U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Substituição estratégica do alergénio crítico – glúten – na formulação de produtos Porminho

Mariana Beatriz Ribeiro Gomes
Mestrado em Tecnologia e Ciência Alimentar
Departamento de Química e Bioquímica
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto e Escola de Engenharia da Universidade do Minho
2026

Substituição estratégica do alergénio crítico - glúten - na formulação de produtos Porminho

Mariana Beatriz Ribeiro Gomes

Relatório de Estágio realizado no âmbito do Mestrado em Tecnologia e Ciência Alimentar

Departamento de Química e Bioquímica

2026

Orientador
Ana Fernandes, Investigadora, LAQV/REQUIMTE, FCUP

Supervisor externo na Entidade de Acolhimento
Regina Pereira, Diretora do Departamento de Inovação e Desenvolvimento, Porminho

Eles não sabem que o sonho

é uma constante da vida,

tão concreta e definida

como outra coisa qualquer.

[...]

que é retorta de alquimista,

mapa do mundo distante,

rosa dos ventos, Infante,

caravela quinhentista,

que é cabo da Boa Esperança,

ouro, canela, marfim,

florete de espadachim,

[...]

Eles não sabem, nem sonham,

Que o sonho comanda a vida

E que sempre que um homem sonha

O mundo pula e avança

Como bola colorida

Entre as mãos duma criança.

António Gedeão, Pedra Filosofal, 1956

Agradecimentos

Há escolhas que fazemos.

E há escolhas que nos fazem. Esta foi das segundas.

A ciência pede rigor. A vida pede coragem.

Dentro de uma indústria gigante, num estágio de 9 meses,

percebi que as duas circunstâncias não se separam

que não dá para fazer uma sem a outra,

e que os melhores dias são os que exigem as duas ao mesmo tempo.

Há sítios onde se trabalha. Há sítios onde se cresce.

E há, se tivermos sorte, sítios que se tornam os dois antes de darmos conta.

O que fica no fim

não é só o que se provou.

É o que se carregou pelo caminho:

as pessoas, os erros, os dias difíceis,

a certeza que foi chegando devagar, de que era isto.

Ninguém chega ao fim de uma tese sozinho.

Chega-se sempre de rastros

de quem ficou,

de quem passou,

de quem nunca soube que ajudou.

Esta é por todos esses.

Aos meus pais e à minha irmã,
que construíram em mim um chão tão firme
que eu nunca soube exatamente quando estava a cair
e quando estava a voar.
Por ficarem quando o caminho mudou de direção
sem uma palavra de dúvida.
São a razão mais simples e mais funda
de eu ter chegado até aqui.

Ao Gonçalo,
que viu de perto a versão de mim.
Pela paciência que nunca falhou
e pelo carinho que nunca precisou de ser pedido.
Nos dias bons e nos outros, estavas lá.
E isso chegou sempre. E isso, para mim, é tudo.

Às pessoas que passaram desde a primária à licenciatura,
e não saíram da minha vida quando o rumo mudou,
não escrevo os vossos nomes
porque esta linha já é vossa e vocês sabem-no.
Há amizades que não precisam de contexto
para sobreviver a qualquer mudança.
As vossas são assim.
E eu tenho muita sorte por isso.

Às pessoas que encontrei na FCUP e neste mestrado,
nos corredores, nas aulas,
nos almoços, nas conversas que começaram por acaso.
Tornaram estes dois anos, num sítio onde quis estar.

À Professora Ana,
pela ajuda constante e tranquila
ao longo de 9 meses de estágio
que podiam ter sido solitários
e não foram, por sua causa.
Por cada email respondido com cuidado,
por tratar cada dúvida como se fosse também sua,
por nunca deixar que a distância, se sentisse como distância.

À Regina,
que me ensinou coisas que não estão em nenhum livro ou artigo científico.
Que me mostrou que rigor e calma não são opostos,
podem viver na mesma pessoa,
no mesmo dia intenso e cheio.
Aprendi tanto contigo.
Isso fica, não se esquece.

E, há pessoas que orientam.
Há pessoas que acompanham.
Estas últimas duas souberam sempre fazer as duas coisas,
e nunca fizeram disso um peso.

À Sofia, a minha sombra, como sempre lhe chamei.
Do estágio, 4 meses que não dá para medir em tempo.
Partilhámos o mesmo espaço, o mesmo dia-a-dia,
as mesmas dúvidas a horas improváveis.
Ensinei-te o que sabia,
aprendi o que não sabia e que precisava,
e percebi que há pessoas
que chegam sem avisar.

A Ele.

A Deus e todas as formas que Ele representa,

quando já não sobra mais nada.

Não consigo explicar esta fé por inteiro.

Só sei que nos momentos em que tudo pesou,

em que tudo desabou,

havia sempre algo que aguentava.

Sempre.

E a quem já partiu, encontro-vos nessa força.

Estão cá.

Da força em que acredito

e que não consigo explicar por inteiro,

em cada recomeço,

em cada força que aparece quando menos espero, estão vocês.

E a algo que não é pessoa
mas que me mudou como se fosse:
à tecnologia e ciência alimentar (como lhe chamam)
que entrou pela porta da Nutrição
como quem não pede licença e fica.
O caos criativo, o dia-a-dia diferente a cada manhã,
a "indústria" que se tornou casa
antes de eu dar conta de que já me sentia lá.

Somos poucos a seguir este caminho.
Mas aprendi aqui,
que não é o número que determina o impacto.
É o que se carrega dentro.
É o que se tem para dar.
E eu tenho muito para dar, aqui.
Aprendi isso,
nesta área, neste mestrado,
nesta tese que é minha
e é também de todos vós.

Obrigada.
Por tudo o que coube nestes 9 meses,
e pelo muito que não coube em mais nenhum lado.
Comam farinheira e morcela, quando vos apetecer! Agora sem glúten.

Resumo

A farinheira e a morcela são dois enchidos tradicionais portugueses que contêm farinha de trigo na sua composição e, com ela, glúten. Este trabalho, desenvolvido em contexto industrial na *Porminho*®, teve como objetivo eliminar este alergénio da totalidade da linha de produção, substituindo-o por alternativas tecnologicamente viáveis sem comprometer a identidade de cada produto.

Desenvolveram-se doze formulações, seis de farinheira e seis de morcela, organizadas em três eixos: controlo com glúten, formulação industrial sem glúten e formulações experimentais com farinha de trigo sarraceno ou farinha de grão-de-bico, com e sem sistema estruturante de hidrocolóide e fibra vegetal. A caracterização foi feita por NIR, TPA e colorimetria CIELab, complementada por avaliação sensorial com dez provadores e determinação do teor residual de glúten por ELISA como análise externa. As formulações industriais foram sujeitas a estudo de vida útil em embalagem de atmosfera modificada.

Os resultados demonstraram que a substituição do glúten é tecnicamente viável em ambos os produtos, com impactos distintos consoante a matriz. Na farinheira, onde a farinha constitui o principal agente estruturante, o tipo de substituto influenciou significativamente a composição, a textura e, sobretudo, a cor: a farinha de grão-de-bico atenuou marcadamente a componente vermelha característica do produto, ao passo que o trigo sarraceno preservou o perfil cromático próximo do controlo. Na morcela, onde a estrutura depende da gelificação proteica do plasma sanguíneo, as alterações foram mínimas em quase todos os parâmetros, incluindo a cor, confirmando a maior tolerância desta matriz à substituição. Na avaliação sensorial, a formulação industrial de farinheira sem glúten foi a preferida por seis dos dez provadores; na morcela, dividiu as preferências com o controlo. Ambas as formulações industriais cumpriram o limite legal de 20 mg/kg para alegação sem glúten, confirmado por laboratório externo acreditado. A farinheira industrial sem glúten concluiu o estudo de vida útil com 145 dias de conformidade e está aprovada para produção comercial, com um impacto económico inferior a 3% face ao produto convencional. A morcela industrial sem glúten aguarda a conclusão do mesmo estudo para seguir o mesmo percurso comercial.

Palavras-chave: glúten, farinheira, morcela, enchidos sem glúten, farinha de trigo sarraceno, farinha de grão-de-bico, Análise de Perfil de Textura, CIELab, vida útil

Abstract

Farinheira and *morcela* are two traditional portuguese sausages that contain wheat flour and, consequently, gluten in their composition. This work, developed in an industrial setting at *Porminho*®, aimed to eliminate this allergen from the entire production line by replacing it with technologically viable alternatives without compromising the identity of each product.

Twelve formulations were developed, six of *farinheira* and six of *morcela*, organised along three axes: a gluten-containing control, a gluten-free industrial formulation, and experimental formulations with buckwheat flour or chickpea flour, with and without a structuring system of hydrocolloid and dietary fibre. Characterisation was carried out by NIR, TPA and CIELab colorimetry, complemented by sensory evaluation with ten panellists and determination of residual gluten content by ELISA as an external analysis. The industrial formulations underwent a shelf-life study in modified atmosphere packaging.

The results demonstrated that gluten replacement is technically feasible in both products, with distinct impacts depending on the matrix. In farinheira, where flour is the main structuring agent, the type of substitute significantly influenced composition, texture and, most notably, colour: chickpea flour markedly reduced the characteristic red component of the product, whereas buckwheat flour preserved a chromatic profile close to that of the control. In *morcela*, where structure depends on the thermal gelation of blood plasma proteins, changes were minimal across almost all parameters, including colour, confirming the greater tolerance of this matrix to substitution. In the sensory evaluation, the gluten-free industrial *farinheira* was the preferred formulation by six of the ten panellists; the gluten-free industrial *morcela* divided preferences equally with the control. Both industrial formulations met the legal limit of 20 mg/kg for a gluten-free claim, confirmed by an accredited external laboratory. The gluten-free industrial farinheira completed the shelf-life study with 145 days of compliance and has been approved for commercial production, with an economic impact below 3% relative to the conventional product. The gluten-free industrial *morcela* is awaiting the conclusion of the same study before following the same commercial path.

Keywords: gluten, *farinheira*, *morcela*, gluten-free sausages, buckwheat flour, chickpea flour, Texture Profile Analysis, CIELab, shelf life

Índice

Lista de Figuras 15

Lista de Abreviaturas 17

1. Introdução e Enquadramento do projeto..... 19

1.1. Enquadramento geral e entidade de acolhimento 19

1.2. Objetivos e estratégia do projeto de estágio..... 20

1.3. Enquadramento metodológico 20

1.4. Contextualização do setor dos produtos cárneos tradicionais..... 21

1.5. Enchidos tradicionais portugueses: farinheira e morcela 21

1.5.1. Farinheira: composição, processo tecnológico e identidade sensorial 22

1.5.2. Morcela: diversidade regional, composição e especificidade tecnológica 24

2. Fundamentação Teórica..... 26

2.1. Estrutura, composição e propriedades funcionais do glúten 26

2.2. Função tecnológica do glúten em matrizes cárneas 27

2.3. Abordagens para substituição do glúten em produtos cárneos..... 28

2.4. Propriedades físico-químicas e tecnológicas de enchidos 29

2.5. Farinhas alternativas: composição e funcionalidade tecnológica..... 30

2.5.1. Farinhas de cereais, leguminosas e amidos..... 30

2.5.2. Farinha de trigo sarraceno..... 31

2.5.3. Farinha de grão-de-bico..... 33

2.5.4. Outras farinhas alternativas consideradas..... 35

2.6. Avaliação instrumental da textura em produtos cárneos 36

2.7. Avaliação instrumental da cor (sistema CIELab) 38

2.8. Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)..... 41

2.9. Composição nutricional e alegações nutricionais 43

2.10. Estabilidade e vida útil 45

2.11. Enquadramento regulamentar..... 48

2.11.1. Glúten como alergénio de declaração obrigatória 48

2.11.2. Definições legais de gluten-free..... 49

2.11.3. Rotulagem e risco de contaminação cruzada..... 51

3. Materiais e Métodos 52

3.1. Delineamento experimental 52

3.2. Matérias-primas e ingredientes 54

3.2.1. Matriz cárnea e ingredientes tecnológicos 54

3.2.2. Farinhas alternativas selecionadas 54

3.3. Processo tecnológico de produção 55

3.4. Desenvolvimento de formulações 56

3.4.1. Formulação controlo 56

3.4.2. Formulações sem glúten 56

3.4.3. Formulações experimentais com ingredientes alternativos 57

3.5. Caracterização dos produtos desenvolvidos 58

3.5.1. Determinação da composição por espectroscopia NIR 58

3.5.2. Avaliação instrumental da textura (TPA) 58

3.5.3. Avaliação instrumental da cor (sistema CIELab) 59

3.5.4. Determinação do teor residual de glúten 59

3.5.5. Avaliação sensorial 59

3.5.6. Estudo de vida útil 60

3.5.7. Elaboração da tabela de informação nutricional 61

3.6. Análise estatística dos dados 61

4. Resultados e Discussão 62

4.1. Caracterização das matérias-primas 62

4.1.1. Perfil nutricional das matérias-primas funcionais 62

4.1.2. Caracterização dos ingredientes funcionais do sistema hidrocolóide+fibra 63

4.2. Caracterização dos produtos desenvolvidos 64

4.2.1. Composição por NIR (FoodScan) 64

4.2.1.1. Farinheira 64

4.2.1.2. Morcela 70

4.2.2. Propriedades texturais (TPA) 75

4.2.2.1. Farinheira 75

4.2.2.2. Morcela 80

4.2.3. Cor (CIELab) 84

4.2.3.1. Farinheira 85

4.2.3.2. Morcela 88

4.2.4. Teor residual de glúten 91

4.2.5. Informação nutricional dos produtos desenvolvidos 92

4.3. Avaliação sensorial 93
4.3.1. Farinheira 93
4.3.2. Morcela 96
4.4. Estudo de Vida Útil 99
4.4.1. Farinheira industrial sem glúten (FI) 99
4.4.2. Morcela industrial sem glúten (MI) 100
5. Aplicabilidade Industrial e Viabilidade 100
5.1. Requisitos para alegação *gluten-free* 100
5.2. Viabilidade de implementação industrial 102
5.3. Segurança alimentar e controlo de perigos 104
5.3.1. Gestão de alergénios e prevenção de contaminação cruzada 105
5.4. Análise de custos 106
5.4.1. Integração no portefólio da empresa 107
5.4.2. Benchmarking de mercado 108
5.4.3. Oportunidades e barreiras comerciais 109
6. Conclusões 110
6.1. Principais conclusões 110
6.2. Contributos do trabalho 112
6.3. Perspetivas de trabalho futuro 113
7. Referências Bibliográficas 115
8. Apêndices 121
Apêndice A — Fatores determinantes da estabilidade e vida útil de enchidos cozidos embalados 122
Apêndice B — Fluxograma de produção de farinheira 123
Apêndice C — Fluxograma de produção de morcela 124
Apêndice D — Formulações experimentais desenvolvidas para farinheira e morcela 125
Apêndice E — Aspeto visual das seis formulações de farinheira 126
Apêndice F — Aspeto visual das seis formulações de morcela 127
Apêndice G — Misturadora 128
Apêndice H — Registos de pH e temperatura durante o preparado da massa das formulações de farinheira 129
Apêndice I — Composição proximal das farinhas alternativas utilizadas (por 100 g) 130

