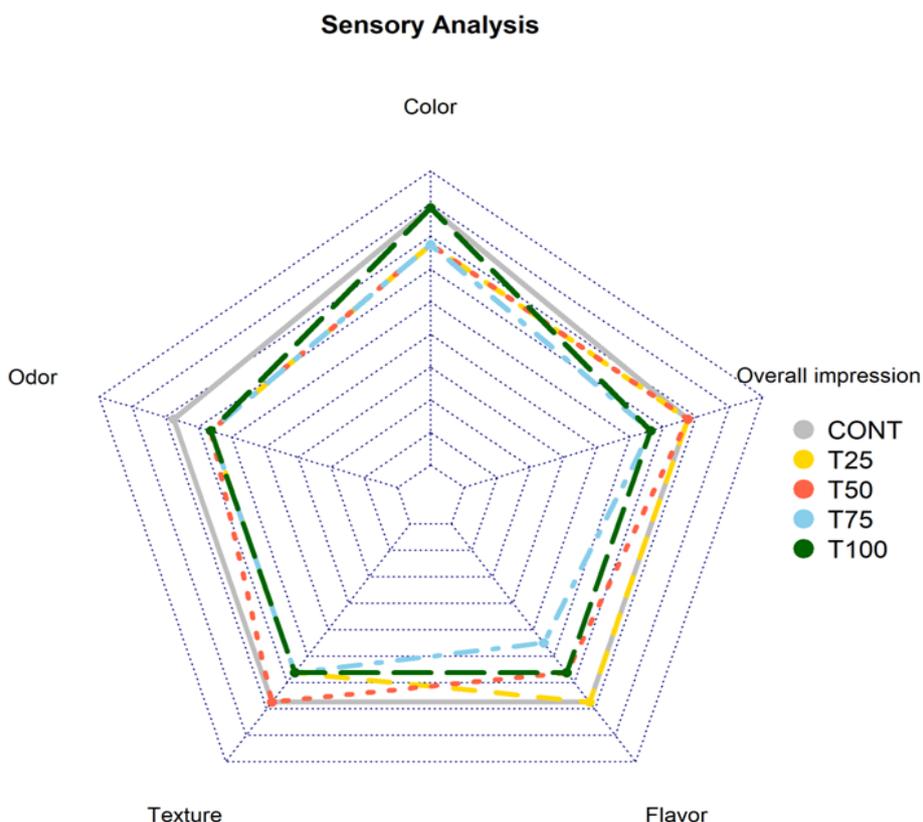
colônias, pode sugerir que houve certa inibição por parte do hidrogel de óleo de açaí devido a propriedades antimicrobianas.

## 8. ANÁLISE SENSORIAL

A indústria alimentícia enfrenta atualmente dificuldades na redução do teor de gordura dos hambúrgueres. Um teor reduzido de gordura em produtos cárneos pode ocasionar uma série de efeitos negativos na qualidade sensorial do produto (Hanula *et al.*, 2022). Foggiaro *et al.* (2022) afirmam que a gordura é um componente essencial nos produtos cárneos processados, desempenhando um papel crucial no delineamento de diversos parâmetros. Assim, é fundamental considerar a avaliação da aceitação do consumidor para produtos que utilizam substitutos de gordura.

A influência da substituição de gordura por hidrogel na análise sensorial está representada na figura 6. As propriedades sensoriais dos hambúrgueres caprinos não foram influenciadas pela reformulação com hidrogel, não havendo, portanto, diferença estatística ( $p > 0,05$ ) entre os hambúrgueres reformulados e o controle para nenhum dos parâmetros analisados.

**Figura 6 – Análise sensorial dos hambúrgueres reformulados**



A substituição parcial da gordura foi bem aceita pelos painelistas, uma vez que em todos os atributos não houve diferenças significativas entre os hambúrgueres reformulados e a amostra controle. Deste modo, a reformulação lipídica foi capaz de manter esses importantes parâmetros sensoriais nos hambúrgueres de carne caprina. Foggiaro et al. (2022) avaliaram a substituição da gordura suína por hidrogéis de emulsão de óleos saudáveis e observaram que a substituição completa da gordura (100%) resultou em produtos que tinham boa aceitabilidade sensorial, mas com algumas mudanças nas características texturais.

