UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANI KELLI HERNANDES

CARACTERIZAÇÃO DE CORAÇÃO SUÍNO *IN NATURA* E DESIDRATADO PELO MÉTODO *AIR FRYING*

Patos de Minas - MG
2024

ANI KELLI HERNANDES

CARACTERIZAÇÃO DE CORAÇÃO SUÍNO *IN NATURA* E DESIDRATADO PELO MÉTODO *AIR FRYING*

Projeto Final de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profª. Drª. Marieli de Lima
Coorientadora: Profª. Drª. Marta Fernanda Zotarelli

Patos de Minas - MG
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Faculdade de Engenharia Química
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br

HOMOLOGAÇÃO Nº 108

ANI KELLI HERNANDES

Caracterização de coração suíno *in natura* e desidratado pelo método *air frying*

Projeto Final de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

Prof.ª Dr.ª Marieli de Lima
Orientadora - FEQUI/UFU

Prof.ª Dr.ª Marta Fernanda Zotarelli
Coorientadora - FEQUI/UFU

Prof.ª Dr.ª Michelle Andriati Sentanin
FEQUI/UFU

Prof. Dr. Ricardo Correa de Santana
FEQUI/UFU

Patos de Minas, 24 de abril de 2024.

Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima**, **Presidente**, em 24/04/2024, às 17:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Michelle Andriati Sentanin**, **Membro de Comissão**, em 24/04/2024, às 17:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana**, **Professor(a) do Magistério Superior**, em 24/04/2024, às 17:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Marta Fernanda Zotarelli**, **Membro de Comissão**, em 24/04/2024, às 17:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5282720** e o código CRC **84E8D673**.

RESUMO

O Brasil é o segundo colocado no *ranking* mundial com maior população de animais de estimação, sendo que este setor é o que mais favorece a economia do país, devido às novas tendências geradas pelas indústrias, com intuito de atender às exigências dos responsáveis pelos *pets*. A geração de grande quantidade de subprodutos, oriundos do abate de animais de grande porte, incentivou o estudo das propriedades nutricionais dessas vísceras, com intuito de produzir *pet food* que assegure a identidade da matéria-prima, além de manter a qualidade dos nutrientes, incluindo os petiscos para cães e gatos. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o processo de secagem por *air frying* a 90°C na obtenção do coração suíno fatiado e moído desidratados, além de analisar as suas propriedades físico-químicas e comparar com corações comerciais desidratados e *in natura*. Os processos de secagem promoveram a umidade de 0,10 g água · g^{-1} de sólidos secos em 210 min, enquanto a amostra fatiada atingiu 0,09 g água · g^{-1} de sólidos secos em 270 min. A umidade do coração suíno foi superior a 78% para as amostras descongeladas e *in natura*, enquanto as amostras secas e comerciais apresentaram umidade inferior a 12%. A atividade de água nas amostras descongeladas e *in natura* apresentaram resultados estatisticamente iguais (média 0,991) e compatíveis com a literatura, enquanto as amostras secas e comerciais, diferiram estatisticamente entre si, porém todas inferiores a 0,60. As amostras comerciais apresentaram higroscopicidade inferior (9,46 a 10,39 %) em relação às amostras deste trabalho (12,85 a 14,93 %). A cor instrumental demonstrou que o congelamento interferiu na coloração das amostras descongeladas, com redução da tendência ao vermelho (a*) e ao amarelo (b*) em comparação com as amostras *in natura.* As amostras secas apresentaram coloração próxima às amostras comerciais, com exceção das amostras comerciais moídas, que tenderam mais ao amarelo. Os pigmentos heme nas amostras descongeladas e *in natura* foram estatisticamente iguais (3,27 a 4,68) e inferiores às amostras submetidas ao processo de secagem e comerciais (4,09 a 11,44). As amostras descongeladas fatiadas e *in natura* estavam estatisticamente iguais quanto à dureza, que aumentou após a secagem. A maior dureza do coração comercial fatiado (214,98 N) está relacionada a sua maior espessura. Houve maior encolhimento das amostras secas fatiadas (38,5 %) do que as amostras secas moídas (28,6 %) após a secagem. Diante do exposto, observou-se que o processo de secagem por *air fryer* a 90°C apresentou resultados promissores em relação a outros métodos, visto que houve uma redução significativa da umidade dos corações moídos e fatiados em um menor tempo de processo. Sendo assim, a utilização da *air fryer* pode ser importante para o desenvolvimento de

processos industriais para vísceras desidratadas como o coração e outras, ofertando mais opções ao setor *pet food*.
Palavras-chave: *Pet food*. Coração suíno. Secagem. *Air Fryer*. Físico-química.

ABSTRACT

Brazil is second in the world ranking with the largest population of pets, and this sector is the one that most favors the country's economy, due to new trends generated by industries, intending to meet the demands of those responsible for pets. The generation of a large number of by-products from the slaughter of big animals has encouraged the study of the nutritional properties of this offal, to produce pet food that ensures the identity of the raw material, in addition to maintaining the quality of nutrients, including snacks for dogs and cats. Thus, the objective of this work was to evaluate the drying process by air frying at 90°C in obtaining dehydrated sliced and ground pork hearts, in addition to analyzing their physicochemical properties and comparing them with dehydrated and fresh commercial hearts. The drying processes promoted a moisture content of 0.10 g water · g^{-1} of dry solids in 210 min, while the sliced sample reached 0.09 g water · g^{-1} of dry solids in 270 min. The moisture content of the pork heart was greater than 78% for the thawed and fresh samples, while the dry and commercial samples had a moisture content of less than 12%. The water activity in the thawed and fresh samples presented statistically equal results (average 0.991) and compatible with the literature, while the dry and commercial samples differed statistically from each other, but all were lower than 0.60. The commercial samples showed lower hygroscopicity (9.46 to 10.39 %), compared to the samples in this work (12.85 to 14.93 %). Instrumental color demonstrated that freezing interfered with the color of thawed samples, reducing the tendency to red (a*) and yellow (b*) compared to fresh samples. The dry samples presented a color similar to the commercial samples, except the ground commercial samples, which tended more towards yellow. The heme pigments in the thawed and fresh samples were statistically equal (3.27 a 4.68) and lower than the samples subjected to the drying process and commercial samples (4.09 a 11.44). The thawed sliced and fresh samples were statistically equal for hardness, which increased after drying. The greater hardness of the sliced commercial heart (214.98 N) is related to its greater thickness. There was greater shrinkage of the sliced dry samples (38.5 %) than the ground dry samples (28.6 %) after drying. In view of the above, we observed that the fryer drying process at 90°C presented promising results in relation to other methods, as there was a significant reduction in the humidity of the ground and sliced hearts in a shorter process time. Therefore, the use of the air fryer can be important for the development of industrial processes for dehydrated viscera such as heart and others, offering more options to the pet food sector.

Keywords: Pet food. Pork heart. Drying. Air Fryer. Physicochemical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma das principais etapas do abate de suínos, que interferem na obtenção das vísceras.....15
Figura 2. Coração suíno *in natura*.....16
Figura 3. Pericardite.....17
Figura 4. Etapas realizadas para a obtenção das amostras de coração suíno moídas e fatiadas..20
Figura 5. Etapas realizadas para a execução da secagem.....21
Figura 6. Amostras comerciais de coração suíno desidratado: (1) coração comercial moído; (2) coração comercial fatiado.....22
Figura 7. Analisador de atividade de água (Aw).....23
Figura 8. Amostras acondicionadas em dessecador.....24
Figura 9. Colorímetro digital.....25
Figura 10. Quantificação dos pigmentos heme: a) Amostras após uma hora ao abrigo de luz; b) Filtração do extrato; c) Espectofotômetro utilizado para medir a absorbância.....26
Figura 11. Execução da análise de dureza no texturômetro universal.....27
Figura 12. Probe utilizada na análise de dureza.....27
Figura 13. Medição do diâmetro final da amostra desidratada pelo paquímetro digital.....28
Figura 14. Paquímetro digital.....28
Figura 15. Evolução temporal da umidade (b.s.) das amostras fatiadas e moídas de coração suíno, durante a cinética de secagem pela *air fryer* a 90°C.....30
Figura 16. Evolução do aspecto visual e encolhimento das amostras moídas durante a cinética de secagem.....31
Figura 17. Evolução do aspecto visual e encolhimento das amostras fatiadas durante a cinética de secagem.....32
Figura 18. Amostras de coração suíno: (a) moído seco; (b) fatiado seco; (c) comercial fatiado e (d) comercial moído.....38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Umidade do coração suíno em diferentes tratamentos.....33
Tabela 2. Atividade de água coração suíno em diferentes tratamentos.....34
Tabela 3. Higroscopicidade do coração suíno em diferentes tratamentos.....36
Tabela 4. Cor instrumental do coração suíno em diferentes tratamentos.....37
Tabela 5. Pigmentos heme do coração suíno em diferentes tratamentos.....39
Tabela 6. Dureza do coração suíno em diferentes tratamentos.....40
Tabela 7. Espessura do coração suíno em diferentes tratamentos.....40
Tabela 8. Encolhimento do coração suíno em diferentes tratamentos.....41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14
2.1. Suinocultura 14
2.2. Obtenção e características das vísceras suínas 14
2.3. Coração Suíno 16
2.4. Secagem 17
2.5. Secagem por *air frying* 18
2.6. Produção de *snacks* para animais de pequeno porte 18
3. METODOLOGIA 19
3.1. Preparação da matéria-prima 19
3.2. Cinética de secagem 20
3.3. Obtenção das amostras comerciais 21
3.4. Caracterização físico-química do coração suíno *in natura*, após o descongelamento, do produto final (*pet food*) e das amostras comerciais 22
3.4.1. Umidade 22
3.4.2. Atividade de água (Aw) 23
3.4.3. Higroscopicidade 23
3.4.4. Cor instrumental 24
3.4.5. Quantificação de pigmentos heme totais 25
3.4.6. Textura instrumental 26
3.4.7. Grau de encolhimento 28
3.4.8. Análise estatística 29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
4.1. Cinética de secagem 30
4.2. Caracterização físico-química do coração suíno *in natura*, após o descongelamento, do produto final (*pet food*) e das amostras comerciais 32
4.2.1. Umidade 32
4.2.2. Atividade de água (Aw) 34
4.2.3. Higroscopicidade 35
4.2.4. Cor instrumental 36
4.2.5. Quantificação de pigmentos heme totais 38

4.2.6. Textura instrumental 39
4.2.7. Grau de encolhimento 41
5. CONCLUSÃO 42
6. REFERÊNCIAS 43

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo colocado no ranking com maior população de animais de estimação (139,3 milhões de *pets*), demonstrando a importância desse setor na economia nacional. Em 2021, a indústria *pet* no Brasil faturou 35,8 bilhões de reais, um número consideravelmente alto em relação ao ano de 2018, em que o país faturou 20,3 bilhões de reais. Vale ressaltar que o setor de *pet food* representa 73,9% do faturamento de todo o mercado *pet*, ou seja, é o setor que mais favorece a economia do país (Abinpet, 2023).