Apêndice J — Propriedades físico-químicas dos ingredientes do sistema hidrocolóide-fibra (H+F) 131
Apêndice K — Composição proximal das formulações de farinheira determinada por NIR 132
Apêndice L — Composição proximal das formulações de morcela determinada por NIR 133
Apêndice M — Parâmetros de Análise do Perfil de Textura (TPA) das formulações de farinheira 134
Apêndice N — Parâmetros de Análise do Perfil de Textura (TPA) das formulações de morcela 135
Apêndice O — Parâmetros colorimétricos CIELab das formulações de farinheira 136
Apêndice P — Parâmetros colorimétricos CIELab das formulações de morcela 137
Apêndice Q — Avaliação sensorial das formulações de farinheira: Teste de Friedman 138
Apêndice R — Declarações nutricionais das seis formulações de farinheira (FC, FI, FTS-HF, FTS-S, FGB-HF, FGB-S) 139
Apêndice S — Declarações nutricionais das seis formulações de morcela (MC, MI, MTS-HF, MTS-S, MGB-HF, MGB-S) 142
Apêndice T — Avaliação sensorial das formulações de farinheira: postos médios por atributo 145
Apêndice U — Avaliação sensorial das formulações de farinheira: preferência e intenção de compra (Cochran Q) 146
Apêndice V — Avaliação sensorial das formulações de morcela: resultados do teste de Friedman 147
Apêndice W — Avaliação sensorial das formulações de morcela: postos médios por atributo 148
Apêndice X — Avaliação sensorial das formulações de morcela: preferência e intenção de compra (Cochran Q) 149
Apêndice Y — Folheto de boas práticas para prevenção de contaminações cruzadas por alergénios 150

Lista de Figuras

Figura 1— Farinheiras com Indicação Geográfica Protegida (IGP) em Portugal: Farinheira de Portalegre IGP (registada em 1997) e Farinheira de Estremoz e Borba IGP (registada em 2004). Enquadramento regulamentar: Reg. (CE) n.º 1107/96; Reg. (UE) 2024/1143. Fonte: (10, 12-15). 23
Figura 2— Morcelas com reconhecimento geográfico em Portugal. Três denominações com Indicação Geográfica Protegida (IGP): Morcela de Assar de Portalegre IGP, Morcela de Cozer de Portalegre IGP e Morcela de Estremoz e Borba IGP. Fonte: (13, 15, 20) 24
Figura 3— Perfil característico de força-tempo da Análise do Perfil de Textura (TPA), com identificação dos parâmetros primários e derivados. Fonte: (56) 38
Figura 4— Composição proximal das seis formulações de farinheira: gordura (%), humidade (%), proteína (%) e hidratos de carbono (%), determinados por NIR/FoodScan 2 (FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes na mesma barra indicam diferenças significativas entre formulações (p < 0,05; Tukey HSD). 65
Figura 5— Energia (kcal/100 g), teor de sal (%), cinza (%) e ácidos gordos saturados (%) das seis formulações de farinheira, determinados por NIR/FoodScan 2 (FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes indicam diferenças significativas (p < 0,05; Tukey HSD). *Cinza: Games-Howell (Levene p = 0,046). 69
Figura 6— Composição proximal das seis formulações de morcela: gordura (%), humidade (%), proteína (%) e hidratos de carbono (%), determinados por NIR/FoodScan 2 (FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes indicam diferenças significativas (p < 0,05; Tukey HSD). 70
Figura 7— Energia (kcal/100 g), teor de sal (%), cinza (%) e ácidos gordos saturados (%) das seis formulações de morcela, determinados por NIR/FoodScan 2 (FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes indicam diferenças significativas (p < 0,05; Tukey HSD). †Sal e cinza: Kruskal-Wallis. 75
Figura 8— Perfil textural (TPA) das seis formulações de farinheira. Valores normalizados pelo método min-max (0 = mínimo observado; 1 = máximo observado) para representação simultânea de seis parâmetros: dureza, coesividade, elasticidade, adesividade (valor absoluto), gomosidade e mastigabilidade. 76
Figura 9— Perfil textural (TPA) das seis formulações de morcela. Valores normalizados pelo método min-max (0 = mínimo observado; 1 = máximo observado). Parâmetros:

dureza, coesividade, elasticidade, adesividade (valor absoluto), gomosidade e mastigabilidade. 80
Figura 10— Dispersão dos valores médios de a* e b* das formulações de farinheira (painel esquerdo) e morcela (painel direito) no espaço CIELab. Cada ponto representa a média de n = 6 medidas. FC e MC são as referências para o cálculo de ΔE. 88
Figura 11— Diferença total de cor (ΔE) das formulações de farinheira (painel esquerdo) e morcela (painel direito) face aos respetivos controlos (FC e MC). A linha a tracejado em ΔE = 3 indica o limiar de perceção visual a olho nu. 91
Figura 12— Postos médios de Friedman para os seis atributos sensoriais avaliados nas formulações de morcela (painel esquerdo) e farinheira (painel direito): cor, aroma, aparência, sabor, textura e apreciação global (n = 10 provadores não treinados). 96
Figura 13— Resultados do teste Q de Cochran para preferência global, intenção de compra e menor agrado nas formulações de farinheira (painel esquerdo; Q = 14,0; p = 0,016) e morcela (painel direito; intenção de compra: Q = 11,6; p = 0,041). n = 10 provadores. 98

Lista de Abreviaturas

AGS	Ácidos gordos saturados
ANN	Artificial Neural Networks (redes neuronais artificiais)
ANOVA	Análise de variância
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
aw	Atividade da água
CE	Comunidade Europeia
CIELab	Sistema colorimétrico CIE L*a*b*
CXC	Code of Practice (Codex Alimentarius)
CXS	Codex Standard (Codex Alimentarius)
DGES	Direção-Geral do Ensino Superior
DP	Desvio-padrão
ELISA	Enzyme-Linked Immunosorbent Assay
EVU	Estudo de vida útil
FC	Farinheira controlo (com glúten)
FCT	Fundação para a Ciência e a Tecnologia
FCUP	Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
FGB-HF	Farinheira com farinha de grão-de-bico e sistema hidrocolóide-fibra
FGB-S	Farinheira com farinha de grão-de-bico, sem hidrocolóide-fibra
FI	Farinheira industrial sem glúten
FOSS	Marca do equipamento FoodScan utilizado na análise NIR
FTS-HF	Farinheira com farinha de trigo sarraceno e sistema hidrocolóide-fibra
FTS-S	Farinheira com farinha de trigo sarraceno, sem hidrocolóide-fibra
GF	Gluten-free (sem glúten)
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Points
HC	Hidratos de carbono
H+F	Sistema hidrocolóide-fibra (HPMC K4M + Pokel Fiber 4.20)
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulose
HSD	Honestly Significant Difference (post-hoc de Tukey)
IFS	International Featured Standards
IGP	Indicação Geográfica Protegida
INIAV	Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

INSA	Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge
ISO	International Organization for Standardization
MAP	Modified Atmosphere Packaging (embalagem em atmosfera modificada)
MC	Morcela controlo (com glúten)
MGB-HF	Morcela com farinha de grão-de-bico e sistema hidrocolóide-fibra
MGB-S	Morcela com farinha de grão-de-bico, sem hidrocolóide-fibra
MI	Morcela industrial sem glúten
MTS-HF	Morcela com farinha de trigo sarraceno e sistema hidrocolóide-fibra
MTS-S	Morcela com farinha de trigo sarraceno, sem hidrocolóide-fibra
NIR	Near Infrared (espectroscopia no infravermelho próximo)
NP	Norma Portuguesa
PCR	Principal Component Regression (regressão por componentes principais)
pH	Potencial de hidrogénio
PLSR	Partial Least Squares Regression (regressão por mínimos quadrados parciais)
R5	Anticorpo R5 (método ELISA de referência para deteção de glúten)
RPD	Ratio of Performance to Deviation (rácio de desempenho por desvio)
RTE	Ready-to-Eat (alimentos prontos a consumir)
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SSO	Specific Spoilage Organisms (organismos de deterioração específicos)
TBARS	Thiobarbituric Acid Reactive Substances (substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico)
TPA	Texture Profile Analysis (análise do perfil de textura)
UE	União Europeia
UFC	Unidades Formadoras de Colónias
UMinho	Universidade do Minho
UP	Universidade do Porto
USP	United States Pharmacopeia

1. Introdução e Enquadramento do projeto

1.1. Enquadramento geral e entidade de acolhimento

Este estágio curricular, integrado no Mestrado em Tecnologia e Ciência Alimentar, uma parceria entre a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) e a Universidade do Minho (UMinho), teve como objeto central a substituição estratégica do glúten em formulações de produtos cárneos desenvolvidos pela empresa *Porminho*®. O tema partiu de uma necessidade real da empresa, ligada à crescente procura por produtos isentos de glúten, ao reforço das exigências regulamentares em matéria de rotulagem de alergénios e à oportunidade de diversificação do portefólio da empresa para segmentos de mercado específicos.

A *Porminho*® é uma empresa nacional do setor dos produtos cárneos, com atividade centrada no desenvolvimento e produção de enchidos tradicionais portugueses (1). O estágio curricular decorreu no Departamento de Investigação e Desenvolvimento, com atividades de formulação de produtos, ensaios piloto, avaliação tecnológica e análise sensorial em contexto industrial. Esta inserção permitiu aplicar os conhecimentos académicos e validar soluções com potencial de adoção à escala industrial.

O trigo ocupa um lugar de destaque na alimentação humana não apenas pelo seu valor nutricional, mas sobretudo pelas propriedades tecnológicas do glúten, a fração proteica insolúvel da farinha responsável pelo comportamento viscoelástico das massas (caracterizado em detalhe na secção 2.1), que conferem estrutura, coesão e estabilidade a uma grande variedade de produtos alimentares processados (2). É por isso, que a farinha e o glúten de trigo são ingredientes habituais em produtos cárneos transformados, incluindo os enchidos tradicionais, onde contribuem para a textura, a coesão da massa e o rendimento do processo (2, 3).

No contexto dos enchidos tradicionais portugueses, a farinheira e a morcela integram ingredientes à base de cereais nas suas formulações, cumprindo funções tecnológicas determinantes (3). A presença de glúten nestes produtos constitui, contudo, uma limitação para os consumidores com doença celíaca ou sensibilidade ao glúten não celíaca, patologias com uma prevalência estimada de cerca de 1 % a 1,4 % da população a nível global e com um número crescente de diagnósticos nas últimas décadas (4). A reformulação destas receitas tradicionais torna-se, portanto, necessária

para garantir simultaneamente segurança alimentar, qualidade sensorial e viabilidade industrial.

A farinheira e a morcela produzidas pela *Porminho*® seguem a tradição regional, adaptadas a um contexto de produção industrial em que a farinha de trigo com glúten é o ingrediente cerealífero padrão. É a eliminação desse ingrediente e a reconstrução das suas funções tecnológicas por outros meios, que constitui o desafio central deste trabalho

1.2. Objetivos e estratégia do projeto de estágio

O presente projeto de estágio tem como objetivo central o desenvolvimento e avaliação de formulações de farinheira e morcela isentas de glúten, em contexto industrial. Pretende-se identificar substitutos funcionalmente equivalentes à farinha de trigo que preservem as propriedades tecnológicas e sensoriais dos produtos e que cumpram os requisitos legais aplicáveis em matéria de alergénios.

De forma mais concreta, o trabalho visa avaliar o efeito da substituição do glúten por ingredientes alternativos, nomeadamente farinhas sem glúten e agentes estruturais (hidrocolóide e fibra) nas propriedades físico-químicas, texturais e sensoriais dos produtos desenvolvidos, bem como aferir a sua viabilidade tecnológica em escala industrial. Os resultados obtidos deverão contribuir para a diversificação do portefólio da *Porminho*® e para a resposta a um segmento de mercado em crescimento, sem perder as características que definem estes produtos enquanto enchidos tradicionais portugueses.

1.3. Enquadramento metodológico

O projeto de estágio segue uma abordagem metodológica que articula revisão bibliográfica, desenvolvimento experimental e validação industrial. Numa primeira fase, procedeu-se ao levantamento e análise crítica da literatura científica disponível sobre substituição do glúten em produtos cárneos e sobre a funcionalidade de ingredientes alternativos, nomeadamente farinhas sem glúten e hidrocolóides. Esta base teórica orientou o planeamento das formulações experimentais desenvolvidas nas fases seguintes.