## **9. CONCLUSÃO**

A substituição parcial de gorduras de origem animal por emulsões a base de óleos de origem vegetal tem sido uma alternativa avaliada em diversos estudos, a fim de que se obtenha um produto com perfil lipídico mais saudável, que atenda ao público que consome hambúrguer frequentemente e sem tantas alterações em suas características tecnológicas. No presente estudo empregou-se a emulsão de hidrogel, contendo o óleo de açaí que é nutricionalmente benéfico. A partir das análises realizadas, constatou-se que a substituição foi viável, uma vez que a análise de ácidos graxos indicou elevados valores de dois ácidos graxos essenciais, a saber, ácido linoleico e ácido linolênico. Esses resultados vão de encontro ao conceito de saudabilidade, uma vez conferem ao produto final um perfil lipídico mais saudável, incluindo aumentos nos níveis de ácidos graxos insaturados (MUFA e PUFA) e reduções nos níveis de ácidos graxos saturados (SFA). Estas mudanças são benéficas para a saúde cardiovascular e melhoram a qualidade nutricional dos hambúrgueres. Além disso, observou-se a ocorrência de oxidação lipídica, entretanto, o percentual de oxidação entre o dia zero e o dia 120 foi superior na amostra controle. À medida que se aumentou a concentração de hidrogel nas formulações, observou-se uma redução no índice de oxidação, com a menor taxa apresentada na formulação com 100% de hidrogel. Em relação à oxidação de proteínas, as amostras, com exceção da T50, apresentaram uma redução significativa no conteúdo de carbonilas do dia 0 ao final de 120 dias de armazenamento. Esses fenômenos

podem ser atribuídos à presença de antioxidantes no óleo de açaí, que contribuíram para a menor oxidação de gorduras e proteínas. Ademais o substituto de gordura reduziu os parâmetros de dureza, mastigabilidade e coesão dos hambúrgueres grelhados. Se faz necessárias análises mais aprofundadas em relação a estrutura do hidrogel como a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e sobre o Perfil de Compostos Voláteis de hambúrgueres, dentre outras que podem ser empregadas em estudos futuros.

## REFERÊNCIAS

ADMASSIE, Z. G.; EMAN, J. A.; ENDALEW, S. A. Determination of cholesterol and fatty acid content of commercially sold edible vegetable oils around Dire Dawa, Adama and Addis Ababa, Ethiopia. **World Journal of Advanced Research and Reviews**, v. 10, n. 2, p. 044-056, 2021.

ALAUDDIN, M. D. Thermal stability of solubilized micelles in surfactant solutions. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 123, n. 1, p. 178-185, 1988.

AL-DALALI, S.; LI, C.; XU, B. Effect of Frozen Storage on the Lipid Oxidation, Protein Oxidation, and Flavor Profile of Marinated Raw Beef Meat. **Food Chemistry**, v. 376, p. 131881, 2022.

ALEJANDRE, M., ASTIASARÁN, I., ANSORENA, D., BARBUT, S. Using canola oil hydrogels and organogels to reduce saturated animal fat in meat batters. **Food Research International**, v. 122, p. 129-136, 2019.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 1990.

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC International. In: Latimer JGW (ed) Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th edn. AOAC International, Maryland, USA. (2016).

BADAR, I. H.; LI, Y.; LIU, H.; CHEN, Q.; LIU, Q.; KONG, B. Effect of Vegetable Oil Hydrogel Emulsion as a Fat Substitute on the Physicochemical Properties, Fatty Acid Profile, and Color Stability of Modified Atmospheric Packaged Buffalo Burgers. **Meat Science**, vol. 199, p. 109143, 2023.