O momento pandêmico vivenciado pelo Brasil modificou significativamente o mercado de consumo em geral, visto que as *startups* e empresas de novos ramos tomaram parte do espaço das empresas que antes eram consideradas inovadoras. Sendo assim, o setor *pet* teve um grande crescimento devido às novas tendências geradas pelas indústrias, com intuito de atender às exigências dos responsáveis pelos *pets* (Sebrae, 2022). A redução do número de filhos pelas famílias e o aumento da expectativa de vida do brasileiro é outro fator que vem favorecendo a grande expansão do mercado *pet*, levando ao aumento no consumo de alimentos destinados a esses animais (Elizeire, 2013).

A procura por alimentos que atendam as necessidades nutricionais dos animais de estimação e a preocupação com a qualidade desses alimentos, combinado com a humanização das indústrias, levou ao surgimento de produtos no setor *pet food* com apelo "natural". Essa mudança desejada pelos tutores dos *pets* tem ocorrido devido ao fato de que alguns tipos de alimentos, como as carnes cruas e alimentos caseiros, podem ocasionar deficiências, desequilíbrios nutricionais e riscos à saúde dos animais (Saad; França, 2010). No entanto, alguns tutores ainda preferem formular alimentos caseiros para os seus *pets*, pois acreditam que esta forma de preparar as dietas diminui o custo, os aproxima dos animais ou porque a consideram mais nutritivas.

Nesse contexto, considera-se a nutrição um fator imprescindível na manutenção da saúde e do bem-estar animal, levando em conta que as dietas destinadas aos animais domésticos dependem das preferências de seus tutores (Aptekmann *et al*., 2013). Dessa forma, novos ingredientes proteicos estão sendo utilizados para apoiar a continuidade do crescimento do mercado *pet food*, que está sendo cada vez mais exigido pelos proprietários dos animais, além do desenvolvimento de novos produtos que ajudam a manter uma dieta com qualidade e suprir as necessidades nutricionais (Donadelli *et al*., 2019).

Tendo em vista a saúde, nutrição e o bem-estar dos *pets*, as indústrias e os pesquisadores estão dando uma importância maior para o estudo das propriedades nutricionais e tecnológicas

das vísceras dos animais de grande porte, com intuito de produzir um *pet food* que assegure a identidade da matéria-prima, além de manter a qualidade dos nutrientes. Em razão disso, muitos petiscos desidratados estão sendo compostos apenas por um único ingrediente, por exemplo a carne suína, bovina e aves, as quais são biologicamente apropriadas para os *pets*.

O consumo de carne suína pela população brasileira é bem alto (cerca de 18 kg/*per capita* no ano de 2022). A produção dessa carne no Brasil teve um aumento significativo de 3,643 para 4,983 milhões de toneladas entre os anos de 2015 e 2022, sendo que 22,48% da produção é destinada ao mercado externo. Tendo em vista esta alta produção de suínos, fica evidente a geração de grandes quantidades de subprodutos durante o processo de abate. Vale ressaltar que, no Brasil, os miúdos são utilizados para consumo direto em menor quantidade ou apenas como ingrediente para o processamento de produtos cárneos (ABPA, 2023; Da Costa *et al*., 2019).

Embora a aceitação dos miúdos provenientes dos suínos seja baixa, os mesmos são ricos em proteínas, apresentam alto valor nutricional, custo relativamente baixo, além de contribuir com o aumento da estabilidade de produtos processados (Toldrá *et al*., 2012 *apud* Da Costa *et al*., 2019). Entretanto, a adição de subprodutos em embutidos emulsionados, por exemplo, é limitada a 10%, não sendo comum a adição de um grande teor de miudezas, levando a um excedente desses subprodutos (Da Costa *et al*., 2019).

Os subprodutos dos animais abatidos incluem corações, fígados, rabos, rins, línguas e cérebro (Ockerman e Hansen, 2000 *apud* Marti; Johnson; Mathews, 2011). O coração suíno apresenta quantidades significativas de ferro, além de ser uma boa fonte de zinco, selênio, fósforo, niacina e riboflavina (Marti; Johnson; Mathews, 2011), que são considerados fontes de vitaminas e minerais essenciais para a manutenção do organismo dos *pets*.

Diante do exposto, a partir do coração suíno como matéria-prima, pode-se originar um petisco com alto valor agregado contendo propriedades nutricionais essenciais para os *pets*. Além disso, a mastigação do produto é capaz de promover redução do estresse, resultando, assim, no bem-estar dos animais de pequeno porte. Assim, este trabalho tem como objetivo principal realizar a secagem do coração suíno por *air frying* e avaliar o impacto dessa metodologia no produto final obtido. Como objetivos específicos, têm-se:

- ✓ Avaliar o processo de secagem por *air frying* a 90 °C do coração suíno fatiado e moído e avaliar a evolução temporal da umidade nesta condição;
- ✓ Analisar as propriedades físico-químicas do produto fresco, descongelado, seco e de amostras comerciais secas quanto a: a atividade de água, cor instrumental, textura, grau de encolhimento, higroscopicidade e o teor de pigmentos heme.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Suinocultura

A suinocultura é responsável pelo grande fornecimento de matéria-prima para as indústrias de alimentos nacionais e internacionais. Devido às exigências do mercado consumidor atual, essa atividade está passando por várias adaptações quanto à melhoria da qualidade da carne, segurança de alimentos, restrição ao uso de antimicrobianos, proteção ambiental, rastreabilidade da produção e bem-estar animal (Sebrae, 2016).

A carne suína, em comparação com a carne de aves, é a proteína mais consumida mundialmente, o que torna a suinocultura uma das atividades mais difundidas no setor da agropecuária. Apesar da alta produção de suínos no Brasil, que foi cerca de 4.983 mil toneladas no ano de 2022, o consumo é liderado por outros países (ABPA, 2023). Segundo a *United States Department of Agriculture* (USDA, 2024), em 2023, os maiores consumidores de carne suína foram a China (58,683 milhões de toneladas), União Europeia (18,400 milhões de toneladas), Estados Unidos (9,839 milhões de toneladas) e o Brasil (3,152 milhões de toneladas).

O Brasil é um dos maiores países exportadores de carne suína. Em 2022 o país exportou 1.120.553 toneladas dessa proteína, sendo que 75.667 toneladas foram de miúdos. A Ásia é o continente que mais importou a carne suína brasileira, cerca de 72,92%, o que correspondeu a 803.604 toneladas (ABPA, 2023).

2.2. Obtenção e características das vísceras suínas

Classificada como carne vermelha, a carne suína é uma fonte, principalmente, de proteínas, além de ser rica em nutrientes essenciais, minerais, vitaminas e aminoácidos (Goulart, 2013). A composição dessa carne é dada, em média, por 72% de água, 20% de proteína, 7% de gordura e 1% de minerais, sendo que menos de 1% da carne é composta por carboidratos (Sarcinelli; Venturini, 2007).

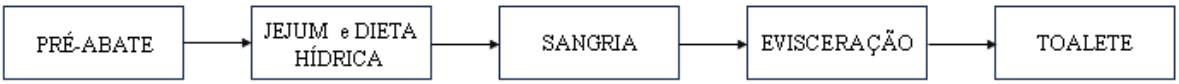
Vale ressaltar que existem alguns fatores que influenciam na composição química da carne, como a raça, espécie animal, tipo de alimentação, sexo, bem como o músculo que será analisado. Por outro lado, as propriedades físicas, como a cor, textura, dureza, estão relacionadas com a capacidade de retenção de água da carne, envolvendo, também, o pH final (Ordóñez *et al.*, 2005).

Os subprodutos suínos são divididos em comestíveis e não comestíveis. Estes últimos, em especial os ossos e o sangue, são comercializados para a fabricação de rações. Em

contrapartida, existe uma subdivisão quanto aos subprodutos comestíveis, sendo compostos pelas vísceras vermelhas (coração, rins, pulmão e fígado) e pelas vísceras brancas (estômago e intestino). Vale evidenciar que os subprodutos comestíveis mencionados são considerados carne, visto que são caracterizados como um tecido muscular animal (Gomide; Ramos; Fontes, 2014).

Existem algumas etapas principais durante o processamento de abate e pré-abate de suínos, que interferem na obtenção dos subprodutos, como apresentado na Figura 1 (Gomide; Ramos; Fontes, 2014).

Figura 1. Fluxograma das principais etapas do abate de suínos, que interferem na obtenção das vísceras.



Fonte: Autora, 2024.

O manejo pré-abate adequado é fundamental para obtenção de uma carne com qualidade, visto que as etapas de carregamento, transporte e condução ao abate, podem induzir o animal a um estresse fisiológico e psicológico, causando anomalias, como a carne escura, firme e seca (DFD), carne pálida, flácida e exsudativa (PSE) e carne vermelha, porém flácida e exsudativa (RSE). O jejum e a dieta hídrica, etapas que também antecedem o abate, têm como objetivo esvaziar o trato gastrintestinal, minimizando o derramamento do conteúdo fecal contaminante na carcaça e nas vísceras, durante o processo de evisceração (Gomide; Ramos; Fontes, 2014).

Imediatamente após a etapa de insensibilização do animal realiza-se a sangria, sendo que esse tempo entre a insensibilização e a sangria não deve ultrapassar 30 segundos, com o intuito de impedir uma “evisceração tardia” na etapa de evisceração. A sangria deve ocorrer completamente, visto que as próximas etapas não podem ser iniciadas caso o sangue não tenha escoado ao máximo, pois o sangue retido nas vísceras inviabiliza o uso das mesmas (Brasil, 1995).

Após as etapas de escaldagem, depilação e lavagem, que ocorrem na área suja do frigorífico, inicia-se a etapa limpa com a operação de evisceração. Primeiramente, o tubo gastrointestinal é removido de uma só vez e a oclusão das extremidades do tubo digestivo é realizada para evitar o vazamento do conteúdo intestinal. Em seguida, as vísceras vermelhas

são retiradas, dispostas em mesas rolantes e inspecionadas pelos técnicos da inspeção federal. Posteriormente, as vísceras provenientes de animais sadios, passam pela toalete, onde são lavadas e limpas (Gomide; Ramos; Fontes, 2014).