A componente experimental decorreu em contexto industrial, com a colaboração da equipa de Inovação e Desenvolvimento (I&D) da *Porminho*®, e incluiu a produção de formulações piloto, a avaliação tecnológica e físico-química dos produtos obtidos e a

realização de análise sensorial. Os resultados foram posteriormente interpretados à luz dos critérios de viabilidade tecnológica e industrial, com vista à identificação das soluções com maior potencial.

1.4. Contextualização do setor dos produtos cárneos tradicionais

O conceito de *tradicional* não é de definição simples, particularmente quando aplicado ao domínio alimentar (5). Do ponto de vista etimológico, o termo tem raiz no latim *traditio*, derivado de *tradere*, que significa transmitir ou entregar, referindo-se, de forma ampla, a tudo aquilo que se rege por práticas, normas ou saberes herdados de gerações anteriores (5). O Regulamento (CE) n.º 509/2006 confere a esta noção um enquadramento mais preciso, pois considera-se *tradicional* o produto cuja presença comprovada no mercado comunitário abranja um período mínimo de 25 anos, duração que corresponde, por convenção, a uma geração humana e que é tida como suficiente para demonstrar a transmissão intergeracional do produto (5, 6).

A conservação de carne através da salga, da secagem e da fumagem é uma prática muito anterior à indústria alimentar moderna, e os enchidos são talvez o exemplo mais antigo e persistente dessa tradição (8). Em Portugal, a sua história está intimamente ligada à matança do porco, um momento do calendário rural com tanto de prático como de social, onde famílias e comunidades se reuniam (8). A necessidade de não se desperdiçar nenhuma parte do animal, gerou uma variedade notável de produtos, cada um com a sua identidade e a sua região (5, 8). A literatura científica regista hoje 26 tipos e 91 variedades de enchidos tradicionais portugueses reconhecidos, dos quais 38 beneficiam de certificação de qualidade reconhecida a nível comunitário (3). Entre estes, alguns encontram-se protegidos ao abrigo do regime de Indicação Geográfica Protegida (IGP), estabelecido pelo Regulamento (UE) nº2024/1143 do Parlamento Europeu e do Conselho, sendo a farinheira e a morcela dois dos produtos que integram este grupo (9). Dentro dessa diversidade, destacam-se dois grupos com características bem distintas: os enchidos à base de sangue, dos quais a morcela é o caso mais conhecido, e os que incorporam cereais na sua composição, onde se insere a farinheira (3).

1.5. Enchidos tradicionais portugueses: farinheira e morcela

Os enchidos tradicionais portugueses formam um grupo heterogéneo de produtos cárneos transformados, com forte ligação a práticas regionais, grande variabilidade de formulações e peso cultural e económico reconhecido no setor agroalimentar nacional

(3). Dentro desta diversidade, a farinheira e a morcela representam duas matrizes tecnológicas bem distintas: numa, os cereais são o ingrediente estruturante; na outra, esse papel cabe ao sangue (3).

A farinha de trigo, ingrediente central na farinheira (3, 7), é também o que coloca desafios técnicos distintos em cada uma destas matrizes quando se pretende substituí-la por alternativas sem glúten. A composição, o processo tecnológico e o perfil sensorial de cada produto são descritos nos subcapítulos seguintes.

1.5.1. Farinheira: composição, processo tecnológico e identidade sensorial

A farinheira distingue-se dos restantes enchidos tradicionais portugueses pela ausência de carne na sua formulação base, constituindo um caso singular na salsicharia nacional (3, 8). Trata-se de um enchido fumado e curado cuja composição resulta da combinação de gordura fresca de suíno, em proporção não inferior a 45 % da massa total, com farinha de trigo e um conjunto de condimentos que inclui, tipicamente, vinho branco, pimentão doce, alho, pimenta e sal (7, 8). O processo de cura não recorre a culturas de arranque, dependendo inteiramente da microbiota autóctone dos ingredientes e do ambiente de produção, o que explica a variabilidade organolética observada entre produtores e regiões (3).

Do ponto de vista morfológico, o produto apresenta-se em forma de ferradura, encamisado em tripa natural, com consistência semimole a pastosa e tonalidade alaranjada característica, resultante da ação do pimentão sobre a fração lipídica (9). O perfil sensorial distingue-se pela suavidade do sabor, com notas fumadas de intensidade moderada e textura que, após confeção, assume consistência próxima de pasta (7, 10). Esta propriedade condiciona o modo de utilização culinária e determina, em contexto tecnológico, a resposta do produto aos ensaios de textura instrumental.

Em Portugal, a farinheira conta com duas denominações com estatuto de Indicação Geográfica Protegida: a Farinheira de Portalegre IGP, reconhecida desde 1997, e a Farinheira de Estremoz e Borba IGP, reconhecida desde 2004, ambas produzidas no Alentejo com gordura de porco da raça alentejana (7, 11).

A distribuição geográfica destas duas denominações, bem como o enquadramento regulamentar aplicável, encontram-se sistematizados na Figura 1.



Figura 1— Farinheiras com Indicação Geográfica Protegida (IGP) em Portugal: Farinheira de Portalegre IGP (registada em 1997) e Farinheira de Estremoz e Borba IGP (registada em 2004). Enquadramento regulamentar: Reg. (CE) n.º 1107/96; Reg. (UE) 2024/1143. Fonte: (10, 12-15).

O caderno de especificações da Farinheira de Estremoz e Borba fixa a proporção em 40 % de gordura de porco alentejano e 60 % de farinha de trigo, com cura por fumagem lenta a temperatura inferior a 40 °C durante um mínimo de quatro dias, em madeira de azinho (7). Contudo, a formulação não é uniforme em toda a região: num levantamento conduzido pelo INIAV junto de 747 produtores artesanais, registou-se no concelho de Gavião a utilização de farinha de milho e de centeio em substituição do trigo, e em Marvão a incorporação de batata e pão (12).

Alguns autores, em contexto histórico-gastronómico, propõem que a farinheira poderá ter raízes em práticas desenvolvidas por comunidades judaicas em Portugal durante o período da Inquisição, no século XVI (13). Segundo esta narrativa, os judeus convertidos, sujeitos a vigilância permanente sobre os seus hábitos alimentares como prova de adesão à fé cristã, terão criado um enchido que, pela tonalidade alaranjada e morfologia exterior, mimetizava visualmente o chouriço de porco sem o conter na sua formulação original (13). No entanto, as fontes disponíveis para esta hipótese apoiam-se sobretudo em tradição oral e textos de divulgação histórica, não existindo, até ao momento, consenso historiográfico robusto que confirme esta origem específica para o produto (13).

1.5.2. Morcela: diversidade regional, composição e especificidade tecnológica

A morcela é um enchido à base de sangue suíno cuja composição e método de processamento variam de forma expressiva consoante a região de produção (14, 15). A nível regulamentar, o produto encontra-se enquadrado pela Norma Portuguesa NP 593 (1990), que define os requisitos de fabrico, incluindo o recurso a branqueamento em água quente e/ou fumagem como processos de estabilização tecnológica (16).

A Morcela de Assar de Portalegre IGP e a Morcela de Cozer de Portalegre IGP baseiam-se exclusivamente em gordura e sangue de suíno alentejano, sem o componente cereal (17). A Morcela de Estremoz e Borba IGP integra carnes ensanguentadas e gordura com cura a fumeiro (9). A Morcela da Guarda, sem certificação comunitária, mas de reconhecida expressão regional, distingue-se pelo uso de pão de trigo como componente estruturante da massa (14, 17). O mesmo levantamento documentou que a composição da morcela varia de forma expressiva entre concelhos: nos de Estremoz e Viana do Alentejo o sangue só é adicionado no dia anterior ao enchimento, e em Portel parte dos produtores substitui a fumagem pelo escaldão em água quente (12).

A diversidade regional das denominações reconhecidas em Portugal para a morcela, com os respetivos estatutos de certificação, encontra-se sintetizada na Figura 2.



Figura 2— Morcelas com reconhecimento geográfico em Portugal. Três denominações com Indicação Geográfica Protegida (IGP): Morcela de Assar de Portalegre IGP, Morcela de Cozer de Portalegre IGP e Morcela de Estremoz e Borba IGP. Fonte: (13, 15, 20)

A formulação de base compreende sangue e gordura suína, aos quais se adicionam especiarias e condimentos variáveis (14, 15). De forma facultativa, podem ainda integrar na composição componentes cerealíferos como arroz, pão de trigo ou farinha (14, 15), cuja presença e proporção determinam diferenças assinaláveis no perfil textural e nutricional do produto (18). O caderno de especificações desta IGP fixa como indicadores analíticos humidade do produto desengordurado inferior a 65 %, gordura entre 60 e 90 % na matéria seca e cloretos entre 2 e 4 %, e prescreve o escaldão em água aquecida sem atingir a ebulição, durante 45 minutos a 2 horas consoante o invólucro, como único tratamento térmico (17). Esta variabilidade encontra expressão nas denominações com estatuto de Indicação Geográfica Protegida reconhecidas em Portugal (10).

Do ponto de vista tecnológico, a estrutura da morcela resulta da interação térmica entre as proteínas do sangue, o colagénio e os componentes amiláceos eventualmente presentes, processo que confere ao produto a sua consistência característica, firme e fatiável (19). A gordura contribui para a suculência, a maciez e a palatabilidade global do produto (15), enquanto os ingredientes cerealíferos, quando presentes, funcionam como agentes de enchimento e ligação, contribuindo para a retenção de água, a estabilidade da emulsão e o rendimento de produção (15, 18).

A morcela distingue-se sensorialmente pela cor escura característica, resultante da presença do sangue, pelo sabor intenso e ligeiramente fumado e pelo aroma a especiarias, variável consoante a região de produção (17). A sua presença na alimentação portuguesa remonta à Idade Média, associada ao aproveitamento integral do porco e à necessidade de conservar o sangue após o abate, prática que persiste até hoje nas regiões de produção tradicional (17).

A farinha de trigo, quando presente na formulação, ocupa neste produto um papel de ligante e agente de enchimento, distinto do papel estruturante que tem na farinheira, onde é o ingrediente cerealífero maioritário (15, 18). Na morcela, a estrutura do produto resulta sobretudo da gelificação térmica das proteínas do plasma sanguíneo, e a farinha contribui para a coesão da pasta e para o rendimento do produto (19). Esta diferença condiciona o tipo de desafio tecnológico, que a substituição do glúten coloca em cada um destes produtos, e justifica a abordagem comparativa adotada neste trabalho. Tanto a farinheira como a morcela de Estremoz e Borba constam da lista de IGP da União Europeia protegidas em território suíço ao abrigo do acordo bilateral de 2010, classificadas na categoria de produtos à base de carne (20).

2. Fundamentação Teórica

2.1. Estrutura, composição e propriedades funcionais do glúten

O glúten de trigo foi isolado pela primeira vez por Jacopo Bartolomeo Beccari, em Bolonha, Itália, no ano de 1728, sendo definido como a fração elástica que permanece após a lavagem da massa de trigo para remoção dos grânulos de amido e dos constituintes solúveis em água. Biologicamente, trata-se de uma proteína de reserva do grão de trigo. Proteínas com função análoga estão presentes noutros cereais: as hordeínas na cevada, as secalinas no centeio e as aveninas na aveia (21). A própria designação deriva do latim *gluten*, cujo significado remete à noção de *cola* (22).

O glúten constitui uma mistura complexa de proteínas presente em cereais como o trigo, a cevada, o centeio e, em determinados contextos, a aveia (21, 22), sendo as suas duas frações principais a glutenina, insolúvel em água, e a gliadina, solúvel em álcool (22). Na farinha de trigo, esta fração proteica representa cerca de 80 a 85 % do teor proteico total (22). Quanto à composição e organização estrutural, o complexo proteico do glúten subdivide-se em três grupos: proteínas pobres em enxofre, proteínas ricas em enxofre e proteínas de elevado peso molecular (22). A glutenina e a gliadina apresentam sequências ricas em glutamina e prolina (21) e estão diretamente associadas ao desenvolvimento da textura, da coesão e das propriedades sensoriais de uma grande variedade de produtos alimentares (23). A gliadina atua predominantemente como plastificante, conferindo viscosidade e extensibilidade à massa, enquanto a glutenina é responsável pela elasticidade e resistência da rede proteica, formada na farinha de trigo (22). A interação entre estes componentes é responsável pelo comportamento reológico característico do glúten, constituindo um fator essencial para o seu desempenho tecnológico (22). Após hidratação e mistura da farinha de trigo, as proteínas do glúten organizam-se numa rede tridimensional que confere às massas um comportamento viscoelástico determinante para o seu desempenho no processamento alimentar (22). A quantidade e o tipo de proteínas aumentam do centro para a camada de aleurona no endosperma amiláceo (24). As propriedades viscoelásticas da massa de trigo desenvolvem-se, em parte, pela formação progressiva de ligações de hidrogénio entre grupos amida e hidroxilo ao longo do tempo de repouso e de processamento (22). Estas interações contribuem para a estabilidade e coesão da rede proteica, sendo centrais para o comportamento reológico do glúten (22). A estabilidade da rede proteica do glúten resulta de um conjunto diversificado de ligações químicas (25). As pontes dissulfureto são particularmente relevantes: nas gliadinas formam-se dentro da própria

cadeia proteica, enquanto nas gluteninas ocorrem tanto dentro como entre cadeias, sendo estas últimas as responsáveis pela construção de uma estrutura ramificada e coesa (25). As interações hidrofóbicas e as forças de van der Waals participam igualmente nesta organização, ainda que com menor expressão (25). Com o aumento da temperatura, esta organização modifica-se de forma progressiva, pois por volta dos 45°C, as ligações de hidrogénio começam a romper-se e grupos hidrofóbicos ficam expostos, o que intensifica as interações hidrofóbicas (21). Acima dos 90°C, a gliadina passa a participar ativamente em reações de troca tiol-dissulfureto, aumentando a reticulação intramolecular e reforçando a rede proteica (21). A moagem é um dos processos que mais interfere com esta organização estrutural, uma vez que a rutura das estruturas celulares torna a matriz proteica mais exposta à ação de enzimas hidrolíticas (21).