BARBOSA, J. R.; CARVALHO JUNIOR, R. N. Food sustainability trends - How to value the açai production chain for the development of food inputs from its main bioactive ingredients?. **Trends in Food Science & Technology**, v. 124, p. 86–95, 2022.

BELLUCCI, E. R. B., DOS SANTOS, J. M., CARVALHO, L. T., BORGONOV, T. F., LORENZO, J. M., DA SILVA-BARRETTO, A. C. Açai extract powder as natural antioxidant on pork patties during the refrigerated storage. **Meat Science**, v. 184, p. 108667, 2022.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extraction and purification. **Canadian journal of biochemistry and physiology**, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

Bourne, M. Food texture and viscosity: concept and measurement. Elsevier, 2002.

BRASIL Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos. Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Estabelece

as listas de padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 724, de 23 de dezembro de 2022. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do hambúrguer. Diário Oficial da União, 2022.

BRETAS, R. E. S. **Reologia de polímeros fundidos**. Editora da UFSCar, 2005.

CHEN, M.; HU, Z.; ZHENG, H.; WANG, J.; XU, X. Antimicrobial polysaccharide hydrogels embedded with methyl- $\beta$ -cyclodextrin/thyme oil inclusion complexes for exceptional mechanical performance and chilled chicken breast preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, vol. 267, no. pt 2, p. 131586, 2024.

CUNHA, L.C.M.; MONTEIRO, M.L.G.; DA COSTA-LIMA, B.R.C.; Juliana Maria GUEDES-OLIVEIRA, J.M.; RODRIGUES, B.L.; FORTUNATO, A.R.; BALTAR, J.D.; TONON, R.V.; Koutchma, T.; CONTE-JUNIOR, C.A. Effect of microencapsulated extract of pitaya (*Hylocereus costaricensis*) peel on oxidative quality parameters of refrigerated ground pork patties subjected to UV-C radiation. **J Food Process Preserv**; 45: e15272. 2021.

DA SILVA, A. C. P.; BARBOSA, J. R.; ARAÚJO, C. S.; BATISTA, J. T. S.; NEVES, E. M. P.X.; CARDOSO, D. N. P.; JOELE, M. R. S. P.; LOURENÇO, L. F. H. **Food Chemistry**, v. 438, p. 138047. 2024.

DARTOIS, A.; SINGH, J.; KAUR, L.; SINGH, H. Influence of Guar Gum on the In Vitro Starch Digestibility—Rheological and Microstructural Characteristics. **Food Biophysics**, vol. 5, n. 3, pp. 149–160, 2010.

DE ANDRADE SOARES, R.; OLIVEIRA, B. C.; DE BEM, G. F.; MENEZES, M. P.; ROMÃO, M. H.; SANTOS, I. B.; DA COSTA, C. A.; DE CARVALHO, L. C. R. M.; NASCIMENTO, A. L. R.; DE CARVALHO, J. J.; OGNIBENE, D. T.; DE MOURA, R. S.; RESENDE, A. C. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) seed extract improves aerobic exercise performance in rats. **Food Research International**, v. 136, p. 109549, 2020.

DEGALA, H. L.; MAHAPATRA, A. K.; DEMIRCI, A.; KANNAN, G. Evaluation of non-thermal hurdle technology for ultraviolet-light to inactivate *Escherichia coli* K12 on goat meat surfaces. **Food Control**, v. 90, p. 113 - 120, 2018.

DE CARVALHO, F. A. L.; LORENZO, J. M.; PATEIRO, M.; BERMÚDEZ, R.; PURRIÑOS, L.; TRINDADE, M. A. Effect of Guarana (*Paullinia Cupana*) Seed and Pitanga (*Eugenia Uniflora* L.) Leaf Extracts on Lamb Burgers with Fat Replacement by Chia Oil Emulsion during Shelf Life Storage at 2 °C. **Food Research International**, v. 125, p. 108554, 2019.