2.3. Coração Suíno

O coração (Figura 2) é um dos principais miúdos que compõe os suínos, apresentando um sabor suave e uma textura que tende a ser mais firme, devido a presença dos músculos. Embora essa víscera apresente uma proporção de apenas 0,32% em relação ao suíno pesado na granja, há um grande volume de carcaças suínas abatidas ao ano, gerando um grande volume de vísceras (Gomide; Ramos; Fontes, 2014). De acordo com Ferreira *et al*. (2020), o coração suíno *in natura* possui 76,72±0,35 (%) de umidade, 14,86±1,99 (%) de proteínas, 4,98±1,12 (%) de gordura, 0,98±0,02 (%) de cinzas e 2,46±0,01 (%) de carboidratos. Sendo assim, essa víscera é considerada uma excelente fonte de proteína animal para os produtos.

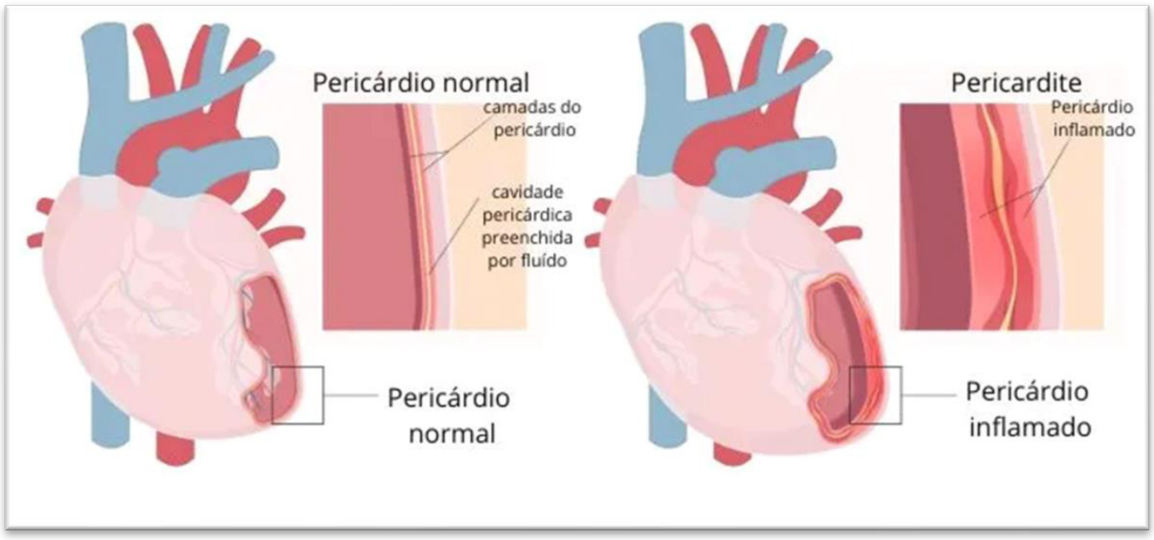
Figura 2. Coração suíno *in natura*.



Fonte: Autora, 2024.

Durante a inspeção do coração na etapa de abate, algumas técnicas são exercidas para saber se o coração será condenado ou não. Uma delas é a inspeção visual da víscera e do pericárdio, além do corte do saco pericárdico, com intuito de verificar uma possível pericardite (Figura 3) causada por bactérias, e assim, condenar o órgão na mesa de inspeção. As vísceras que não forem condenadas, são continuamente encaminhadas para o congelamento ou salga, dependendo da finalidade do produto, sendo que é proibida a permanência destas nas seções finais do processo de abate (Brasil, 1995).

Figura 3. Pericardite.



Fonte: *Google* imagens.

2.4. Secagem

O método de conservação a partir da secagem, é um dos processos mais antigos e empregados para conservação de alimentos. A secagem (ou desidratação) pode ser realizada pela aplicação de calor em condições controladas de temperatura, com o intuito de eliminar a maior parte de água presente no alimento a partir da evaporação (Fellows, 2006). Diversas variáveis, como a espessura, largura, comprimento, forma do material a ser seco, umidade do material, além do fornecimento de calor, influenciam diretamente na secagem, levando à existência de vários equipamentos e tratamentos matemáticos dos dados obtidos (Gauto; Rosa, 2011).

Assim, os principais objetivos da secagem são a redução da umidade e da atividade de água, inibindo o crescimento microbiano, reduzindo reações bioquímicas e enzimáticas responsáveis pela redução da vida útil dos alimentos, além de interferir nas mudanças relacionadas aos aspectos físico-químicos (Fellows, 2006; Celestino, 2010). Outras vantagens que podem ser destacadas do processo de secagem são a redução de custos de armazenamento, embalagem e transporte para diversos produtos.

2.5. Secagem por *air frying*

Os métodos térmicos são extremamente importantes para a produção de alimentos. Desse modo, a fritura elétrica ao ar tornou-se popular para o preparo doméstico de alimentos, visto que pela *air fryer* é possível realizar a fritura sem a utilização de óleos vegetais, por exemplo e, mesmo assim, obter uma qualidade semelhante ao produto frito em óleo ou gordura. Vale evidenciar que a fritura nada mais é do que desidratar um alimento através de uma fonte de transferência de calor, como o óleo, gordura, ar ou até mesmo o contato direto com o alimento (Ngan *et al*., 2023).

Nesse tipo de desidratação elétrico a ar, a temperatura do ar e o período de tempo de processo podem ser ajustados, preservando os macronutrientes dos alimentos. O ar quente que circula em alta velocidade pelo equipamento, provém de um sistema de ventilação, que aquece simultaneamente os alimentos, superando a baixa velocidade dos fornos convencionais (Rani *et al*., 2023).

2.6. Produção de *snacks* para animais de pequeno porte

Os petiscos para *pets* tornaram-se uma excelente oportunidade de investimento, pois os tutores dão esse tipo de alimento aos seus animais com intuito de demonstrar afeto. Entretanto, existem algumas características que devem estar presentes nos petiscos, tornando-os produtos com maior qualidade, como aspectos funcionais e nutricionais, além do sabor e palatabilidade (Vogler, 2021).

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os alimentos para animais, particularmente os petiscos, fazem parte da categoria de produto específico (biscoitos e bifinhos) e produto mastigável (palitos de raspa de couro e ossos). Na categoria de produtos específicos, o alimento pode ser composto por matérias-primas, ingredientes ou aditivos designados à alimentação de animais de companhia, com objetivo de agradar ou recompensar os *pets*. Por conseguinte, na categoria de alimentos mastigáveis, o produto pode ser composto à base de subprodutos de origem animal e, possivelmente, acrescido de ingredientes de origem vegetal. A produção de um alimento mastigável visa a diversão e o agrado ao *pet*, sendo que o valor nutricional é considerado desprezível (Brasil, 2009). Vale ressaltar que muitos desses petiscos são produzidos a partir de processos de desidratação e por também serem produtos nutritivos, o acompanhamento e controle do processo produtivo é importante para minimizar perdas de nutrientes essenciais aos animais.

3. METODOLOGIA

3.1. Preparação da matéria-prima

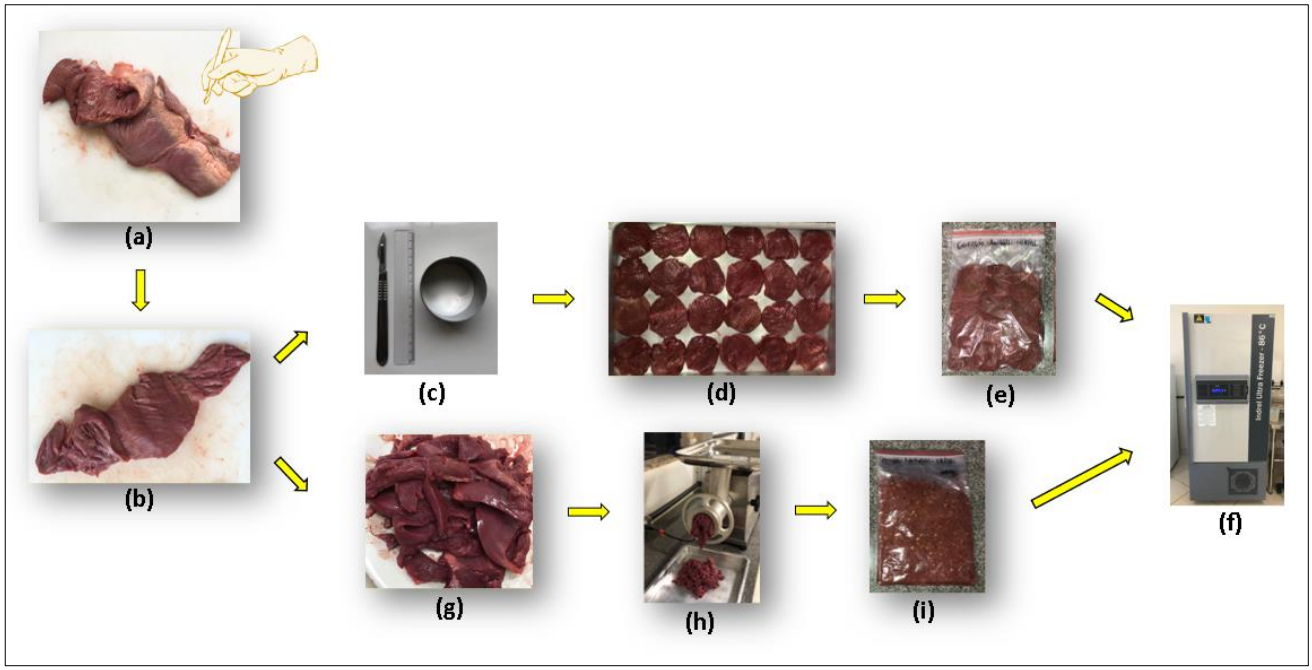
Os corações suínos frescos procedentes do abatedouro local da cidade de Patos de Minas - MG, Brasil, foram obtidos em condições higiênico-sanitárias apropriadas. Após a inspeção sanitária veterinária, as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo e transportadas até o laboratório da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Patos de Minas, de forma refrigerada.