Para além das suas propriedades estruturais, o glúten desempenha também uma função relevante durante a fermentação, pela sua capacidade de reter o dióxido de carbono produzido pelos microrganismos (21, 23). Esta retenção gasosa é responsável pelo aumento de volume da massa, conferindo-lhe a estrutura porosa característica do produto final (21, 23).

O trigo comum (*Triticum aestivum*), da família *Poaceae*, é um dos cereais mais consumidos no mundo e constitui uma fonte importante de proteína a nível global (26), sendo a farinha obtida por moagem dos seus grãos uma das matérias-primas com maior relevância tecnológica na indústria alimentar, precisamente pela capacidade de formar massas com comportamento viscoelástico (22, 23). A nível mundial, o trigo ocupa o terceiro lugar em volume de produção, atrás do milho e do arroz, tendo registado uma produção média de 633 milhões de toneladas entre 2004 e 2008 (26, 27).

Entre os cereais cujas frações proteicas partilham função análoga à do glúten de trigo, este último distingue-se pelo balanço singular entre gliadinas e gluteninas, que confere às massas formadas propriedades viscoelásticas sem equivalente nos homólogos da cevada, do centeio ou da aveia (22, 23). É essa superioridade funcional, e não apenas a ubiquidade agronómica do trigo, que explica a sua predominância como fonte de glúten em formulações industriais, incluindo em produtos cárneos processados (23).

2.2. Função tecnológica do glúten em matrizes cárneas

A matriz cárnea tem limitações funcionais intrínsecas, em especial na capacidade de retenção de água, que é fortemente condicionada pelo pH e pela força iónica do sistema

(28). O glúten de trigo, na forma de proteína isolada, confere capacidade de absorção de água, coesão, viscosidade e elasticidade (29). Já o amido quando a sua fração aumenta, a formação de ligações dissulfureto fica comprometida, o que fragiliza a rede proteica tridimensional e altera o comportamento funcional das proteínas durante o processamento (21). Estas propriedades sustentam a sua utilização em produtos cárneos processados como agente ligante, promovendo a coesão de carne e contribuindo para a retenção de água e o rendimento do produto final (2).

No contexto do processamento de produtos cárneos, a ação do glúten depende em larga escala das condições de hidratação e da mistura mecânica da massa (21). À medida que o teor de água se aproxima de 16 %, o glúten transita de um estado vítreo para uma estrutura elástica e flexível, atingindo hidratação completa das proteínas quando esse teor ronda os 35 % (21). Acima deste valor, a água adicional não contribui para a hidratação, limitando-se a diluir as proteínas presentes (21). A mistura mecânica potencia a interação entre gliadina e glutenina, favorecendo a distribuição uniforme do ar e a hidratação homogénea das proteínas, fatores determinantes para a textura e coesão da rede proteica formada (21). Esta dependência adquire maior relevância quando se considera que as próprias proteínas miofibrilares da matriz cárnea, nomeadamente a miosina, só atingem capacidade gelificante satisfatória em condições de força iónica elevada, sendo a sua solubilização comprometida em meios de força iónica reduzida (28, 30). A incorporação de glúten de trigo hidrolisado nesta matriz produz, no entanto, efeitos distintos consoante a função tecnológica pretendida, pois por um lado, melhora a atividade emulsionante da proteína miofibrilar, por outro, interfere com a agregação proteica responsável pela gelificação térmica, podendo enfraquecer a rede de gel formada (30). A resposta funcional do glúten à matriz cárnea não é, portanto, uniforme, dependendo da propriedade tecnológica que se pretende otimizar (30).

2.3. Abordagens para substituição do glúten em produtos cárneos

A substituição do glúten em produtos cárneos processados implica repensar a formulação desde a base, dado que este ingrediente desempenha múltiplas funções em simultâneo na matriz (31). Eliminar o glúten sem comprometer a textura, a coesão e a estabilidade do produto exige uma abordagem tecnológica cuidada, frequentemente baseada na combinação de ingredientes com funções complementares (31).

As estratégias mais estudadas agrupam-se em três categorias principais. A primeira recorre a proteínas vegetais, nomeadamente isolados e concentrados de leguminosas como a soja, a ervilha ou o grão-de-bico, que pela sua capacidade de gelificação e

emulsificação conseguem mimetizar, em parte, o comportamento ligante do glúten no preparado cárneo (32). A segunda categoria corresponde ao uso de hidrocolóides, como a goma xantana, a carragenina ou a metilcelulose, que formam redes polisacarídicas capazes de aumentar a retenção de água, estabilizar emulsões e conferir estrutura ao produto final na ausência de glúten (31). A terceira abordagem envolve a incorporação de fibras dietéticas, provenientes de farinhas integrais ou subprodutos vegetais, que contribuem simultaneamente para a textura, a capacidade de retenção de água e o perfil nutricional dos produtos (33).

Na prática, estas estratégias raramente são aplicadas de forma isolada (34). A combinação de proteínas vegetais com hidrocolóides ou fibras tem demonstrado resultados mais consistentes do que o uso de qualquer um destes ingredientes em separado, permitindo aproximar as características tecnológicas do produto final às dos produtos tradicionais com glúten (34).

2.4. Propriedades físico-químicas e tecnológicas de enchidos

A escolha de substitutos do glúten está necessariamente condicionada pelas características da matriz alimentar em causa. A farinheira e a morcela constituem dois dos enchidos tradicionais portugueses mais representativos, distinguindo-se dos restantes produtos desta categoria pela sua composição singular e pelo perfil sensorial característico. Ambos integram o vasto conjunto de enchidos fumados e/ou cozidos produzidos em Portugal, em particular nas regiões do Alentejo e Trás-os-Montes, estando vários dos seus tipos reconhecidos com estatuto de Indicação Geográfica Protegida (IGP) (3).

A farinheira é um enchido curado pelo fumo, constituído essencialmente por gordura de porco e farinha de trigo, à qual se adicionam vinho branco, sal, pimentão-doce, pimenta e alho (3). A tripa não é completamente preenchida com a massa, conferindo ao produto uma consistência mole a pastosa e uma coloração amarelo-alaranjada característica, com sabor suave e ligeiramente adocicado (3). Segundo o caderno de especificações, o produto final deve apresentar teor de gordura não inferior a 38 %, humidade do produto desengordurado superior a 6 % e cloretos entre 5 % e 6 %, com a maturação da massa a decorrer a 0–5 °C e humidade relativa de 90–95 % (7).

A morcela é obtida por escaldão em água quente e/ou fumagem, sendo composta fundamentalmente por gordura suína finamente fragmentada, sangue fresco e

especiarias (3). A coloração exterior é escura, com consistência semi-mole, e a massa interior deve apresentar-se homogénea e bem ligada (3).

A composição proximal destes produtos é determinada pelas matérias-primas de base e pelo processo tecnológico aplicado, variando entre tipos de enchidos e produtores (3). A elevada proporção de hidratos de carbono da farinheira é consequência direta da farinha de trigo como ingrediente estruturante, ao passo que o maior teor proteico da morcela está associado à presença do sangue na formulação (3).

Na morcela cozida portuguesa, a ausência de fermentação láctica resulta num pH próximo da neutralidade e numa *aw* elevada, parâmetros determinantes na estabilidade microbiológica e na vida útil do produto, pelo que a segurança depende essencialmente do tratamento térmico e do armazenamento em refrigeração (35). No caso da Morcela de Cozer de Portalegre IGP, o repouso da massa condimentada decorre durante 12 a 20 horas a temperatura inferior a 10 °C e humidade de 80-90 %, e o sangue deve ser reservado em condições que impeçam a sua coagulação antes da incorporação (17).

Sabe-se que enchidos de sangue ibéricos sujeitos as fermentações prévias apresentam pH significativamente mais baixo, o que constitui uma barreira adicional ao crescimento microbiano e determina condições de conservação consideravelmente distintas (36).

A incorporação de farinhas e amidos vegetais melhora a capacidade de retenção de água e a estabilidade da emulsão por gelatinização durante o tratamento térmico, com impacto direto no rendimento de cozedura, na firmeza e na coesão do produto, variando consoante a fonte amilácea utilizada (37). A substituição da farinha de trigo por farinhas alternativas sem glúten altera necessariamente estas propriedades funcionais.

2.5. Farinhas alternativas: composição e funcionalidade tecnológica

2.5.1. Farinhas de cereais, leguminosas e amidos

Em formulações sem glúten, a escolha das matérias-primas alternativas não é indiferente do ponto de vista tecnológico. Cada farinha ou amido tem um perfil de propriedades próprio, que acaba por condicionar o comportamento da massa, a textura do produto final e o seu valor nutricional. Daí que seja frequente recorrer a combinações entre farinhas de cereais e de leguminosas, pela complementaridade que se estabelece ao nível das proteínas, dos aminoácidos essenciais, dos lípidos e das fibras contribui tanto para o balanço nutricional como para as propriedades tecnológicas da formulação (38). Entre as matérias-primas disponíveis, as farinhas de pseudocereais como o

amaranto e a quinoa são também reconhecidas como opções seguras e tecnologicamente interessantes para produtos isentos de glúten (22). A par destas, as farinhas de leguminosas como grão-de-bico, ervilha e soja têm demonstrado capacidade de melhorar simultaneamente as características nutricionais e funcionais dos produtos em que são incorporadas (22, 38).

Na prática, estas farinhas raramente são usadas isoladamente, visto que a associação com amidos é um recurso comum para compensar a ausência da rede proteica que o glúten formaria (22). A isto acrescenta-se a incorporação de hidrocolóides, que tem mostrado eficácia na aproximação das características texturais e estruturais dos produtos sem glúten aos dos seus equivalentes convencionais (22), funcionando em sinergia com as farinhas e amidos já presentes. Quando se combinam duas ou mais farinhas com fontes de fibra, o valor nutricional da formulação tende a aumentar, embora o acréscimo progressivo de leguminosas e fibras tenha também sido associado a reduções de volume e aumentos de dureza, o que torna a otimização das proporções uma etapa indispensável no desenvolvimento destas formulações (38). Esta mesma lógica de combinação tem sido aplicada em produtos cárneos sem glúten, onde a associação de farinha de grão-de-bico com hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) demonstrou ser uma alternativa funcional eficaz ao glúten em salsichas (39).

2.5.2. Farinha de trigo sarraceno

O trigo sarraceno (*Fagopyrum* spp.) pertence à família *Polygonaceae* e compreende duas espécies cultivadas: *Fagopyrum esculentum* Moench, o trigo sarraceno comum, e *Fagopyrum tataricum* (L.), conhecido como trigo sarraceno tártaro (40). Trata-se de um pseudocereal originário do sudeste da China, de onde se propagou ao longo dos séculos até à Europa e ao continente americano (40).

O crescente interesse científico e tecnológico por esta espécie decorre de uma combinação de fatores nutricionais e tecnológicos que a distinguem dos cereais convencionais. As proteínas do trigo sarraceno apresentam um perfil de aminoácidos notavelmente mais equilibrado, em que a lisina, aminoácido limitante em grãos como o trigo e o milho, encontra-se em quantidade cerca de duas vezes superior à do trigo (41). A fração proteica do endosperma é dominada por globulinas e albuminas, com uma presença quase residual de prolaminas. Em particular, as prolaminas de 30 kDa, associadas à resposta imunitária na doença celíaca estão ausentes nesta espécie (42). A digestibilidade proteica do trigo sarraceno é, no entanto, relativamente mais baixa do

que a dos cereais, situando-se entre 70 % e 80 %, o que resulta da presença de fibras, da interação entre proteínas e compostos fenólicos, e da formação de agregados mais densos durante a gelatinização do amido (41). A fração glucídica contém ainda uma proporção considerável de amido resistente, que contribui para um índice glicémico mais baixo face ao trigo (42).

Esta composição proteica tem uma implicação tecnológica central para o presente trabalho, dado que a ausência de prolaminas e glutelinas impede a formação de uma rede viscoelástica semelhante à do glúten, o que condiciona o comportamento das farinhas de trigo sarraceno em sistemas alimentares e torna necessária a adoção de estratégias de formulação específicas para compensar essa limitação funcional (40, 42).

O comportamento do amido de trigo sarraceno distingue-se dos amidos de cereais convencionais em aspetos com implicações práticas no processamento. A gelatinização inicia-se a partir dos 65 °C, com temperatura de pico de viscosidade próxima dos 90 °C, e a gama de temperaturas em que ocorre é consideravelmente mais ampla do que no milho ou no trigo, resultado da maior heterogeneidade estrutural do amido desta espécie (40). Após gelatinização e arrefecimento, o amido de trigo sarraceno forma um gel rígido com módulo de elasticidade significativamente superior ao dos amidos de cereais, o que se traduz em respostas tecnológicas distintas nas formulações onde é utilizado (41).

Para além da fração proteica e do amido, o trigo sarraceno contém compostos fenólicos de interesse funcional. A rutina é o flavonoide dominante e o único presente exclusivamente neste pseudocereal entre todas as espécies desta família, com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anti-hipertensivas bem documentadas (42). A quercetina e outros flavonoides como a orientina e a vitexina completam o perfil polifenólico desta matéria-prima (42).