DEKA, M.; LONGKUMAR, Y.; BORUAH, B.; SARMAH, H.; KONWAR, M.; BORTHAKUR, L. J. Borax Cross-Linked Guar Gum Hydrogel-Based Self Healing Polymer Electrolytes Filled with Ceramic Nanofibers towards High-Performance

Green Energy Storage Applications. **Reactive & Functional Polymers**, vol. 195, p. 105822, 204.

DE LIMA GUTERRES, L.; PINTON, M. B.; DOS SANTOS, B. A.; Correa, L. P.; CORDEIRO, M. W. S.; CICHOSKI, A.J.; WAGNER, R.; LORENZO, J. M.; CAMPAGNOL, P. C. B. Hydrogelled emulsion from linseed oil and pea protein as a strategy to produce healthier pork burgers with high technological and sensory quality. **Meat Science**, v. 195, p. 109028, 2023.

DOMÍNGUEZ, R.; MUNEKATA, P. E.; PATEIRO, M.; LÓPEZ-FERNÁNDEZ, O.; LORENZO, J. M. Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products. **Current Opinion in Food Science**, v. 37, p. 135-144, 2021.

European Parliament and Council. No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. **Official Journal of the European Union**, v. 18, p. 244–259, 2006.

FOGGIARO, D.; DOMÍNGUEZ, R.; PATEIRO, M.; CITTADINI, A.; MUNEKATA, P. E.; CAMPAGNOL, P. C.; LORENZO, J. M. Use of healthy emulsion hydrogels to improve the quality of pork burgers. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 596, 2022.

FREIRE, M.; COFRADES, S.; SERRANO-CASAS, V.; PINTADO, T.; JIMÉNEZ, M. J.; JIMENEZ-COLMENERO, F. Gelled double emulsions as delivery systems for hydroxytyrosol and n-3 fatty acids in healthy pork patties. **Journal of food science and technology**, v. 54, p. 3959-3968, 2017.

GAWAT, M.; BOLAND, M.; SINGH, J.; KAUR, L. Goat Meat: Production and Quality Attributes. **Foods**, v. 12, p. 3130, 2023.

GREENE, B. E.; T. H. CUMUZE. Relationship Between TBA Numbers and Inexperienced Panelists' Assessments of Oxidized Flavor in Cooked Beef. **Journal of Food Science**, vol. 47, n<sup>o</sup>. 1, p. 52–54, 1982.

GOFF, H. D.; GUO, Q., in Handbook of Food Structure Development, ed. F. Spyropoulos, A. Lazidis, and I. Norton, **The Royal Society of Chemistry**, ch. 1, p, 1-28, 2019.

GUO, J.; CUI, L.; MENG, Z. Oleogels/emulsion gels as novel saturated fat replacers in meat products: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 137, p. 108313, 2023.

HADIDI, M.; ORELLANA-PALACIOS, J. C.; AGHABABAEI, F.; GONZALEZ-SERRANO, D. J.; MORENO, A.; LORENZO, J. M. Plant by-product antioxidants: Control of protein-lipid oxidation in meat and meat products. **LWT - Food Science and Technology**, v. 169, p.114003, 2022.

HANULA, M.; SZPICER, A.; GÓRSKA-HORCZYCZAK, E.; KHACHATRYAN, G.; POGORZELSKA-NOWICKA, E.; POLTORAK, A. Quality of Beef Burgers Formulated with Fat Substitute in a Form of Freeze-Dried Hydrogel Enriched with Açai Oil. **Molecules** 2022, v. 27, p. 3700, 2022.

HECK, R. T., FERREIRA, D. F., FAGUNDES, M. B., DOS SANTOS, B. A., CICHOSKI, A. J., SALDAÑA, E., CAMPAGNOL, P. C. B. Jabuticaba peel extract obtained by microwave hydrodiffusion and gravity extraction: A green strategy to improve the oxidative and sensory stability of beef burgers produced with healthier oils. **Meat Science**, v. 170, p. 108230, 2019.