Na Figura 4 é apresentado um esquema representando as principais etapas de preparo das amostras para a secagem. Assim que a matéria-prima chegou ao laboratório, realizou-se a toalete com auxílio de um bisturi para retirada de estruturas adjacentes (artéria, tecido conjuntivo e gorduras) (Figura 4a, 4b). Imediatamente, as amostras foram submetidas ao fatiamento cilíndrico (Figura 4d) com espessura e diâmetro próximos de 0,5 cm e 6 cm, respectivamente. Para auxiliar nesse procedimento, foram utilizados um bisturi, uma régua e um molde cilíndrico de aço inox (Figura 4c).

Durante o processo de fatiamento, com intuito de aproveitar maior parte da matéria-prima, os retalhos (Figura 4g) que sobraram foram submetidos ao moedor (Figura 4h) e, posteriormente, comparados com as amostras fatiadas.

Após as etapas de fatiamento e moagem, as amostras foram armazenadas em embalagens plásticas feitas de polietileno de baixa densidade (PEBD) contendo *zip lock* (Figura 4e, 4i), e congeladas em *ultrafreezer* (Indrel, modelo IULT335D) a -60°C (Figura 4f).

Figura 4. Etapas realizadas para a obtenção das amostras de coração suíno moídas e fatiadas.



Fonte: Autora, 2024.

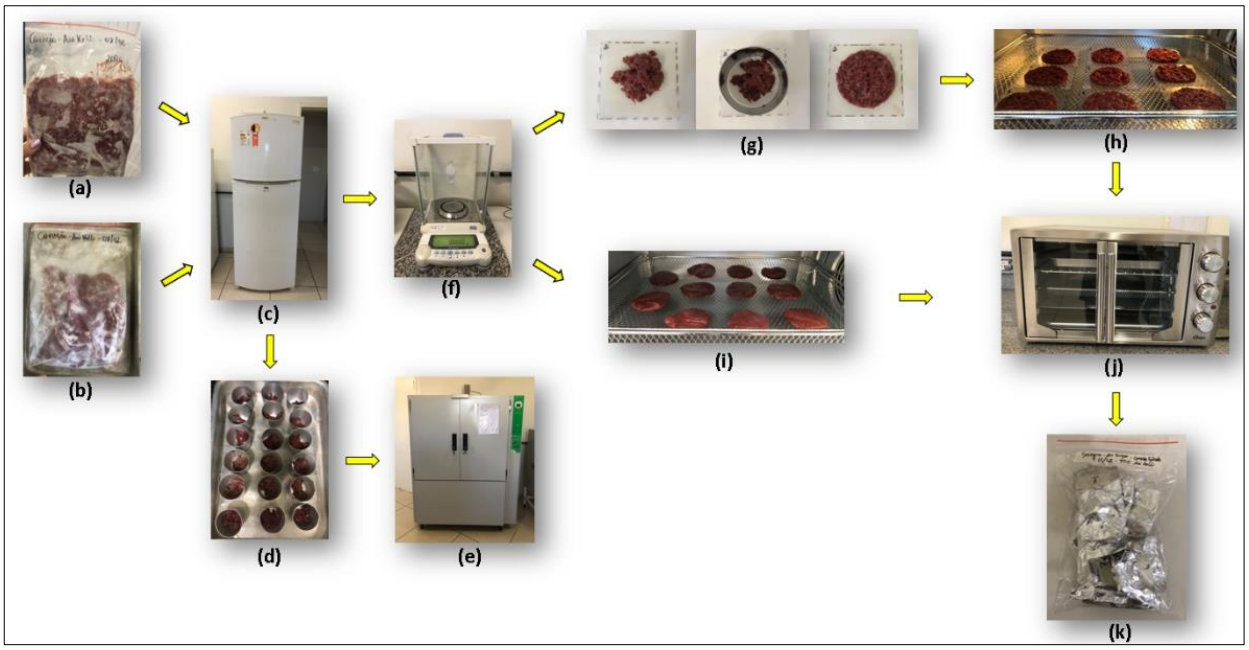
3.2. Cinética de secagem

Para a execução dos experimentos, realizou-se a secagem com triplicatas de amostras e triplicatas de experimentos, os quais foram realizados em dias diferentes, com intuito de analisar a reprodutibilidade dos dados.

Previamente à realização da secagem, as amostras congeladas fatiadas (Figura 5b) foram descongeladas em refrigerador de geladeira (Consul, modelo CRM50ABANA) (Figura 5c) entre 6 e 10°C durante 24 h. Após o descongelamento, as mesmas foram pesadas em balança analítica (Shimadzu, modelo AUW320) (Figura 5f) e dispostas diretamente em uma grade da *air fryer* (Oster, modelo TSSTTVFDMAF-057) (Figura 5i), onde foi realizada a cinética de secagem com uma temperatura de 90 °C, sendo que em intervalos pré-estabelecidos (a cada 10 min durante 1 h e a cada 30 min nas horas seguintes) ocorreu a pesagem das amostras para determinar a evolução temporal da umidade. Uma amostra do material descongelado foi destinada à análise de umidade inicial (Figura 5d).

O mesmo procedimento foi realizado com as amostras moídas. Entretanto, ao invés de serem acondicionadas diretamente na grade da *air fryer*, foram dispostas em filmes de poliéster comercialmente comercializados por nome de *Mylar*, moldadas (Figura 5g) e, somente depois, acondicionadas na grade (Figura 5h e 5j). Para seguir um padrão, aproximadamente 17 g de coração moído foram dispostos em cada placa.

Figura 5. Etapas realizadas para a execução da secagem.



Fonte: Autora, 2024.

De acordo com análises prévias do equipamento e com o auxílio de um anemômetro, observou-se que a velocidade do ar (0,5 m/s próximo ao exaustor e 0,2 m/s no restante do equipamento) não era distribuída de forma homogênea na câmara da *air fryer*. Sendo assim, a partir de 20 min do início do processo, e depois a cada intervalo de pesagem, as amostras eram viradas e mudadas de posição.

Após a secagem das amostras, esperou-se um tempo para atingirem a temperatura ambiente e, em seguida, foram embrulhadas em folhas de alumínio e acondicionadas em embalagens plásticas (Figura 5k), com intuito de simular uma embalagem comercial. E, ainda, para evitar que o produto absorvesse umidade durante o armazenamento, a embalagem foi acondicionada em um dessecador até o dia da execução das análises físico-químicas.

3.3. Obtenção das amostras comerciais

As amostras comerciais de coração suíno desidratado, apresentadas na Figura 6, foram obtidas por meio de lojas virtuais e submetidas às análises físico-químicas, para posterior comparação com o produto final desenvolvido durante o trabalho. Vale ressaltar que as amostras denominadas moídas foram desintegradas e, posteriormente, desidratadas, o que resultou na comercialização de pedaços de coração suíno. Sendo assim, após a abertura da embalagem, as amostras foram submetidas às análises.

Figura 6. Amostras comerciais de coração suíno desidratado: (1) coração comercial moído; (2) coração comercial fatiado.



Fonte: Autora, 2024.

3.4. Caracterização físico-química do coração suíno *in natura*, após o descongelamento, do produto final (*pet food*) e das amostras comerciais

3.4.1. Umidade

A determinação do teor de umidade das amostras foi realizada de acordo com a metodologia proposta pela AOAC (2005), adaptada. Primeiramente, os cadinhos de alumínio foram aquecidos em estufa a 105 °C por 1 h e, posteriormente, resfriados em dessecador até atingirem a temperatura ambiente. Em seguida, foram previamente pesados em balança analítica (Shimadzu, modelo AUW320) e tarados, para que fosse possível pesar aproximadamente 3 g de amostras e, em seguida, destiná-los à estufa (Ethik Technology, modelo 400-TD), onde permaneceram a uma temperatura de 105 °C por 24 h. Ao término do acondicionamento na estufa, os cadinhos foram destinados ao dessecador até atingirem a temperatura ambiente e pesados em balança analítica. Os resultados dos teores de umidade em base úmida e base seca foram obtidos pelas Equações 1 e 2:

$$X = \frac{m - m_{ss}}{m} x100 \quad (1)$$

Em que, X é a umidade da amostra em base úmida (%), m é a massa úmida da amostra (massa de água + massa de sólidos secos) (g), m_{ss} é a massa de sólidos secos (g).

$$U(b.s.) = \frac{M_{amostra} - M_{seca}}{M_{seca}} \quad (2)$$

Em que, $U(b.s.)$ é a umidade da amostra em base seca (g água · g sólido seco^{-1}), $M_{amostra}$ é a massa da amostra obtida em cada intervalo analisado durante a secagem na *air fryer* (g), M_{seca} é a massa de sólidos secos (g).

3.4.2. Atividade de água (Aw)

A atividade de água (Aw) das amostras foi determinada pelo analisador digital (Aqualab, modelo PRE DEW) a 23 ± 2°C. Para ocorrer a leitura direta, as amostras foram acondicionadas no fundo de uma cápsula e introduzidas no equipamento (Figura 7).

Figura 7. Analisador de atividade de água (Aw).



Fonte: Autora, 2024.

3.4.3. Higroscopicidade

A higroscopicidade das amostras foi avaliada de acordo com a metodologia proposta por Cai e Corke (2000), com algumas adaptações. Aproximadamente 1 g de cada amostra seca foi disposto em recipientes metálicos e acondicionados em dessecador contendo uma solução saturada de NaCl (umidade relativa de 75,29%) (Figura 8) à temperatura ambiente, durante 7 dias. Após o término do acondicionamento, as amostras foram pesadas e a higroscopicidade calculada pelas Equação 3.

$$H = \frac{U_{ads} * 100}{M_{seca}} \quad (3)$$

Em que, H é a higroscopicidade (g de umidade adsorvida / 100 g de sólidos secos), U_{ads} é a umidade adsorvida da amostra (g), M_{seca} é a massa de sólidos secos (g).

Figura 8. Amostras acondicionadas em dessecador.



Fonte: Autora, 2024.

3.4.4. Cor instrumental

A cor instrumental foi determinada pela leitura direta das amostras em colorímetro digital (Minolta, modelo CR400) (Figura 9). Os parâmetros de cor avaliados foram expressos de acordo com a escala CIELab (L*, a*, b*), em que L* representa a luminosidade (0 a 100 - preto ao branco) e a* e b* indicam as coordenadas de cromaticidade (-a = verde e +a = vermelho; -b = azul e +b = amarelo).

Figura 9. Colorímetro digital.



Fonte: Autora, 2024.