A aplicação da farinha de trigo sarraceno em produtos cárneos tem sido explorada em diferentes contextos tecnológicos (43). A predominância de globulinas e albuminas na sua fração proteica confere-lhe propriedades emulsionantes e gelificantes úteis na estabilização de sistemas emulsionados (43). A sua incorporação em enchidos através de emulsões gelificadas para substituição de gordura animal revelou-se tecnologicamente viável, sem comprometer a estabilidade da emulsão nem a oxidação lipídica, embora se registem alterações nos parâmetros de cor e textura proporcionais ao nível de substituição utilizado (43).

No que respeita à conservação, a frescura dos grãos é um indicador crítico de qualidade, uma vez que o armazenamento prolongado degrada compostos que determinam o aroma e o sabor característicos (40). Para retardar estas alterações, os grãos podem ser mantidos em atmosfera modificada com concentração elevada de azoto (97 %) e teores controlados de oxigénio (1,5 %) e dióxido de carbono (1,5 %) (40).

2.5.3. Farinha de grão-de-bico

O grão-de-bico (*Cicer arietinum L.*) é uma leguminosa da família *Fabaceae* (ou *Leguminosae*), reconhecida como fonte rica de proteínas, fibras, vitaminas e minerais (32). Distinguem-se dois tipos principais, o kabuli, de sementes maiores, lisas e de cor clara, e o Desi, de sementes pequenas, angulares e de cor escura (32). A espécie terá origem na região do sudeste da Anatólia, de onde se difundiu para outras partes do globo. Atualmente, a Índia é o maior produtor mundial, com cerca de 71,2 % da produção (32). O interesse nutricional por esta leguminosa tem sido amplamente documentado, com diversos estudos a destacarem os seus benefícios para a saúde e a explorarem o seu uso em aplicações alimentares (32). Trabalhos comparativos com outras leguminosas reforçam a sua importância nutricional e demonstram o potencial do grão-de-bico no desenvolvimento de produtos alimentares saudáveis e sustentáveis (32).

A farinha de grão-de-bico é isenta de glúten, o que a torna adequada a pessoas com intolerância ao glúten, e as suas proteínas apresentam elevada biodisponibilidade, fornecendo aminoácidos essenciais que a qualificam como boa fonte de proteína alimentar (32). Para além do valor nutricional, a cultura assume relevância na agricultura sustentável pela capacidade de fixação de azoto através da simbiose com bactérias, que reduz a dependência de fertilizantes (32). O grão-de-bico constitui uma fonte rica de hidratos de carbono, incluindo polissacarídeos, oligossacarídeos, dissacarídeos e monossacarídeos, bem como de aminoácidos essenciais, proteínas, fibras alimentares, cálcio, ferro e fósforo, e tem revelado de forma consistente, um teor proteico superior ao de muitas outras leguminosas (32). A cozedura permite ainda inativar compostos que dificultam a absorção das proteínas, como os inibidores de tripsina (32).

A fração proteica do grão-de-bico organiza-se em quatro classes principais, as albuminas, as globulinas, as glutelinas e as prolaminas, sendo as globulinas a fração maioritária e a principal proteína de reserva (32). Dentro das globulinas distinguem-se dois grupos, as leguminas (11S) e as vicilinas (7S). As leguminas são proteínas

oligoméricas de massa molecular elevada, entre 320 e 400 kDa, constituídas por seis subunidades unidas por pontes dissulfureto, ao passo que as vicilinas são triméricas, de menor massa molecular, entre 145 e 190 kDa, e desprovidas de resíduos de cisteína (44). Estas diferenças moleculares refletem-se no comportamento funcional da fração globulínica, com as vicilinas, de estrutura menos rígida e menor teor de pontes dissulfureto, a apresentarem maior solubilidade e melhores propriedades emulsionantes e de formação de espuma, ainda que com menor estabilidade térmica do que as leguminas, sendo a proporção entre as duas formas relevante para a funcionalidade do conjunto (44). A fração globulínica é a principal responsável pela coesividade, pela gelificação e pela retenção de água, propriedades relevantes para a estabilidade estrutural dos produtos onde é incorporada (32). As glutelinas, ao contrário das globulinas formadoras de gel, originam uma rede de fibras elásticas que confere mordida e mastigabilidade, característica de interesse em enchidos e em análogos de carne à base de grão-de-bico (32). As albuminas, solúveis em água, contribuem para a viscosidade e para as propriedades emulsionantes e espumantes da matriz (32).

As proteínas do grão-de-bico apresentam um conjunto de propriedades funcionais e tecnológicas com interesse para a formulação alimentar, nomeadamente a solubilidade, a capacidade de retenção de água e de gordura, e as propriedades emulsionantes e gelificantes. A solubilidade depende do pH, atingindo um mínimo próximo do ponto isoelétrico (32). Por ser uma das propriedades funcionais mais relevantes, condiciona ainda a emulsão, a espuma e a gelificação (45). A capacidade de retenção de água influencia a textura e a suculência dos produtos, ao passo que a capacidade de retenção de gordura se mostra particularmente útil em matrizes ricas em lípidos (32). As propriedades gelificantes resultam da desnaturação e do rearranjo das proteínas globulares por ação do calor, com formação de uma rede de gel (32).

O amido é o polissacarídeo mais abundante do grão-de-bico e caracteriza-se por um teor relativamente elevado (32). A sua temperatura de gelatinização é comparativamente baixa, o que facilita o processamento, e o amido atua como ligante e agente estruturante, incluindo em produtos de panificação isentos de glúten (32).

A aplicação da farinha de grão-de-bico em produtos cárneos tem sido estudada em diferentes contextos. A sua incorporação como extensor em produtos emulsionados de baixo teor de gordura melhora as propriedades de textura, instrumentais e sensoriais, aumenta o rendimento de cozedura e reduz a libertação de água, sem comprometer os atributos de sabor face à formulação de referência (45). A baixa temperatura de gelatinização do amido e a elevada solubilidade proteica no intervalo de pH dos produtos

cárneos processados favorecem o desempenho da farinha nestes sistemas (45). A fibra alimentar de grão-de-bico, quando incorporada em géis de emulsão de proteína miofibrilar de suíno, melhora a capacidade e a estabilidade da emulsão, aumenta a ligação de água e de gordura e a força do gel, e favorece a formação de uma rede tridimensional mais densa, com potencial para melhorar a qualidade dos produtos cárneos emulsionados (46). O concentrado proteico de grão-de-bico, aplicado em enchidos, tem demonstrado melhorias na textura e no rendimento, redução da oxidação lipídica e maior estabilidade da cor (32).

O aproveitamento da farinha de grão-de-bico estende-se para além das utilizações culinárias tradicionais. Segundo a investigação recente, esta sugere que o recurso a farinhas de leguminosas abre possibilidades relevantes para o desenvolvimento de novos produtos (32).

2.5.4. Outras farinhas alternativas consideradas

Entre as matérias-primas amiláceas naturalmente isentas de glúten, a farinha de arroz destaca-se como a mais amplamente utilizada no desenvolvimento de produtos alimentares (47), sendo frequente o recurso a amidos e farinhas de cereais como o milho e o arroz em formulações industriais, onde cumprem funções de ligação, espessamento e incorporação de massa, que contribuem para reduzir o custo da formulação (37).

O amido, componente maioritário nestas três matérias-primas, atua em produtos alimentares processados como agente de espessamento, estabilização e ligação, sendo a sua funcionalidade determinada pela origem botânica, estrutura granular e proporção relativa de amilose e amilopectina (37). A amilose confere resistência ao gel formado durante o processamento térmico, enquanto a amilopectina contribui para as propriedades viscoelásticas do sistema (37). Quando os grânulos de amido são aquecidos em presença de água, incham, gelificam e interagem com as proteínas musculares, reforçando a capacidade de retenção de água e gordura na massa (37).

A farinha de arroz é a matéria-prima sem glúten mais utilizada no desenvolvimento de produtos alimentares, sendo reconhecida pelo seu perfil hipoalérgico e elevado valor nutricional (47). A sua composição é dominada pelo amido, que representa cerca de 83,5 % do peso seco, com um teor proteico relativamente baixo de 6,2 %, constituído maioritariamente por gluteninas (47). O reduzido teor de amido desta farinha, associado à sua estrutura granular particular, condiciona a capacidade de gelatinização e distingue o seu comportamento tecnológico face a outras farinhas sem glúten (47). Em sistemas

cárneos emulsionados, a sua incorporação melhora o rendimento de cozedura e a retenção de humidade, reduz as perdas de gordura durante o processamento térmico e contribui para a estabilidade da emulsão (37). Os produtos obtidos tendem a apresentar textura mais macia do que os formulados com amidos purificados, o que pode ser uma vantagem ou uma limitação consoante o perfil sensorial pretendido (37).

A farinha de milho é obtida por moagem de grãos inteiros secos e incorpora pericarpo, gérmen e endosperma, sendo por isso considerada uma farinha de grão inteiro (39). É naturalmente isenta de glúten e tem sido estudada como substituto da farinha de trigo em produtos cárneos processados (39). Durante o processamento térmico, os grânulos de amido de milho comportam-se de forma diferente dos do trigo, na ausência de glúten, as cadeias de amilose tendem a libertar-se dos grânulos durante a cozedura, o que origina géis menos coesos (39). Este comportamento pode ser compensado pela adição de hidrocolóides, que formam uma camada protetora em torno dos grânulos, reduzindo a solubilização de amilose e aproximando as propriedades texturais dos produtos das formulações convencionais (39).

O amido de milho, ao contrário da farinha de milho, é uma fração purificada com teor quase exclusivo de amido e quantidades vestigiais de proteínas, gorduras e fibras. A elevada capacidade espessamento e a gelatinização previsível durante o processamento térmico fazem dele um ingrediente frequentemente utilizado em combinação com outras farinhas sem glúten, melhorando a consistência e a estabilidade do produto final (37).

2.6. Avaliação instrumental da textura em produtos cárneos

A textura corresponde à manifestação sensorial e funcional das propriedades estruturais, mecânicas e de superfície dos alimentos, percebida através dos sentidos da visão, da audição, do tato e da cinestesia (48). Por se tratar de uma propriedade sensorial, apenas o ser humano a consegue percecionar e descrever, limitando-se os instrumentos de medição a detetar e a quantificar determinados parâmetros físicos, que necessitam depois de ser interpretados em termos de perceção sensorial (48). É ainda um atributo multiparamétrico, composto por um conjunto alargado de características, e decorre da estrutura molecular, microscópica e macroscópica do alimento (48).

A classificação das características de textura proposta por Szczesniak deu origem a um método de descrição por perfil, a análise do perfil de textura (TPA), aplicável tanto à avaliação sensorial como à medição instrumental (48). O texturómetro apresentou boa correlação com a avaliação de um painel sensorial treinado, o que indica que mede o

mesmo tipo e intensidade de características mecânicas que são percebidas na boca (49). Essa correspondência mostrou-se mais elevada para a dureza e, em regra, mais reduzida e dependente do produto para os restantes parâmetros (48). Um método objetivo permite registar de forma imparcial a condição física da amostra, sem substituir a avaliação sensorial (49).

A análise do perfil de textura permite quantificar diversos parâmetros, que a classificação original distingue entre primários, como a dureza, a coesividade, a elasticidade e a adesividade, e secundários, como a gomosidade e a mastigabilidade (50). A dureza define-se como a força necessária para atingir uma dada deformação (50). A coesividade traduz a força das ligações internas que constituem o corpo do produto e corresponde à extensão em que o material pode ser deformado antes de romper (48, 50). A elasticidade refere-se à rapidez com que um material deformado regressa à forma original depois de retirada a força, ou seja, ao grau em que o produto recupera a forma inicial após ter sido comprimido (48, 50). A adesividade corresponde ao trabalho necessário para vencer as forças de atração entre a superfície do alimento e a das superfícies com que este contacta, como a língua, os dentes e o palato (50). A gomosidade, aplicável a alimentos semissólidos, define-se como a energia necessária para os desintegrar até ao estado adequado à deglutição e resulta da conjugação de uma dureza baixa com uma coesividade elevada (48, 50). A mastigabilidade, aplicável a alimentos sólidos, define-se como a energia necessária para os mastigar até poderem ser deglutidos e resulta da conjugação da dureza, da coesividade e da elasticidade (48, 50).

A textura constitui um atributo de qualidade, que os consumidores associam à frescura e à correta preparação do alimento (48). Tende a ser dada como adquirida e raramente é comentada, exceto quando se apresenta inadequada ou quando contraria as expectativas criadas para determinado produto (48). A sua aceitação depende de fatores ligados ao consumidor, ao alimento e à situação de consumo (48). A TPA é provavelmente o método instrumental mais utilizado na determinação das propriedades de textura, e os seus parâmetros de compressão têm sido aplicados por vários autores na avaliação de produtos cárneos (51). A textura é um dos atributos que mais determina a qualidade dos produtos cárneos e condiciona a sua aceitação pelo consumidor (52).

A Figura 3 ilustra o perfil característico do ensaio, que compreende duas compressões consecutivas da amostra, simulando o efeito mecânico da mastigação.