HOOPER, L., MARTIN, N., JIMOH, O. F., KIRK, C., FOSTER, E., & ABDELHAMID, A. S. (2020). Reduction in saturated fat intake for cardiovascular disease. *The Cochrane database of systematic reviews*, v. 8, 2020.

KASAIYAN, S.; TEIXEIRA, A. Use of Olive and Sunflower Oil Hydrogel Emulsions as Pork Fat Replacers in Goat Meat Burgers. **Biomolecules**, v. 12, n. 10, p. 1416, 2022.

KIBLER, N. D., ACEVEDO, N. C., CHO, K., ZUBER-MCQUILLEN, E. A., CARVAJAL, Y. B., TARTÉ, R. Novel biphasic gels can mimic and replace animal fat in fully-cooked coarse-ground sausage. **Meat Science**, p. 108984, 2022.

KJELDAHL, J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. **Zeitschrift für Analytische Chemie**, 22(1), 366-382. 1883.

LEVINE, R. L., GARLAND, D., OLIVER, C. N., AMICI, A., CLIMENT, I., LENZ, A. G., STADTMAN, E. R. Determination of carbonyl content in oxidatively modified proteins. **Methods Enzymol**, 186, p. 464-478, 1990.

LOU, X.; LUO, D.; YUE, C.; ZHANG, T.; LI, P.; XU, Y.; XU, B.; XIANG, J. Effect of Ultrasound Treatment on the Physicochemical and Structural Properties of Long-Chain Inulin. **Food Science & Technology**, vol. 154, p. 112578, 2022.

LUCAS-GONZÁLEZ, R.; ROLDÁN-VERDU, A.; SAYAS-BARBERÁ, E.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; VIUDA-MARTOS, M. Assessment of emulsion gels formulated with chestnut (*Castanea sativa* M.) flour and chia (*Salvia hispanica* L) oil as partial fat replacers in pork burger formulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 3, p. 1265-1273, 2020.

MARTINELLI, T. M.; ROSSI, O. D. J.; CERESER, N. D.; CARDOZO, M. V.; FONTOURA, C. L.; PERRI, S. H. V. Microbiological Counting in Lamb Carcasses from an Abattoir in Sao Paulo, Brazil/Contagens Microbiológicas Em Carcacas Ovinas De Um Abatedouro De Sao Paulo, Brasil. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1836–1841, 2009.

MARTINS, A., VICENTE, A. A., CUNHA, R. L.; CERQUEIRA, M. A. Edible Oleogels: An Opportunity for Fat Replacement in Foods. **Food & Function**, v. 9, n. 2, p. 758–773, 2018.

MELO, P. S., SELANI, M. M., GONÇALVES, R. H., DE OLIVEIRA PAULINO, J., MASSARIOLI, A. P., DE ALENCAR, S. M. Açaí seeds: An unexplored agro-

industrial residue as a potential source of lipids, fibers, and antioxidant phenolic compounds. **Industrial crops and products**, v. 161, p. 113204, 2021.

MONROY, Y.; RIVERO, S.; GARCÍA, M. A. Microstructural and techno-functional properties of cassava starch modified by ultrasound. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 42, p. 795-804, 2018.

MOUSA, R. M. A. Development of 95% Fat-Free Hamburgers Using Binary and Ternary Composites from Polysaccharide Hydrocolloids and Fruit Peel Flours as Fat Replacer Systems. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 7, 2021.

NAVARRO, R. F. **Fundamentos de reologia de polímeros**. Educus, 1997.

PAGLARINI, C. S.; MARTINI, S.; POLLONIO, M. A. R. Uso de géis de emulsão feitos com dispersões de isolado de proteína de soja sonicadas para substituir gordura em salsichas. **LWT**, v. 99, p. 453–459, 2019.

PALAMUTOĞLU, R.; KASNAK, C.; ÖZEN ÜNALDI, B.; DUMAN, S.; BAYDIR, A. T. Effect of Olive Oil Hydrogel as a Fat Replacer in Beef Meatballs. **Food Technology and Biotechnology**, v. 62, n. 1, p. 110-118, 2024.