3.4.5. Quantificação de pigmentos heme totais

Para realizar a quantificação de pigmentos heme totais presentes nas amostras, utilizou-se o método de Horsey adaptado (Ramos, Gomide, 2017). Primeiramente, preparou-se a solução de extração (acetona ácida) de acordo com cada amostra a ser analisada, sendo que a quantidade dos reagentes utilizados (acetona e ácido clorídrico) para fazer cada solução, foi calculada de acordo uma tabela disposta no método mencionado. A solução ficou estocada em um frasco âmbar vedado, dentro do refrigerador a 4°C até a realização das análises.

No dia das análises, 2 g de cada amostra foram pesados em balança analítica e adicionados em tubos de ensaio com tampa, juntamente com a solução de extração, e homogeneizados. Posteriormente, os tubos permaneceram durante 1 hora em temperatura ambiente e ao abrigo de luz, para evitar a perda da coloração original dos pigmentos. Após o tempo determinado (Figura 10a), o extrato foi filtrado (Figura 10b) e transferido para uma cubeta de vidro. Esta foi acondicionada no Espectofotômetro Visível (EVEN) (Figura 10c), sendo que a absorbância foi lida a 640 nm contra o branco (solução de extração). Para a quantificação de pigmentos heme totais (C_p) (Equação 5), foi necessário determinar, primeiramente, a concentração de hematita ácida (C_h) (Equação 4).

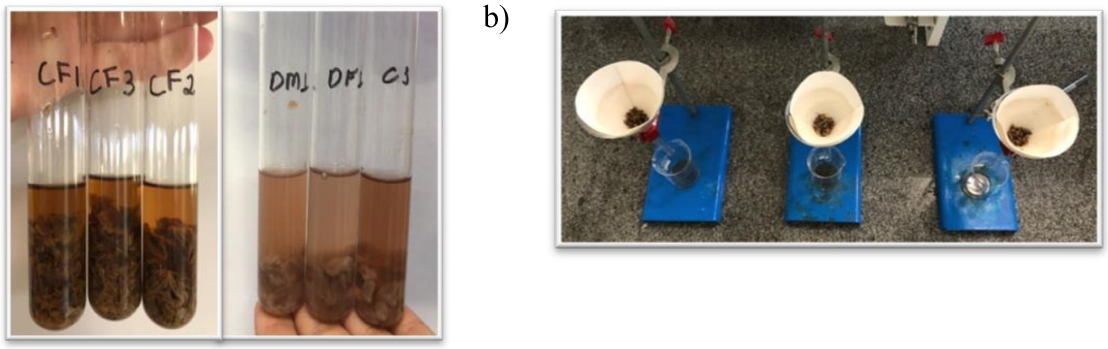
$$C_h = 67{,}92 \cdot V_d \cdot A_{640nm} \quad (4)$$

$$C_p = 0{,}026 \cdot C_h \quad (5)$$

Em que, C_h é a concentração de hematina ácida (µg de hematina/g de amostra); C_p é a concentração de pigmentos heme totais (mg de pigmentos heme totais/g de amostra), A_{640nm} é a absorbância obtida pelo equipamento; V_d é o volume total de diluição (mL).

Figura 10. Quantificação dos pigmentos heme: a) Amostras após uma hora ao abrigo de luz; b) Filtração do extrato; c) Espectofotômetro utilizado para medir a absorbância.

a) b)



c)



Fonte: Autora, 2024.

3.4.6. Textura instrumental

A textura, representada pela da dureza (N) presente na amostra, foi determinada pela análise do perfil de textura (TPA), utilizando o texturômetro universal *TAXT Plus (Stable Micro System, Surrey, UK)*, apresentado na Figura 11, e uma probe cilíndrica de aço inox com 2 mm (Figura 12). O equipamento foi calibrado com um peso de 2000 g e a probe, já fixada, foi calibrada com uma distância de retorno de 20 mm, velocidade de retorno de 10 mm/s e força

de contato de 50 g. Outros parâmetros utilizados foram os seguintes: modo de teste (compressão), velocidade de teste (5 mm/s) e uma tensão de 70%.

Para realizar os testes, as amostras foram acondicionadas no suporte de aço inoxidável do equipamento e perfuradas pela probe, com exceção das amostras descongeladas moídas. Com isso, a força expressa em Newton (N), foi determinada diretamente através das curvas de tensão em função do tempo, estabelecendo a força máxima necessária para que as amostras fossem perfuradas. Os dados foram obtidos pelo *Software "Texture Expert for Windowns"* - versão 1.20 *(Stable Micro Systems).*

Figura 11. Execução da análise de dureza no texturômetro universal.



Fonte: Autora, 2024.

Figura 12. Probe utilizada na análise de dureza.



Fonte: Autora, 2024

3.4.7. Grau de encolhimento

O grau de encolhimento em porcentagem (Equação 6) foi realizado apenas com as amostras descongeladas e desidratadas (Figura 13) com o auxílio de um paquímetro digital (MTX, Matrix Tools for Existence, modelo 316119) de 150 mm (Figura 14), por meio da medida do comprimento da amostra antes e após a secagem.

$$E(\%) = \frac{(D_{inicial} - D_{final})}{D_{inicial}} * 100 \quad (6)$$

Em que, $E(\%)$ é o grau de encolhimento em porcentagem, o $D_{inicial}$ é o diâmetro inicial da amostra (após o descongelamento) e D_{final} é o diâmetro final das amostras (após a secagem).

Figura 13. Medição do diâmetro final da amostra desidratada pelo paquímetro digital.



Fonte: Autora, 2024.

Figura 14. Paquímetro digital.



Fonte: Autora, 2024.

3.4.8. Análise estatística

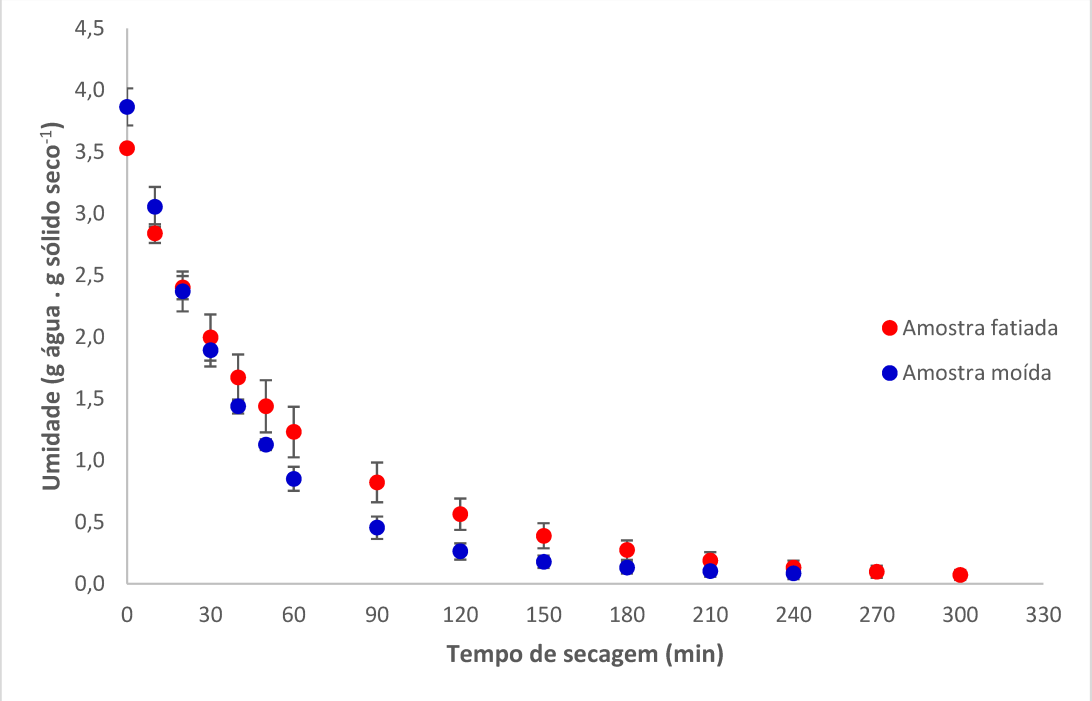
Os resultados das análises foram avaliados estatisticamente utilizando o *software* estatístico JAMOVI versão 3.2.3. Para resultados em que as variâncias não foram homogêneas, houve avaliação a partir da Análise de Variância (ANOVA) com correção *Welch* e teste de médias (*post hoc*) *Games-Howell* (para variâncias heterogêneas). Em análises que não houve normalidade dos dados e as variâncias não foram homogêneas, utilizou-se o método não-paramétrico *Kruskal Wallis* com *post hoc Dwass Steel Critchlow Fligner*. O teste t de *Student* foi utilizado em análises com apenas duas amostras independentes, dados normais e variâncias homogêneas. E, por fim, o Teste de Tukey com nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cinética de secagem

Os valores iniciais de umidade em base seca (g água · g sólido seco^{-1}) das amostras fatiadas e moídas foram de 3,5293 e 3,8638, respectivamente. Pode-se observar pela Figura 15, que a partir das curvas de cinética de secagem, as amostras fatiadas atingiram uma umidade final de 0,0713 (g água · g sólido seco^{-1}) em 5 h, enquanto as amostras moídas atingiram uma umidade muito próxima, 0,0841 (g água · g sólido seco^{-1}), em 4 h. Essa parada foi determinada a partir da medida de valores constantes de massa após pesagens sucessivas. Vale ressaltar que a umidade (b.s.) observada em cada ponto foi obtida a partir da Equação 1.

Figura 15. Evolução temporal da umidade (b.s.) das amostras fatiadas e moídas de coração suíno, durante a cinética de secagem pela *air fryer* a 90°C.



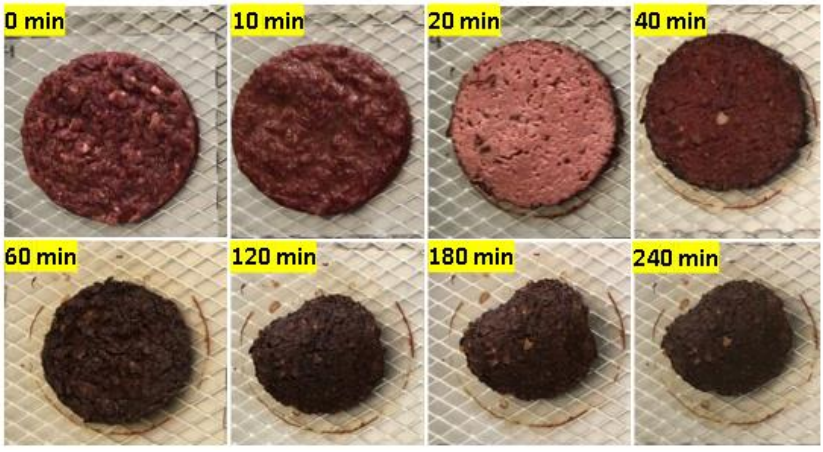
Fonte: Autora, 2024.