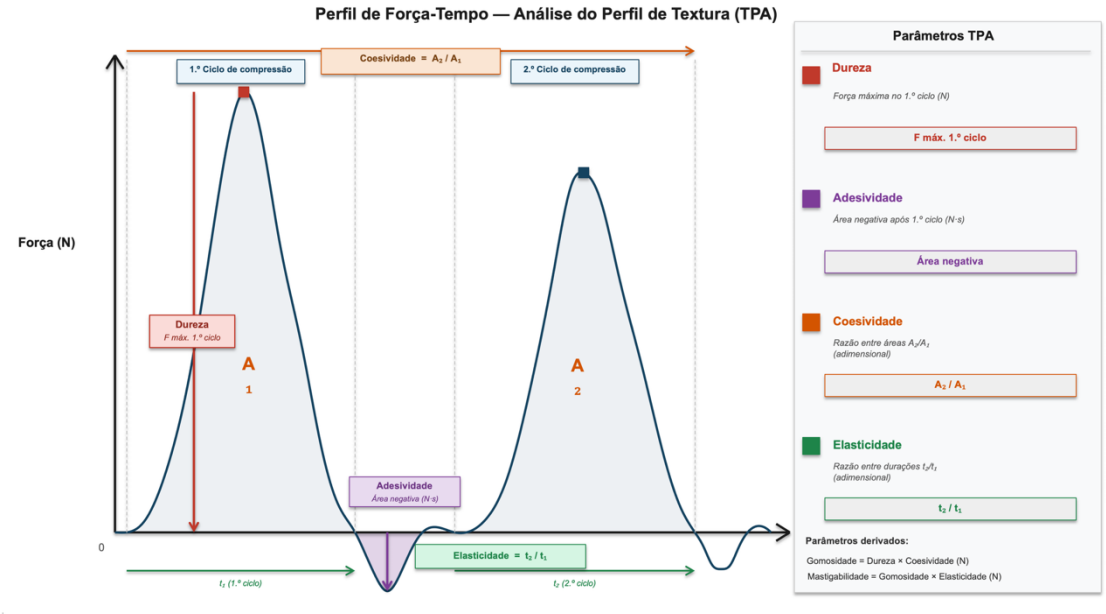

Figura 3— Perfil característico de força-tempo da Análise do Perfil de Textura (TPA), com identificação dos parâmetros primários e derivados. Fonte: (56)

A dureza corresponde à força máxima registada no primeiro ciclo de compressão (N); a coesividade resulta da razão entre as áreas sob a curva dos dois ciclos (A_2/A_1), sendo adimensional; a elasticidade é dada pela razão entre as durações dos dois ciclos (t_2/t_1), igualmente adimensional; a adesividade corresponde à área negativa após o primeiro ciclo (N·s). A gomosidade (dureza × coesividade) e a mastigabilidade (gomosidade × elasticidade) constituem parâmetros derivados, expressos em newtons. A_1: área sob a curva do 1.º ciclo; A_2: área sob a curva do 2.º ciclo; t_1: duração do 1.º ciclo; t_2: duração do 2.º ciclo.

2.7. Avaliação instrumental da cor (sistema CIELab)

A aparência é um dos atributos sensoriais de qualidade que mais pesam nos alimentos frescos e processados, e a cor da superfície é o primeiro parâmetro de qualidade que o consumidor avalia, decisivo para a aceitação do produto (53, 54). Por ser a primeira sensação percebida, a cor serve de critério para aceitar ou rejeitar o alimento, ainda antes do sabor e do aroma (53, 54). A qualidade reúne várias propriedades, e a cor é uma delas, com a particularidade de se correlacionar com outros atributos sensoriais e nutricionais e com defeitos visíveis, o que ajuda a controlá-los de imediato (53). Nos produtos cárneos, a cor é dos parâmetros mais ligados à qualidade e dos que melhor orientam a decisão de compra (36, 54, 55). A descoloração superficial é lida como perda

de frescura, o que leva à desvalorização comercial do produto e a perdas económicas para o setor (54, 55). Em produtos embalados, a aparência chega a ser o único atributo de qualidade imediatamente acessível ao consumidor (54). Manter a qualidade obriga, assim, a medir e a padronizar a cor (53, 54, 56).

A medição instrumental da cor faz-se sobretudo no espaço CIE Lab*, definido pela Commission Internationale de l'Éclairage em 1976 (53, 54). As três coordenadas exprimem a claridade (L*), uma medida aproximada de luminosidade entre o preto e o branco, a posição entre o vermelho e o verde (a*), com valores positivos para os tons avermelhados e negativos para os esverdeados, e a posição entre o amarelo e o azul (b*), positiva para os tons amarelados e negativa para os azulados (36, 53, 54). Segundo os conceitos da CIE, o olho humano possui três recetores, sensíveis ao vermelho, ao verde e ao azul, e qualquer cor resulta da sua combinação; as quantidades correspondentes constituem os coordenadas tristímulo X, Y e Z (53). Os equipamentos que determinam a cor dividem-se em duas classes. No método tristímulo, a luz refletida atravessa filtros que reproduzem a resposta do olho e a cor é lida diretamente nos valores X, Y e Z. No método espetrofotométrico, uma rede de difração decompõe a luz num espetro e vários sensores, medem a refletância a cada comprimento de onda, sendo os valores depois convertidos para o espaço Lab* (54). Tratando-se de um espaço percetualmente uniforme, a distância entre duas cores aproxima-se da diferença que o observador percebe entre elas (53, 54).

Das coordenadas a* e b* derivam duas grandezas de interpretação mais imediata. O croma (C*), atributo quantitativo da cor obtido pela raiz quadrada da soma dos quadrados de a* e b*, traduz a saturação, e quanto maior o seu valor maior a intensidade de cor (36, 53, 54). O ângulo de tonalidade (h*), atributo qualitativo calculado pelo arco-tangente do quociente entre b* e a* e expresso em graus, situa o vermelho junto de 0°, o amarelo de 90°, o verde de 180° e o azul de 270°, e presta-se a acompanhar a evolução da cor ao longo do tempo (36, 53, 54). A alteração total da cor quantifica-se pelo ΔE, que reúne numa só medida as variações de L*, a* e b* e é útil para comparar amostras ao longo do armazenamento ou entre tratamentos (53-55).

A cor pode ser apreciada por perceção visual ou por medição instrumental (53, 54). A perceção visual é um fenómeno mental, sensível ao tipo e ao ângulo de iluminação, às condições do meio e à sensibilidade do olho de cada observador (54). Como diferentes pessoas interpretam a cor de maneiras distintas, a expressão subjetiva pode não ser suficientemente precisa para a comunicar, e as abordagens objetivas ajudam a reduzir

esses problemas (53). Para que a avaliação visual produza dados objetivos exige-se um painel treinado e o recurso a padrões de cor sob iluminação controlada, o que a torna lenta e pouco adequada à rotina em larga escala (53, 54). Mesmo assim, por estar próxima da perceção do consumidor, continua a servir de referência (54, 55). A via instrumental oferece rapidez, precisão e reprodutibilidade (54). Os colorímetros fornecem diretamente os valores tristímulo e são robustos para o controlo de qualidade de rotina, enquanto os espetrofotómetros, que analisam a refletância comprimento de onda a comprimento de onda, usado mais em investigação (53). A fiabilidade da via instrumental depende da padronização das condições de medição, como a abertura do equipamento, o iluminante, o ângulo de observação, a espessura e o fundo da amostra, o número de leituras e o tempo de exposição ao ar (54). Os painéis treinados produzem dados mais repetíveis do que os não treinados, ainda que a obtenção de medições instrumentais seja, na prática, mais simples (55).

A cor dos produtos cárneos provém em larga medida dos pigmentos heme. A mioglobina é a principal proteína responsável por essa cor, cabendo à hemoglobina e a outras hemoproteínas uma contribuição menor. O grupo heme contém um átomo de ferro central cujo estado de oxidação e cujo ligando determinam a tonalidade observada (54, 55). Nos enchidos de sangue cozidos, a vermelhidão acentuada está ligada à presença de sangue na formulação, como evidencia a caracterização CIELab da morcela, em que o a* inicial é mais elevado do que noutros enchidos e a cor é seguida pelas coordenadas L*, a* e b*, pelo croma e pelo ângulo de tonalidade (36). Durante a cozedura, a desnaturação da globina, na ausência de oxigénio, conduz à formação de um ferro-hemocromo de cor rosada a avermelhada, suscetível de oxidar-se a ferro-hemocromo de tom castanho (54).

Na farinheira, a cor é governada pelo pimentão e pelos carotenoides que o compõem. Esta especiaria possui um teor elevado destes pigmentos, dado que as xantofilas vermelhas capsantina e capsorrubina são os principais compostos responsáveis pelo aumento do a* nas massas que a incorporam, enquanto as xantofilas amarelas criptoxantina e zeaxantina respondem pelo aumento do b* (56). A adição de pimentão reduz a claridade L* e, em concentrações mais altas, o vermelho da massa reflete sobretudo o próprio pimentão (56). As variações de cor observadas neste tipo de produto resultam principalmente das transformações que a especiaria sofre, entre elas a oxidação dos carotenoides, que faz descer os valores de a* e de b* ao longo do tempo (56). A contribuição do pimentão para o amarelo é coerente com o descrito noutros

enchidos com pimentão, nos quais o b* elevado é atribuído aos pigmentos amarelos desta especiaria (36).

2.8. Espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR, do inglês Near-Infrared Spectroscopy) é uma técnica analítica não destrutiva que mede a absorção de radiação eletromagnética na região de comprimentos de onda entre os 750 e os 2500 nm (57). Ao contrário dos métodos analíticos convencionais, que geralmente requerem extração química, reagentes tóxicos e preparação de amostra demorada, o método de NIR permite a determinação simultânea de múltiplos componentes de forma rápida e sem consumo de reagentes, tornando-o adequado tanto para controlo em laboratório como para aplicações em linha de produção (57, 58).

O fundamento físico da técnica reside na interação da radiação NIR com as ligações químicas das moléculas orgânicas da amostra. As absorções registadas correspondem predominantemente a sobretons e transições combinadas das ligações C–H, O–H e N–H (57). A absorção específica das ligações O–H ocorre nas regiões de 1450 e 1940 nm, o que explica a elevada capacidade preditiva do método para o teor de humidade. Quanto às ligações N–H, estas estão associadas às proteínas, e absorvem na faixa de 1460–1570 nm e 2000–2180 nm. Por fim, as ligações C–H dos ácidos gordos que apresentam absorções entre 1100–1400 nm, 1700 nm e 2200–2400 nm, conferindo ao método de NIR sensibilidade para a predição do teor de gordura (58). O espetro resultante é único para cada amostra e funciona como uma impressão digital da sua composição química e física (57).

Um espetrómetro de NIR é constituído por uma fonte de radiação, um sistema seletor de comprimentos de onda, um detetor e um sistema de processamento de dados (57). As fontes de radiação mais comuns são as lâmpadas de quartzo-tungsténio-halogéneo, embora os díodos emissores de luz tenham ganho relevância recente pela maior eficiência energética (57). Os modos de medição incluem transmitância, interatância, transflectância e reflectância difusa, sendo os dois últimos os mais frequentemente utilizados. A escolha depende das características da amostra, como o estado físico, a translucidez e a granulometria (57). O sinal bruto recolhido contém, além da informação analítica, ruído instrumental e interferências, como as bandas de absorção da água, efeitos de dispersão de luz e variações de temperatura, que tornam obrigatório o pré-processamento matemático dos dados antes da construção dos modelos preditivos (57).

A construção de um modelo NIR compreende duas etapas: a calibração e a validação. A calibração consiste na regressão entre os dados espectrais e os valores de referência determinados por métodos analíticos convencionais (61, 62). Dado que os espetros NIR raramente apresentam cumprimentos de onda com correlação exclusiva a um único componente, as regressões univariadas são inadequadas e recorre-se a abordagens multivariadas, como a regressão por mínimos quadrados parciais (PLSR) ou a regressão por componentes principais (PCR), que comprimem a informação do espectro eliminando redundância e ruído (61). Para matrizes com relações não lineares entre o espetro e a propriedade a prever, têm sido aplicadas redes neuronais artificiais (ANN), capazes de descrever associações mais complexas do que os modelos de regressão linear clássicos (61, 63). A qualidade do modelo é avaliada pelo coeficiente de determinação (R^2), pelo erro quadrático médio de validação cruzada ou de predição externa, e pelo rácio de desempenho por desvio (RPD), definido como o quociente entre o desvio-padrão dos valores de referência e o erro de predição (61). Segundo as classificações propostas na literatura, valores de RPD inferiores a 2,0 indicam desempenho insuficiente para aplicação prática, enquanto valores entre 3,0 e 3,4 são considerados adequados para controlo de qualidade e valores superiores a 4,1 evidenciam calibrações de elevado desempenho, aplicáveis em qualquer contexto analítico (61).

A aplicação do método de NIR à carne e aos produtos cárneos tem sido extensivamente documentada nas últimas décadas. A predição da composição proximal (teor de humidade, gordura intramuscular e proteína bruta) é a área de maior sucesso, com múltiplos estudos a reportar coeficientes de determinação elevados e valores de RPD compatíveis com o uso em controlo de qualidade industrial, em matrizes tão diversas como carne de bovino, suíno, ovino, aves e enchidos (57, 58). A robustez desta abordagem foi reconhecida formalmente pela AOAC International, que aprovou o método NIR por transmitância com calibração ANN para a determinação simultânea de humidade, gordura e proteína em carne e produtos cárneos (Método Oficial 2007.04), com base num estudo colaborativo conduzido em 15 laboratórios industriais que demonstrou repetibilidade e reprodutibilidade comparáveis às dos métodos químicos de referência (59). Em enchidos cozidos de suíno, a capacidade preditiva do método de NIR para humidade e proteína mostrou-se equivalente à obtida em amostras intactas mesmo quando os produtos foram analisados através da embalagem, o que representa uma vantagem prática para o controlo não destrutivo em linha (57). Para enchidos curados e fermentados, o NIR apresentou igualmente desempenho elevado na predição

de humidade, atividade da água e cloreto de sódio, parâmetros críticos no controlo dos processos de cura e secagem (57).