RAHARJO, S.; SOFOS, J. N.; SCHMIDT, G. R. Improved speed, specificity, and limit of determination of an aqueous acid extraction thiobarbituric acid-C18 method for measuring lipid peroxidation in beef. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, n. 11, p. 2182-2185, 1992.

RESOSEMITO, F. S. et al. Formulação, preparação, e avaliação sensorial de hambúrguer da carne de caprinos de descarte com diferentes teores da gordura. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4790-4797, 2021.

RIOS-MERA, J. D., SALDAÑA, E., PATINHO, I., SELANI, M. M., & CONTRERAS-CASTILLO, C. J. Advances and gaps in studies on healthy meat products and their relationship with regulations: The Brazilian scenario. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 833-840, 2021.

SAQIB, M., KHALED, B., LIU, F., ZHONG, F. Hydrogel beads for designing future foods: Structures, mechanisms, applications, and challenges. **Food Hydrocolloids for Health**, vol. 2, p. 100073, 2022.

SCHRAMM, G. **Reologia e Reometria: Fundamentos Teóricos e Práticos**. Artliber, São Paulo. 2006.

SILVA, M. P.; CUNHA, V.; SOUSA, S. H. B.; MENEZES, E. G. O.; BEZERRA, P. D. N.; FARIAS NETO, J. T.; FILHO, G. N. R.; ARAÚJO, M. E.; DE CARVALHO JR, R. N. Supercritical CO<sub>2</sub> Extraction of Lyophilized Açaí (Euterpe Oleracea Mart.) Pulp Oil from Three Municipalities in the State of Pará, Brazil. **Journal of CO<sub>2</sub> Utilization**, v. 31, p. 226-234, 2019.

SYED, I., BANERJEE, P., SARKAR, P. Oil-in-water emulsions of geraniol and carvacrol improve the antibacterial activity of these compounds on raw goat meat surface during extended storage at 4 °C. **Food Control**, 107, 106757, 2020.

SZCZESNIAK, A. S. Texture is a sensory property. **Food quality and preference**, v. 13, n. 4, p. 215-225, 2002.

SZCZESNIAK, A. S. Classification of textural characteristics a. **Journal of Food Science**, v. 28, n. 4, p. 385-389, 1963.

TEIXEIRA, A.; FERREIRA, I.; PEREIRA, E.; VASCONCELOS, L.; LEITE, A.; RODRIGUES, S. Physicochemical Composition and Sensory Quality of Goat Meat Burgers. Effect of Fat Source. **Foods 2021**, v. 10, p. 1824, 2021.

TOMASEVIC, I., DJEKIC, I., FONT-I-FURNOLS, M., TERJUNG, N., & LORENZO, J. **Recent Advances in Meat Color Research. Food Science**, v. 41, p. 81–87, 2021.

VARGAS-RAMELLA, M.; MUNEKATA, P.E.S.; PATEIRO, M.; FRANCO, D.; CAMPAGNOL, P.C.B.; TOMASEVIC, I.; DOMÍNGUEZ, R.; LORENZO, J.M. Physicochemical Composition and Nutritional Properties of Deer Burger Enhanced with Healthier Oils. **Foods 2020**, v. 9, p. 571, 2020.

WANG, Z.; HE, Z.; EMARA, A.; GAN, X.; LI, H. Effects of malondialdehyde as a byproduct of lipid oxidation on protein oxidation in rabbit meat. **Food Chemistry**, v. 288, p. 405-412, 2019.

YOUSSEF, M. K.; BARBUT, S. Physicochemical effects of the lipid phase and protein level on meat emulsion stability, texture, and microstructure. **Journal of Food Science**, v. 75, n. 2, p. S108-S114, 2010.

ZHANG, Y.; LI, H.; ZHAO, D.; CAO, J.; LIU, X. Application of Emulsion Gels as Fat Substitutes in Meat Products. **Foods**, v. 11, n. 13, p. 1950, 2022.