A temperatura de 90°C foi definida, visto que é a menor temperatura oferecida pelo equipamento e, além disso, em altas temperaturas pode ocorrer a indução da degeneração de proteínas termicamente instáveis, reação enzimática e degradação de vitaminas (Prabhakar, Mallika, 2014). Nessa temperatura, de acordo com a Figura 15, observa-se que as amostras moídas e fatiadas apresentaram comportamentos distintos no decorrer da secagem. As primeiras

perderam umidade mais rapidamente, atingindo a umidade de 0,10 g água · g^{-1} de sólidos secos em 210 min, enquanto a amostra fatiada atingiu 0,09 g água · g^{-1} de sólidos secos em 270 min. Essa diferença de tempo é justificada pelo fato de que a carne desintegrada gera maior quantidade de canais, que permitem a difusão mais facilitada da água. E, por outro lado, na secagem das amostras fatiadas ocorre a difusão da água pelos poros do alimento, fibras do tecido muscular do coração, visto que o tecido da carne se apresenta de forma mais compactada, aumentando a barreira para a saída de água e, consequentemente, o tempo de secagem é prolongado.

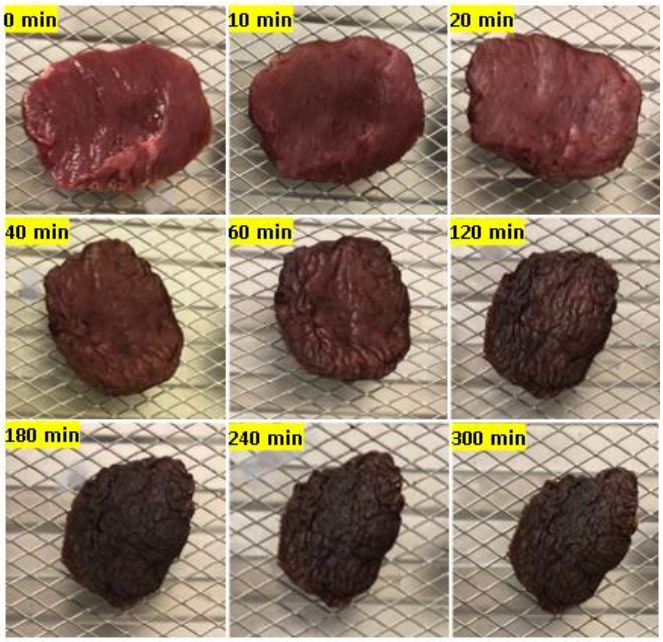
Nas Figuras 16 e 17 estão apresentadas a evolução visual das amostras durante a cinética de secagem do coração moído e do coração fatiado, respectivamente. No decorrer do tempo de secagem, com a perda de água, pode-se observar que houve o escurecimento e o encolhimento das amostras. Na Figura 15, a cor mais esbranquiçada observada aos 20 min de secagem ocorreu devido a viragem das amostras. As mesmas foram dispostas em filmes de *Mylar* e, com isso, o ar convectivo submetido pela *air fryer* atingiu apenas a superfície superior. O mesmo não aconteceu com as amostras fatiadas, pois foram submetidas diretamente na grade do equipamento, facilitando o movimento do ar convectivo e a chegada na parte inferior da amostra durante toda a secagem.

Figura 16. Evolução do aspecto visual e encolhimento das amostras moídas durante a cinética de secagem.



Fonte: Autora, 2024.

Figura 17. Evolução do aspecto visual e encolhimento das amostras fatiadas durante a cinética de secagem.



Fonte: Autora, 2024.

4.2. Caracterização físico-química do coração suíno *in natura*, após o descongelamento, do produto final (*pet food*) e das amostras comerciais

4.2.1. Umidade

Neste trabalho, o teor de umidade entre as amostras apresentou diferença significativa para todos os tratamentos, como mostrado na Tabela 1. Observa-se que as umidades das amostras de coração suíno descongelado e *in natura* foram superiores a 78%, considerando-as altamente perecíveis. O teor de umidade da carne suína não possui uma regulamentação pela legislação brasileira, porém, Costa *et al*. (2019), encontraram um teor de 75,72 ± 1,96% de umidade para o coração suíno, resultado levemente inferior ao valor obtido neste trabalho. Muitas características do próprio animal podem influenciar no valor de umidade do coração, inclusive o menor teor de gordura presente na carne.

Tabela 1. Umidade do coração suíno em diferentes tratamentos.

Amostras	Umidade (%)
Moído descongelado	$78,97 \pm 0,34^{a}$
Fatiado descongelado	$78,01 \pm 0,44^{b}$
In natura	$79,61 \pm 0,43^{c}$
Moído seco	$3,64 \pm 0,43^{d}$
Fatiado seco	$5,08 \pm 0,36^{e}$
Comercial Fatiado	$10,34 \pm 0,55^{f}$
Comercial Moído	$8,19 \pm 0,25^{g}$

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, apresentam diferença significativa entre si (Teste de Tukey a 5% de significância). Fonte: Autora, 2024.

De acordo com Araújo (2011), normalmente a proliferação microbiológica de um alimento será menor quando a umidade atingir teores menores e, consequentemente, o período de armazenamento será maior. No Brasil, os alimentos secos para *pets* devem conter umidade inferior a 12% (Purina Institute, 2023). Como demonstrado na Tabela 1, as amostras descongeladas submetidas a secagem atingiram uma umidade baixa no final do processo, 3,64% para as amostras moídas secas e 5,08% para as amostras fatiadas secas. Esses valores foram inferiores aos encontrados para as amostras comerciais. Entretanto, todos estão dentro do teor estabelecido.

O maior teor de água presente nas amostras comerciais (8,19 % e 10,34 %) pode estar relacionado com o armazenamento prolongado, além das embalagens em que foram acondicionadas, visto que são isentas de aditivos e/ou conservantes. Ao considerar que tais produtos foram produzidos dentro de padrões para consumo e de qualidade aceitáveis, a partir do momento em que são acondicionados nas embalagens, estas serão responsáveis por manter as características e qualidade do produto (Oliveira; Teixeira; Fidelis, 2011). Sendo assim, é fundamental a escolha de uma embalagem com boas propriedades, principalmente a barreira de vapor d´água, atendendo aos requisitos para conservação dos alimentos. A embalagem da amostra comercial moída, inclusive, havia sílica, como uma estratégia para manter a umidade baixa.

4.2.2. Atividade de água (Aw)

Os valores obtidos na análise de atividade de água do coração suíno moído descongelado (0,994), fatiado descongelado (0,988) e *in natura* (0,991), estão dispostos na Tabela 2. De acordo com os resultados, as amostras não apresentaram diferenças significativas, ou seja, o congelamento não influenciou na atividade de água das amostras. De acordo com Prabhakar e Mallika (2014), a atividade de água de alimentos frescos cárneos é de 0,99 e 1,00, valores que coincidem com os resultados obtidos no trabalho.

O alto valor de atividade de água influencia significativamente na vida útil do alimento, devido a maior quantidade de água livre, que propicia a atividade enzimática e o crescimento microbiano (Fellows, 2006)**.** Sendo assim, tanto a carne *in natura* quanto as descongeladas, demonstram a necessidade de serem submetidas ao processo de secagem (ou a um processo de conservação em geral), com intuito de minimizar a perecibilidade.

Tabela 2. Atividade de água coração suíno em diferentes tratamentos.

Amostras	Aw
Moído descongelado	$0,994 \pm 0,002^{a}$
Fatiado descongelado	$0,988 \pm 0,008^{a}$
In natura	$0,991 \pm 0,002^{a}$
Moído seco	$0,350 \pm 0,015^{b}$
Fatiado seco	$0,498 \pm 0,016^{c,e}$
Comercial Fatiado	$0,599 \pm 0,014^{d}$
Comercial Moído	$0,518 \pm 0,009^{e}$

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, apresentam diferença significativa entre si (ANOVA com correção Welch e teste de médias (post hoc) Games-Howell). Fonte: Autora, 2024.

Os valores obtidos na análise de atividade de água do coração suíno moído e fatiado secos variaram de 0,350 a 0,498, e os corações comerciais variaram de 0,518 para 0,599. Essa variação pode ser esclarecida por alguns fatores, que dependem não apenas dos níveis de umidade em si, mas também da forma como a água total deste alimento está distribuída e ligada a outras estruturas químicas. Além disso, o tempo e a temperatura de secagem também são fatores que influenciam na atividade de água do alimento seco. Entretanto, todos esses valores estão dentro da faixa estabelecida para produtos secos (Prabhakar; Mallika, 2014).

Segundo Prabhakar e Mallika (2014), para os alimentos desidratados serem considerados microbiologicamente estáveis, devem apresentar atividade de água inferior a 0,60. Além disso, esta faixa de atividade de água pode ser benéfica para os corações desidratados, visto que, os mesmos autores relatam que a auto oxidação de ácidos graxos pode ser causada com atividade de água inferior a 0,2, rancificando o alimento, o que não ocorreu com nenhum dos tratamentos.

Tanto as amostras comerciais quanto as amostras secas moídas e fatiadas, apresentaram diferenças significativas entre si, com exceção do fatiado seco e comercial moído, que apresentaram valores próximos. Essas diferenças podem ser decorrentes do tipo de processo ocorrido, além dos equipamentos utilizados para desidratar o coração suíno comercial. Contudo, condições próximas ou até melhores em relação a atividade de água dos produtos comerciais foram reproduzidas pelo método *air frying,* obtendo um produto com atividade de água inferior. Entretanto, o tempo de armazenamento também pode ter influenciado na maior atividade de água das amostras comerciais.

4.2.3. Higroscopicidade

A higroscopicidade de um alimento é caracterizada pela capacidade de adsorção de água disponível no ambiente em que se encontra. Sendo assim, a baixa higroscopicidade favorece a estabilidade do produto e, consequentemente, a maior vida útil.

De acordo com a Tabela 3, todos os tratamentos apresentaram valores estatisticamente diferentes e relativamente baixos. Essas diferenças podem ser justificadas pelas umidades analisadas na Tabela 1, visto que produtos que apresentam umidade muito baixa, são mais susceptíveis ao ganho de água, ou seja, são mais higroscópicos. Dessa forma, para serem comercializadas, é indispensável que as amostras sejam acondicionadas em embalagens que contenham barreiras contra a umidade.