A preparação da amostra é um fator determinante no desempenho preditivo. Amostras homogeneizadas ou trituradas produzem, em geral, melhores resultados do que amostras intactas, porque reduzem a heterogeneidade física que introduz variabilidade nos espetros (57, 58). Contudo, a homogeneização destrói a estrutura do produto e impossibilita a análise em linha, pelo que a análise de amostras intactas permanece um objetivo tecnológico relevante, ainda que mais exigente do ponto de vista da calibração (58). Ao contrário da composição proximal, a predição de parâmetros tecnológicos como a capacidade de retenção de água, a textura instrumental ou a cor apresenta resultados mais variáveis e frequentemente insatisfatórios, o que tem sido atribuído à heterogeneidade das amostras, à baixa precisão dos métodos de referência e, no caso da cor, às alterações do estado de oxidação dos pigmentos entre o momento da medição e o da recolha do espectro (57, 58).

2.9. Composição nutricional e alegações nutricionais

Os produtos cárneos processados distinguem-se pela grande variabilidade da sua composição, determinada pela natureza das matérias-primas utilizadas, pelo processo tecnológico aplicado e pelos ingredientes incorporados na formulação. O teor lipídico pode atingir 40 a 50 % em determinados produtos, enquanto o teor proteico ronda tipicamente os 10 a 12 %, com a gordura a dominar o contributo energético global (60). O sódio, adicionado por razões tecnológicas e de conservação, pode representar até 2 % em produtos tratados pelo calor (60).

A farinheira distingue-se dos restantes enchidos portugueses por uma composição atípica no contexto dos produtos cárneos, marcada por um elevado teor lipídico e por uma fração de hidratos de carbono expressiva, diretamente relacionada com a farinha de trigo que integra a sua formulação tradicional (61). Segundo dados do INSA, os valores de referência para a farinheira crua apontam para cerca de 41 g de lípidos, 26,7 g de hidratos de carbono e 4,8 g de proteína por 100 g de parte edível, correspondendo a um valor energético de aproximadamente 497 kcal (61). O amido constitui a fração maioritária dos hidratos de carbono, situando-se em torno de 26 g por 100 g, o que reflete o papel estrutural e de enchimento que a farinha desempenha nesta matriz (61). A cozedura redistribui os teores por efeito da absorção e perda de humidade, reduzindo

o teor lipídico para cerca de 30,7 g e o valor energético para aproximadamente 404 kcal por 100 g (61).

A morcela apresenta um perfil nutricional estruturalmente distinto, com maior contributo proteico, na ordem dos 12 g por 100 g, e menor fração de hidratos de carbono, aproximadamente 12 g por 100 g, reflexo da predominância do sangue como ingrediente funcional de base (18, 65). O teor lipídico da morcela crua, próximo de 29,5 g por 100 g, é inferior ao da farinheira, e a humidade consideravelmente superior, cerca de 44,8 g por 100 g, o que confere ao produto características texturais e de estabilidade distintas (65). Nos enchidos de sangue em geral, o teor proteico é influenciado pela origem animal do sangue utilizado e pela sua proporção na formulação, podendo variar entre aproximadamente 5 e 22 % consoante a receita e o processo produtivo (18). O ferro heme constitui um micronutriente de relevo neste tipo de produtos, com biodisponibilidade superior à do ferro não-heme presente em fontes vegetais, o que confere à morcela um interesse nutricional particular (18).

A prestação de informação nutricional aos consumidores é regulada na União Europeia pelo Regulamento (UE) n.º 1169/2011, que estabelece a obrigatoriedade da declaração nutricional para a generalidade dos géneros alimentícios pré-embalados (62). Esta declaração inclui o valor energético e os teores de lípidos, ácidos gordos saturados, hidratos de carbono, açúcares, proteínas e sal, expressos por 100 g ou 100 ml de produto, constituindo o quadro dentro do qual se avaliam as alegações nutricionais (62).

As alegações nutricionais são reguladas pelo Regulamento (CE) n.º 1924/2006, que define as condições de utilização de cada alegação e fixa os critérios quantitativos que os produtos devem cumprir para poderem apresentar essa designação (63). Uma alegação só pode ser utilizada se o produto cumprir os requisitos constantes do anexo do referido regulamento, que estabelece limiares específicos expressos por 100 g ou por porção de produto (63). A aplicação destes critérios a produtos cárneos processados exige uma análise cuidada, uma vez que a composição destes produtos se caracteriza frequentemente por teores elevados de gordura saturada e sódio, o que pode condicionar a elegibilidade para determinadas alegações (60, 64). No que respeita aos critérios quantitativos de maior relevância para o presente estudo, a alegação "fonte de proteína" requer que a proteína represente pelo menos 12 % do valor energético do produto, subindo esse limiar para 20 % no caso da alegação "alto teor de proteína" (63). Para a fibra alimentar, a alegação "fonte de fibra" exige um mínimo de 3 g por 100 g, enquanto "alto teor de fibra" pressupõe pelo menos 6 g por 100 g (63). Relativamente à gordura, a alegação "teor reduzido de gordura" implica uma redução mínima de 30 %

face a um produto de referência, ao passo que "baixo teor de gordura" requer um teor inferior a 3 g por 100 g (63).

A incorporação de farinhas alternativas, como a farinha de trigo sarraceno ou de grão-de-bico, em produtos cárneos pode alterar significativamente o perfil nutricional, nomeadamente os teores de proteína, fibra e hidratos de carbono, com implicações diretas na elegibilidade para estas alegações (60), aspeto que será analisado com base nos resultados obtidos no Capítulo 4.

2.10. Estabilidade e vida útil

A estabilidade de um produto cárneo processado ao longo do armazenamento depende de fatores intrínsecos, composição química, pH, atividade da água e de fatores extrínsecos como a temperatura de conservação, a composição gasosa da embalagem e a exposição à luz (65, 66). Nos enchidos cozidos, o tratamento térmico elimina as formas vegetativas da maioria dos microrganismos, mas não afasta o risco de recontaminação superficial durante o arrefecimento e as operações de manipulação pós-cozedura (35).

A qualidade do produto evolui sob a influência simultânea de processos microbianos e oxidativos, sendo a deterioração microbiana o fator que mais frequentemente limita a vida útil em enchidos cozidos sem adição de conservantes (35, 66). A teoria dos organismos de deterioração específicos, designados SSO (Specific Spoilage Organisms), estabelece que apenas uma fração reduzida da microbiota inicial de um produto é efetivamente responsável pela deterioração percetível pelo consumidor (66). A composição dessa fração depende dos determinantes ecológicos do ambiente de armazenamento, como a temperatura, o pH e a disponibilidade de substrato (66). Em produtos embalados, a composição gasosa da atmosfera assume particular relevância na seleção da microbiota dominante (66). Em condições aeróbias, Pseudomonas spp. constituem o principal agente de deterioração de carnes e enchidos refrigerados, metabolizando preferencialmente glucose e lactato e progredindo, após esgotamento destes substratos, para a degradação de compostos azotados com produção de *off-flavours* sulfurosos e aminas (66). Quando o oxigénio é removido pela embalagem a vácuo ou em atmosfera modificada, esta dinâmica altera-se (66). As bactérias lácticas passam a dominar, com perfis de deterioração associados à acidificação e à formação de biofilme superficial**,** enquanto as enterobactérias, de carácter anaeróbio facultativo, persistem e podem crescer em condições de baixo teor de oxigénio (66).

Para além da componente microbiana, a oxidação lipídica representa o segundo grande vetor de perda de qualidade em produtos cárneos, sendo considerada a principal causa não microbiana de deterioração neste tipo de alimento (69). O mecanismo predominante é a autoxidação, uma reação em cadeia de radicais livres que envolve ácidos gordos insaturados e oxigénio molecular (69). Este processo desenvolve-se em três fases sequenciais: iniciação, propagação e terminação (69). Na fase de iniciação, um radical alquilo é gerado por abstração de um átomo de hidrogénio de uma posição alílica ou bis-alílica de um ácido gordo insaturado (69). O radical alquilo estabiliza-se por rearranjo das ligações duplas, formando dienos conjugados, e reage de seguida com o oxigénio molecular para originar um radical peroxilo altamente reativo (69). Na propagação, este radical abstrai hidrogénio de um ácido gordo adjacente, formando um hidroperóxido e um novo radical alquilo que reinicia o ciclo (69). A reação amplifica-se exponencialmente porque os próprios hidroperóxidos, ao decomporem-se, geram novos radicais alcoxi e hidroxilo que alimentam a cadeia, num processo designado de iniciação secundária (69). O ferro presente na carne, tanto na forma heme associado à mioglobina como na forma não heme, catalisa a decomposição dos hidroperóxidos e potencia este ciclo (69). Os produtos primários da oxidação, os hidroperóxidos, são inodoros e insípidos, não influenciando diretamente a perceção sensorial (69). A deterioração organolética é causada pelos produtos secundários da sua decomposição, nomeadamente aldeídos, cetonas, álcoois e hidrocarbonetos (69). Estes compostos são os responsáveis pelo aparecimento de rancidez, sabores a oxidado e alterações de cor nos produtos cárneos (69). O hexanal é o aldeído mais utilizado como marcador de oxidação lipídica, apresentando forte correlação com os índices de TBARS e com os scores sensoriais de rancidez (69). A suscetibilidade à oxidação é exponencialmente maior nos ácidos gordos polinsaturados do que nos saturados, o que torna a composição lipídica do produto um fator determinante da sua estabilidade oxidativa (69). O teor em antioxidantes endógenos como a vitamina E, a temperatura de armazenamento e a concentração de oxigénio disponível modulam igualmente a velocidade de progressão da oxidação (69, 71). A redução ou eliminação do oxigénio no espaço de cabeça da embalagem é por isso uma das estratégias mais eficazes para retardar a oxidação lipídica em enchidos embalados (69, 71).

A embalagem em atmosfera modificada (MAP) consiste na remoção e substituição da atmosfera que envolve o produto antes da selagem em materiais de barreira ao gás e ao vapor de água, sem monitorização nem controlo contínuo da composição gasosa durante o armazenamento (67). Em produtos cárneos cozidos, as misturas de CO_2 e N_2 sem oxigénio são a opção mais frequente (67). O dióxido de carbono exerce o principal

efeito bacteriostático, atuando por penetração na membrana celular, redução do pH intracelular e inibição de enzimas envolvidas na cadeia energética microbiana, com consequente prolongamento da fase de latência e do tempo de geração dos microrganismos (35, 67). Este efeito é mais pronunciado sobre as bactérias Gram-negativas, o que explica a inibição eficaz de Pseudomonas spp. e enterobactérias em MAP, com seleção das bactérias lácticas como flora dominante (66, 67). O azoto é um gás inerte e pouco solúvel em água e lípidos, sem atividade antimicrobiana reconhecida, mas cuja presença mantém a integridade física da embalagem ao compensar o volume de CO_2 absorvido pelo produto (67). A eficácia bacteriostática do CO_2 depende da sua concentração efetiva na fase aquosa da carne. Esta concentração é condicionada pela proporção inicial na fase gasosa, pela temperatura de armazenamento e pelo pH do produto, dado que a solubilidade do CO_2 aumenta com a diminuição da temperatura e com o aumento do pH (35, 67).

Os enchidos de sangue cozidos são produtos de preservação particularmente difícil, porque o pH próximo da neutralidade e a elevada atividade da água eliminam as barreiras físico-químicas que noutros produtos cárneos contribuem para limitar o crescimento microbiano (35). A Morcela de Arroz, produzida sem adição de conservantes, com atividade de água (*aw)* inicial de 0,97 e pH de 6,36, é comercializada tradicionalmente sem embalagem e com uma vida útil máxima de uma semana sob refrigeração (35). Nessas condições, o crescimento de *Pseudomonas spp.* com produção de *off-flavours*, a perda de humidade superficial com alteração da cor e da textura, e o desenvolvimento de rancidez por oxidação lipídica contribuem para uma deterioração sensorial acelerada (35). A introdução de embalagem em vácuo prolonga a vida útil ao inibir as bactérias aeróbias e reduzir a oxidação, embora o crescimento de bactérias lácticas e enterobactérias permaneça ativo e contribua para a perda progressiva de frescura (35). O MAP com 80 % CO_2 e 20 % N_2 revelou desempenho superior num estudo de 44 dias a 4 °C, inibindo *Pseudomonas spp.* durante todo o período, mantendo as contagens de enterobactérias sistematicamente inferiores às dos outros tratamentos e preservando os atributos sensoriais de forma mais consistente, com destaque para a cor, o sabor típico e a frescura global (35). As condições específicas de conservação variam consoante o produto e o contexto de comercialização, podendo os enchidos cozidos embalados em MAP ser conservados em refrigeração ou a temperatura ambiente controlada, de acordo com as características do produto e as especificações do produtor (35, 67).

Os fatores intrínsecos e extrínsecos que condicionam a estabilidade microbiológica e físico-química destes produtos, bem como os principais mecanismos de deterioração e os critérios usados para definir o fim de vida útil, encontram-se sistematizados no Apêndice A. A determinação da vida útil de enchidos de sangue fatiados e embalados deve integrar tanto a evolução microbiológica como a aceitabilidade sensorial pelo consumidor, dado que a rejeição sensorial precede o risco microbiológico em condições de temperatura adequada (35). Num estudo de vida útil conduzido com morcela de arroz fatiada armazenada a 3 °C, a análise de sobrevivência estimou uma vida útil sensorial de 4,4 dias para embalagem aeróbia, 8,1 dias para vácuo e 10,4 dias para MAP com 80 % CO_2/20 % N_2, considerando uma probabilidade de rejeição de 50 % pelos consumidores (35). A ausência de crescimento de *Listeria monocytogenes* acima de 1 log UFC/g à temperatura recomendada, independentemente do tipo de embalagem, confirmou que o critério sensorial é o que primeiro determina o fim de vida útil nestas condições (35). Perante abuso de temperatura, o comportamento do patogénico altera-se de forma significativa. A 7 °C o crescimento atinge um ciclo logarítmico nos primeiros dias de armazenamento, sendo mais rápido em embalagem aeróbia e mais contido em MAP, o que reforça o papel do CO_2 como barreira adicional à proliferação de microrganismos de segurança em produtos prontos a consumir (35).