As amostras comerciais apresentaram percentual higroscópico inferior (9,46 a 10,39 %) em relação às amostras desenvolvidas neste trabalho (12,85 a 14,93 %), aproximadamente 4% menor.

.

Tabela 3. Higroscopicidade do coração suíno em diferentes tratamentos.

Amostras	Higroscopicidade (%)
Moído seco	$14,93 \pm 0,39^{a}$
Fatiado seco	$12,85 \pm 0,73^{b}$
Comercial Fatiado	$9,46 \pm 0,76^{c}$
Comercial Moído	$10,39 \pm 0,68^{d}$

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, apresentam diferença significativa entre si (Teste de Tukey a 5% de significância). Fonte: Autora, 2024.

4.2.4. Cor instrumental

As amostras comerciais apresentaram uma luminosidade (L*) inferior às amostras *in natura* e descongeladas, devido ao processo de secagem realizado antes da comercialização, porém os resultados estatísticos foram iguais. Já as amostras secas moídas apresentaram resultados estatisticamente iguais entre si, apontando uma tendência à coloração escura, diferentemente das amostras comerciais, que apresentaram maior luminosidade.

A cor da carne *in natura* depende do estado químico do ferro heme, visto que o ferro faz parte da formação dos derivados químicos da mioglobina, podendo estar presente na forma reduzida ou oxidada (Ramos; Gomide, 2017). Sendo assim, o parâmetro a* está totalmente relacionado com a mioglobina presente na carne, ou seja, quanto maior o valor de a*, maior será a tendência ao vermelho.

De acordo com os resultados dispostos na Tabela 4, as amostras congeladas não apresentaram diferenças significativas entre si. Porém, ao relacionar com as amostras *in natura*, pode-se observar que estas apresentaram uma coloração mais avermelhada, demonstrando uma interferência negativa do processo de congelamento no quesito cor, devido a oxidação da mioglobina.

Em relação às amostras secas, obtidas a partir da secagem das amostras descongeladas, observa-se que houve uma redução do a*, inclusive os resultados estão estatisticamente iguais ao comercial fatiado. Essa mudança estava dentro do esperado. Apenas a amostra comercial moída está estatisticamente diferente das amostras secas e igual às amostras descongeladas. Isto pode ser explicado por conta da coloração das carnes estar diretamente ligada à presença de pigmentos, sendo determinada pela concentração de pigmentos presentes no músculo e seu

estado químico. A mioglobina (Mb) é o principal pigmento responsável pela cor da carne e o grupo heme é o componente responsável por absorver a cor e a luz desse pigmento vermelho (Ramos; Gomide, 2017).

Em relação ao b*, as amostras descongeladas apresentaram resultados estatisticamente iguais entre si e uma menor tendência a coloração amarela, quando comparadas às amostras *in natura.* Isso pode ser justificado pela maior quantidade de gordura que poderia estar presente nas amostras *in natura,* o que levou a uma coloração mais amarela. A amostras secas apresentaram resultados estatisticamente iguais às amostras comerciais fatiadas e divergiram da amostra comercial moída, a qual possuiu uma tendência maior a cor amarelada.

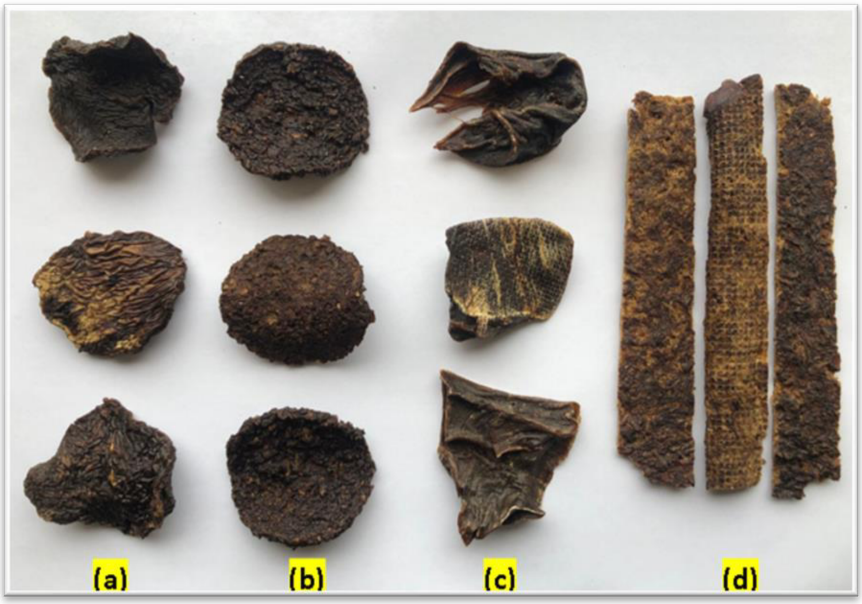
Tabela 4. Cor instrumental do coração suíno em diferentes tratamentos.

Amostras	**(*)L***	**(**)a***	**(**)b***
Moído descongelado	$9,89 \pm 0,29^{a,d}$	$4,79 \pm 0,24^{a}$	$2,17 \pm 0,22^{a}$
Fatiado descongelado	$13,74 \pm 1,72^{b,d}$	$4,65 \pm 0,70^{a}$	$1,72 \pm 0,40^{a}$
In natura	$16,53 \pm 4,40^{b,d}$	$10,79 \pm 1,64^{b}$	$3,74 \pm 0,94^{b}$
Moído seco	$6,28 \pm 0,42^{c}$	$1,94 \pm 0,21^{c}$	$4,44 \pm 0,29^{b}$
Fatiado seco	$6,87 \pm 1,26^{c}$	$1,45 \pm 0,55^{c}$	$4,02 \pm 0,52^{b}$
Comercial Fatiado	$12,68 \pm 2,27^{d}$	$1,44 \pm 0,61^{c}$	$5,36 \pm 1,08^{b}$
Comercial Moído	$11,60 \pm 1,77^{d}$	$3,75 \pm 0,39^{a}$	$9,27 \pm 1,30^{c}$

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, apresentam diferença significativa entre si (*ANOVA com correção Welch e teste de médias (post hoc) Games-Howell); (**Teste não-paramétrico Kruskal Wallis com post hoc Dwass Steel Critchlow Fligner). Fonte: Autora, 2024.

Pode-se observar pela Figura 18 que, embora as amostras tenham formatos diferentes, as cores apresentaram um padrão próximo. Em relação ao parâmetro L*, as amostras comerciais apresentaram uma maior luminosidade. Já em relação ao parâmetro a* e b*, apenas a amostra comercial moída apresentou maior tendência a coloração vermelha e amarela.

Figura 18. Amostras de coração suíno: (a) moído seco; (b) fatiado seco; (c) comercial fatiado e (d) comercial moído.



Fonte: Autora, 2024.

4.2.5. Quantificação de pigmentos heme totais

Segundo Ramos; Gomide, (2017), cerca de 48% de ferro presente na carne suína é ferro heme. Entretanto, essa porcentagem depende das condições de processamento do material, como a temperatura submetida, o tempo de cocção e a umidade.

Os resultados das análises de pigmentos heme, dispostos na Tabela 5, mostram que as amostras descongeladas e *in natura* apresentaram resultados estatisticamente iguais (3,27 a 4,68 mg de pigmentos heme totais/g de amostra). Enquanto as amostras moídas submetidas ao processo de secagem, apresentaram maior concentração de pigmentos heme (11,44 mg de pigmentos heme totais/g de amostra). Essa mudança estava dentro do esperado, visto que a carne desidratada caracterizada pela perda de água, acaba concentrando os outros componentes, incluindo os pigmentos heme, tornando-os mais visíveis no material e, consequentemente, levando a coloração mais escura.

Tabela 5. Pigmentos heme do coração suíno em diferentes tratamentos.

Amostras	Pigmento heme (*)
Moído descongelado	$4,68 \pm 0,57^{a,c}$
Fatiado descongelado	$3,27 \pm 0,55^{a}$
In natura	$4,64 \pm 0,33^{a,c}$
Moído seco	$11,44 \pm 0,79^{b}$
Fatiado seco	$4,09 \pm 0,33^{a,c}$
Comercial Fatiado	$5,15 \pm 0,66^{a}$
Comercial Moído	$9,11 \pm 0,22^{d}$

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas iguais não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância. (*) mg de pigmentos heme totais/g de amostra. Fonte: Autora, 2024.

Observa-se também que, tanto as amostras comerciais fatiadas quanto as amostras fatiadas secas estão estatisticamente diferentes das amostras moídas secas e comerciais moídas. Isso pode ser justificado pelo fato de as amostras moídas terem suas células musculares rompidas em uma maior área, expondo os pigmentos à superfície. Além disso, o fato de a carne moída secar mais rapidamente e de maneira mais uniforme do que a carne fatiada, pode aumentar ainda mais a concentração dos pigmentos na superfície.

4.2.6. Textura instrumental

De acordo com a Tabela 6, os resultados das amostras descongeladas fatiadas e *in natura* foram estatisticamente iguais, mostrando que o congelamento não interferiu na dureza das mesmas. Vale ressaltar que não foi realizada a análise de textura com o coração moído descongelado.

A dureza das amostras aumentou após a secagem, 32,87 N para as amostras moídas secas e 46,78 N para as amostras fatiadas secas. Isso pode ser justificado pelo fato que, durante a desidratação, as diferentes proteínas são desnaturadas e causam mudanças na estrutura da carne, como o encolhimento das fibras musculares e a formação de gel pelas proteínas miofibrilares, sendo que a miosina é uma das principais. O gel é um elemento que influencia diretamente na textura da carne (Ramos; Gomide, 2017).

Tabela 6. Dureza do coração suíno em diferentes tratamentos.

Amostras	Dureza (N)
Fatiado descongelado	$1,86 \pm 0,25^{a}$
In natura	$1,86 \pm 0,16^{a}$
Moído seco	$32,87 \pm 2,95^{b,e}$
Fatiado seco	$46,78 \pm 3,22^{c,e}$
Comercial Fatiado	$214,98 \pm 41,11^{d}$
Comercial Moído	$58,70 \pm 26,59^{e}$

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, apresentam diferença significativa entre si (Teste não-paramétrico Kruskal Wallis com post hoc Dwass Steel Critchlow Fligner). Fonte: Autora, 2024.

As amostras comerciais moídas apresentaram um valor (58,70 N) maior em relação às amostras secas fatiadas (46,78 N) e moídas (32,87 N), porém não há diferenças estatísticas entre elas. Já as amostras comerciais fatiadas apresentaram uma dureza muito superior (214,98 N) em relação às amostras obtidas no presente estudo, o que é justificado pelo tipo de processo em que foram submetidas, além da espessura, visto que esta influencia diretamente na percepção da dureza.

Na Tabela 7 estão dispostos os valores de espessura de cada amostra e fica evidente que esse quesito interferiu significativamente nos resultados de dureza obtidos. Ou seja, estatisticamente, as amostras secas moídas e fatiadas e o coração moído não possuíram valores diferentes e, em relação às espessuras, possuíram valores muito próximos ou até iguais (0,30 a 0,34 cm), diferentemente das amostras comerciais fatiadas, que apresentaram espessuras bem maiores (0,54 cm) e, consequentemente, maior dureza.

Tabela 7. Espessura do coração suíno em diferentes tratamentos.

Amostras	Espessura (cm)
Moído seco	$0,30 \pm 0,02$
Fatiado seco	$0,34 \pm 0,05$
Comercial Fatiado	$0,54 \pm 0,14$
Comercial Moído	$0,30 \pm 0,04$

Fonte: Autora, 2024.

4.2.7. Grau de encolhimento

A partir da Tabela 8, pode-se observar que as amostras são estatisticamente diferentes em relação ao grau de encolhimento. Além disso, as amostras fatiadas encolheram mais (38,5 %) do que as amostras moídas (28,6 %). Isso pode ser justificado pelo fato das fibras da carne fatiada se apresentarem de forma original, diferentemente das amostras moídas. As amostras moídas, como discutido anteriormente, apresentaram maior área superficial para saída da água e, além disso, a redução de tamanho da massa cárnea também facilita a retirada da água. Durante a secagem, principalmente nos primeiros estágios, ocorrem alterações estruturais nas carnes, devido à desnaturação proteica, como a mudança em sua forma e o aumento da dureza, causadas pelo encolhimento dos alimentos. O encolhimento é um fator que está diretamente relacionado com a perda de água e a aplicação de calor.

Tabela 8. Encolhimento do coração suíno em diferentes tratamentos.

Amostras	Encolhimento (%)
Moído seco	$28,6 \pm 1,9^{a}$
Fatiado seco	$38,5 \pm 4,2^{b}$

OBS.: Dados apresentados na forma Média ± Desvio Padrão. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, apresentam diferença significativa entre si (Teste t de Student). Fonte: Autora, 2024.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que foi possível produzir um *pet food* seco por meio da secagem convectiva na *air fryer*, utilizando o coração suíno como matéria-prima, sendo possível alcançar teores de umidade e atividade de água inferiores a 12% e 0,6, respectivamente, em um tempo de secagem inferior a 300 min, além da baixa higroscopicidade, garantindo a maior durabilidade do produto.

Em relação às amostras moídas secas e fatiadas secas, pôde-se observar que o coração moído seco apresentou diversas vantagens, como o menor grau de encolhimento durante a secagem e a maior quantidade de pigmentos heme.

Por fim, esse estudo pode ser importante para o desenvolvimento de processos industriais de produção de pet food a partir do coração suíno. Entretanto, vale também destacar que a *air fryer* é um equipamento doméstico e economicamente acessível. Assim, os resultados desse trabalho também podem ser uma alternativa para pessoas que têm animais domésticos e que se interessam no preparo de um petisco para seus animais ou na diversificação dos alimentos fornecidos a eles, sem comprometimento da qualidade nutricional. Além disso, cabe ressaltar que o uso desse equipamento pode ser viável para produção e comercialização desses produtos em pequena escala, visto que a partir da definição das dimensões, tempo e temperatura de processo, é possível reproduzir um petisco padronizado.

6. REFERÊNCIAS

Abinpet. Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação **Informações gerais do setor** (2023). Disponível em: <https://abinpet.org.br/informacoes-gerais-do-setor/>. Acesso em: 5 jul. 2023.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório anual ABPA 2023**. São Paulo, SP, p. 37 – 42, 2023. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/04/Relatorio-Anual-2023.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2023.

AOAC. Association of Official Analytical Chemistry. **Official Methods of Analysis of the AOAC International.** 17th, Virginia, 2005.

Aptekmann, K. P.; Mendes-Junior, A. F.; Suhett, W.G.; Guberman, U.C. **Manejo nutricional de cães e gatos domiciliados no estado do Espírito Santo - Brasil.** Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v, v. 65, n. 2, p. 455–459, 2013.

Araújo, J. A. **Química de Alimentos.** Edição 2, p. 600-620, Viçosa, Editora UFV, 2011.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Normas Técnicas de Instalação e equipamentos para abate e industrialização de suínos.** Portaria n°. 711, de 01 de novembro de 1995.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n°. 30, de 05 de agosto de 2009.**

Cai, Y. Z.; Corke, H. **Production and properties of spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments.** Journal of Food Science, v. 65, n. 6, p. 1248-1252, 2000.

Celestino, S. M. C. **Princípios de Secagem de Alimentos**. Embrapa, jan, 2010.

Costa, C. G. C.; Paula, M. M. O.; Massingue, A. A.; Filho, R. A. T.; Ramos, E. M.; Carneiro, J. D. S. **Protein concentrates obtained from pig by-products.** Ciência Rural, v. 49, n. 6, 2019.

Da Costa, C. G. C.; Paula, M. M. de O.; Massingue, A. A.; Filho, R. de A. T.; Ramos, E. M. Carneiro, J. de D. de S. **Protein concentrates obtained from pig by-products using ph-shifting technique: A preliminary study.** Ciencia Rural, Santa Maria, v. 49, n. 6, 2019.

Donadelli, R. A.; Aldrich, C. G.; Jones, C. K.; Beyer, R. S. **The amino acid composition and protein quality of various egg, poultry meal by-products, and vegetable proteins used in the production of dog and cat diets.** Poultry Science, v. 98, n. 3, p. 1371–1378, 2019.

Elizeire, M. B. **Expansão do mercado Pet e a importância do Marketing na medicina veterinária**. Monografia (Graduação em Medicina Veterinária) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2013.

Fellows, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. Artmed, Edição 2, Porto Alegre, 602p, 2006.

Ferreira, C. L. R.; Mota, L. A.; Costa, C. J. M.; Schmidt, V. C. R.; De Lima, M. **Obtenção de concentrado proteico de coração suíno.** 7° Simpósio de Segurança Alimentar - Inovação e Sustentabilidade, 2020.

Gauto, M. A.; Rosa, G. R. **Processos e Operações Unitárias da Indústria Química**. Rio de Janeiro, 421p, 2011.

Gomide, L. A. M.; Ramos, E. M.; Fontes, P. R. **Tecnologia de abate e tipificação de carcaça**. Edição 2, Viçosa, 336p, 2014.

Google Imagens. Mundo Educação. **Pericardite**. Disponível em: < https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/pericardio.htm>. Acesso em: 15 maio 2024.

Goulart J. F. F. **Avaliação nutricional e organolética de carne proveniente de suínos sujeitos a diferentes dietas: Resultados Preliminares.** Dissertação (Grau de Mestre em Tecnologia e Segurança Alimentar) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2013.

Marti, D. L.; Johnson, R. J.; Mathews, K. H. **Where's the (Not) Meat? Byproducts From Beef and Pork Production**, 2011. Disponível em: <www.ers.usda.gov>. Acesso em: 3 jul. 2023.

Ngan, H. L.; Ip, S. Y., Wang, M. Zhou, Q. **Comparative Study of Sensory and Physicochemical Characteristics of Green-Tea-Fortified Cupcakes upon Air Frying and Oven Baking.** Foods, v. 12, n. 6, mar, 2023.

Oliveira, L. M.; Teixeira, F. G.; Fidelis, D. **Embalagens plásticas para *pet food:* relação entre qualidade e proteção.** Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens. Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL). Vol. 23, n. 2, 2011.

Ordóñez, J. A.; Rodríguez, M. I. C.; Álvarez, L. F.; Sanz, M. L. G.; Minguillón, G. D. G. de F.; Perales, L de lá H.; Cortecero, M. D. S. **Tecnologia de Alimentos: Alimentos de Origem Animal**. Edição Artmed, Porto Alegre, v. 2, 279p, 2005.

Prabhakar, K.; Mallika, E.N. **Dried Foods**. Encyclopedia of Food Microbiology. Edição 2, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/topics/food-science/dried-food>. Acesso em: abril, 2024.

Purina Institute. Advancing Science for Pet Health. **"Qual é a diferença entre alimentos secos, semiúmidos e úmidos para animais de estimação?"**, 2023. Disponível em: <https://www.purinainstitute.com/pt-br/centresquare/understanding-pet-food/difference-between-dry-semi-moist-and-wet-pet-foods>. Acesso em: abr, 2024.

Ramos, E. M.; Gomide, L. A. M. **Avaliação da Qualidade de Carnes.** Edição 2. Editora UFV, Viçosa, 472p, 2017.

RANI, L.; Kumar, M.; Kaushik, D.; Kaur, J.; Kumar, A.; Oz, F.; Proestos, C.; Oz, E. **A review on the frying process: Methods, models and their mechanism and application in the food industry**. Food Research International, out, 2023.

Saad, F. M. O. B.; França, J. **Alimentação natural para cães e gatos.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 39, p. 52–59, 2010.

Sarcinelli, M. F.; Venturini, K. S.; Silva, L. C. **Características da Carne Suína**. Universidade Federal do Espírito Santo. Programa Institucional de Extensão, 2007.

Sebrae. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Saiba mais sobre o mercado pet** (2022). Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/al/artigos/saiba-mais-sobre-o-mercado-pet,491716ba3f862810VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 5 jul. 2023.

Sebrae. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Minha empresa sustentável para atuais e futuros empresários.** Suinocultura, 2016.

USDA**.** United States Department of Agriculture. **Pork Production** - Selected Countries Summary. FAS Home / Market and Trade Data / PSD Online / Custom Query. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/downloads>. Acesso em: 23 mar. 2024.

Vogler. **O que é essencial no desenvolvimento de petiscos pet food**. Produtos para indústria alimentícia, 2021. Disponível em: <https://vogler.com.br/o-que-e-essencial-no-desenvolvimento-de-petiscos-pet-food/>. Acesso em: nov de 2023.