O enquadramento legal dos critérios microbiológicos aplicáveis a produtos cárneos prontos a consumir está estabelecido no Regulamento (CE) n.º 2073/2005 da Comissão, que define limites para *Listeria monocytogenes* e outros agentes ao longo da vida útil do produto (68). Este regulamento distingue os produtos que suportam o crescimento do patogénico, como os enchidos cozidos de elevada *aw* e pH próximo da neutralidade, daqueles em que esse crescimento é inibido pelas características intrínsecas, aplicando critérios diferenciados a cada categoria (68).

2.11. Enquadramento regulamentar

2.11.1. Glúten como alergénio de declaração obrigatória

A regulamentação sobre alergénios alimentares não é uniforme a nível mundial. A Norma Geral do Codex Alimentarius para a Rotulagem de Alimentos Pré-embalados estabelece um conjunto mínimo de oito alimentos ou substâncias de declaração obrigatória, entre os quais os cereais que contêm glúten e os seus derivados (27). Os países signatários desta norma ficam vinculados a esse mínimo, embora muitos incluam substâncias adicionais nas respetivas listas nacionais, em função da prevalência regional das alergias alimentares (27).

No espaço europeu, o quadro regulamentar é definido pelo Regulamento (UE) n.º 1169/2011, que impõe a declaração obrigatória de todas as substâncias suscetíveis de causar reações alérgicas ou de intolerância quando presentes nos géneros alimentícios, independentemente da sua forma de inclusão na receita (62). O glúten consta do Anexo II deste regulamento, que abrange especificamente os cereais que contêm glúten, trigo, centeio, cevada, aveia e as respetivas variedades híbridas, bem como os produtos deles derivados (62). Esta enumeração tem implicações diretas para a formulação de enchidos tradicionais portugueses que recorrem à farinha de trigo como ingrediente funcional, uma vez que qualquer produto que a contenha fica sujeito à obrigação de declaração (62). Para além da obrigatoriedade de declaração, o Regulamento (UE) n.º 1169/2011 determina que os alergénios listados no Anexo II sejam destacados na lista de ingredientes através de uma grafia diferenciada, como o negrito, de modo a facilitar a sua identificação pelo consumidor (62). Esta exigência de visibilidade complementa a obrigação de declaração, tornando a informação sobre alergénios acessível mesmo em listas de ingredientes extensas.

As listas de alergénios de declaração obrigatória estão sujeitas a revisão periódica, a fim de incorporar dados epidemiológicos atualizados sobre a prevalência das alergias alimentares nas diferentes regiões (27). No contexto da produção alimentar, a rotulagem correta constitui apenas uma das dimensões da gestão de alergénios (27). As autoridades regulatórias a nível global têm atribuído crescente importância à monitorização de alergénios prioritários nos produtos finais, reconhecendo que uma abordagem baseada em recolhas de produtos do mercado, responde tarde demais para proteger os consumidores mais sensibilizados (27). O Regulamento (UE) n.º 828/2014 complementa este quadro ao estabelecer os requisitos específicos de informação ao consumidor sobre a ausência ou presença reduzida de glúten, fixando o limiar de 20 mg/kg como referência para a classificação de produtos como isentos de glúten, tema desenvolvido na subsecção seguinte (69).

2.11.2. Definições legais de gluten-free

A determinação de um limiar quantitativo para classificar um produto como isento de glúten tem raízes em investigação clínica controlada. Num ensaio multicêntrico, duplamente cego e placebo-controlado, Catassi et al. expuseram adultos com doença celíaca confirmada por biopsia a doses diárias de 10 mg ou 50 mg de glúten purificado durante 90 dias, mantendo o consumo de fundo abaixo de 5 mg/d (70). A dose de 50 mg/d produziu deterioração significativa do rácio vilosidade/cripta, o principal indicador

morfométrico de lesão da mucosa do intestino delgado, enquanto 10 mg/d não originou alterações histológicas com significado estatístico (70). Os autores calcularam ainda que um limiar de 20 mg/kg nos alimentos especiais mantém a ingestão diária de glúten contaminante bem abaixo dos 50 mg, mesmo nos padrões de consumo mais elevados documentados, oferecendo margem de segurança para a variabilidade individual na sensibilidade ao glúten (70). Estes dados sustentaram a adoção do limiar de 20 mg/kg pelo Codex Alimentarius na Norma CXS 118-1979, revista em 2008 e emendada em 2015, que constitui o instrumento de referência internacional para alimentos destinados a pessoas intolerantes ao glúten (71). A norma distingue duas categorias. Na primeira enquadram-se os alimentos isentos de glúten, cujo teor não pode exceder 20 mg/kg no produto tal como disponibilizado ao consumidor, abrangendo tanto alimentos de composição naturalmente livre de glúten como aqueles cujos ingredientes foram submetidos a processamento específico para a sua remoção (71). Na segunda categoria encontram-se alimentos processados para redução do teor de glúten para valores entre 20 e 100 mg/kg. Estes produtos ficam excluídos da designação *isento de glúten* e a regulamentação da sua comercialização remete para decisão a nível nacional (71).

Para a verificação analítica do cumprimento dos limiares, a norma designa o ensaio imunoenzimático ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) como método de referência, com limite de deteção igual ou inferior a 10 mg/kg (71). No quadro regulatório europeu, o Regulamento de Execução (UE) n.º 828/2014 transpôs estes limiares e definiu as condições em que os operadores podem informar o consumidor sobre a ausência ou presença reduzida de glúten nos seus produtos (69). A utilização das menções é voluntária, mas quando efetuada fica sujeita ao cumprimento estrito dos requisitos fixados. Aos produtos com teor máximo de 20 mg/kg corresponde à menção *isento de glúten*, e aos que resultam de processamento específico de cereais com glúten e apresentam teor residual até 100 mg/kg corresponde à menção *muito baixo teor de glúten* (69). Uma diferença relevante face ao regime anterior, o Regulamento (CE) n.º 41/2009, entretanto revogado, reside no alargamento do âmbito de aplicação à restauração e às coletividades anteriormente excluídas (69). O regulamento prevê ainda que produtos especificamente concebidos para pessoas intolerantes ao glúten possam ostentar menções adicionais, como *especificamente formulado para pessoas intolerantes ao glúten* ou *especificamente formulado para celíacos*, desde que o limiar de 20 mg/kg seja verificado (69).

A distinção entre produtos naturalmente isentos de glúten e produtos reformulados por substituição ou remoção do ingrediente tem consequências práticas para a indústria

alimentar. Quando a reformulação elimina os cereais com glúten da receita e assegura a inexistência de contaminação cruzada ao longo de todo o processo produtivo, o produto resultante enquadra-se na primeira categoria da Norma CXS 118-1979, podendo ostentar a menção *isento de glúten* desde que a verificação analítica confirme um teor residual não superior a 20 mg/kg (71).

2.11.3. Rotulagem e risco de contaminação cruzada

A rotulagem é o canal de comunicação mais imediato entre o operador e o consumidor com alergia ou intolerância ao glúten. O Regulamento (UE) n.º 1169/2011 estabelece a obrigatoriedade de declaração dos ingredientes alergénicos na lista de ingredientes, exigindo a sua diferenciação tipográfica relativamente aos restantes componentes da fórmula (62, 72). Ainda assim, o regulamento fornece orientações limitadas quanto à forma de apresentação dessa informação no rótulo, deixando margem de flexibilidade considerável aos operadores alimentares (72). A utilização de menções de precaução tem caráter voluntário, o que contribui para uma variabilidade assinalável nos formatos adotados (72). De igual modo, a inclusão de caixas informativas dedicadas aos alergénios ou o recurso a símbolos e ícones não se encontra expressamente regulamentada (72).

Num mercado crescentemente globalizado, o consumidor pode por isso deparar-se com representações muito distintas da mesma informação consoante o produto ou o país de comercialização. Estudos de avaliação de rótulos demonstraram que consumidores com alergias alimentares relatam dificuldades persistentes na localização, leitura e interpretação desta informação, o que reforça a pertinência de uma maior padronização (72). A conformidade regulatória na rotulagem é, contudo, apenas uma das dimensões do problema. O risco de exposição involuntária ao glúten pode surgir muito antes de o produto chegar ao rótulo, a contaminação cruzada ocorre desde os campos de cultivo e os moinhos até às unidades de transformação, à restauração e ao domicílio (73). Matérias-primas naturalmente isentas de glúten, como o trigo sarraceno, o milho e as leguminosas, estão sujeitas a contaminação durante a rotação de culturas, a colheita em equipamento partilhado ou o armazenamento em instalações comuns (73, 74). Quando as mesmas linhas de produção são utilizadas para produtos com e sem glúten, o risco agrava-se (74). Vários estudos de mercado mostraram que os produtos naturalmente isentos de glúten apresentam taxas de contaminação acima de 20 mg/kg superiores às dos produtos certificados, colocando-os numa categoria de risco mais elevado para os consumidores com doença celíaca (73).

A implementação de programas de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controlo que incluam os alergénios como categoria de perigo, com revisão periódica da conformidade dos processos, é reconhecida como uma medida essencial para a gestão deste risco a nível industrial (27, 74). Formulações com listas de ingredientes mais curtas, associadas às estratégias de *clean label*, podem reduzir o número de fontes potenciais de contaminação, mas a ausência de alergénios nas matérias-primas após o processamento primário deve ser sempre verificada analiticamente (27).

Para além da cadeia produtiva, o glúten está presente de forma menos visível em alimentos compostos, medicamentos e produtos cosméticos onde é utilizado como agente funcional, uma fonte de exposição involuntária frequentemente subestimada pelos próprios consumidores (73). Uma rotulagem inadequada e desconhecimento sobre estas fontes comprometem a adesão efetiva à dieta isenta de glúten mesmo nos casos em que existe motivação para o cumprimento (73).

Estudos de monitorização recentes confirmam que a contaminação residual continua a ser detetada em produtos comercializados sob alegação *gluten-free* em múltiplos mercados, com taxas de não conformidade particularmente elevadas em categorias como trigo sarraceno (78). A verificação analítica pelo método ELISA, designado pela Norma CXS 118-1979 como referência para confirmação do limiar de 20 mg/kg, apresenta boa concordância com outras plataformas comerciais a esse limiar, embora a divergência entre métodos aumente quando se aplicam critérios mais restritos (75, 78). Estes dados reforçam a necessidade de monitorização contínua e fiscalização sistemática para assegurar a conformidade efetiva dos produtos rotulados como isentos de glúten (78, 79).

3. Materiais e Métodos

3.1. Delineamento experimental

O estudo compreendeu o desenvolvimento e análise de 12 formulações experimentais, distribuídas igualmente pelos dois produtos em estudo, farinheira e morcela, com o objetivo de avaliar a viabilidade tecnológica da substituição da farinha de trigo com glúten por farinhas alternativas sem glúten.

O trabalho decorreu em duas fases sequenciais. Numa primeira fase, procedeu-se ao desenvolvimento de uma formulação industrial sem glúten para cada produto, designadas FI (Farinheira industrial) e MI (Morcela industrial), através de um conjunto

de ensaios piloto realizados nas instalações da empresa, descritos em detalhe na secção 3.4. Numa segunda fase, e com base nas formulações industriais obtidas, produziram-se as restantes formulações experimentais, completando o conjunto de 12 formulações que constituiu o objeto de análise deste estudo. As 12 formulações foram estruturadas segundo três eixos de comparação, transversais aos dois produtos (Tabela D.1 – Apêndice D):

Eixo 1. Efeito da substituição do glúten: compara a formulação controlo, produzida com farinha de trigo com glúten (MC/FC), com a formulação industrial sem glúten (MI/FI), desenvolvida através da substituição da farinha de trigo por uma combinação de farinhas sem glúten com viabilidade de aplicação industrial, permitindo avaliar o impacto tecnológico dessa substituição nas propriedades do produto final.

Eixo 2. Efeito do tipo de farinha alternativa: compara as formulações com farinha de trigo sarraceno e as formulações com farinha de grão-de-bico, tanto na presença como na ausência da combinação de hidrocolóide e fibra.

Eixo 3. Efeito do sistema estruturante: compara formulações produzidas com e sem a combinação de hidrocolóide e fibra, para cada farinha alternativa, avaliando o papel desta combinação na recuperação das propriedades tecnológicas do produto.

Toda a produção foi realizada em escala piloto, em sessão de produção única (único lote). As matérias-primas e ingredientes utilizados pertenciam ao mesmo lote de fabrico, pelo que se assegurou a uniformidade das condições experimentais. Cada formulação correspondeu a um lote independente, identificado internamente pelo código de produto e pelo dia juliano de produção, sendo as réplicas analíticas retiradas desse lote único.

A opção por combinar farinhas alternativas com um sistema de hidrocolóide e fibra, em vez de uma substituição baseada num único ingrediente, fundamentou-se no comportamento descrito na literatura para matrizes cárneas sem glúten. As estratégias que associam ingredientes com funções complementares, como proteínas ou farinhas vegetais, hidrocolóides e fibras, tendem a aproximar-se mais das características dos produtos tradicionais do que a utilização isolada de qualquer um deles (31, 33).

Após a produção, as 12 formulações foram sujeitas a análises físico-químicas, instrumentais e sensoriais, descritas na secção 3.5, nomeadamente avaliação da textura por TPA, da cor pelo sistema CIELab, da composição proximal por espectroscopia NIR (FoodScan), do teor residual de glúten e da aceitabilidade sensorial. O aspeto visual das 6 formulações de farinheira e de morcela encontra-se documentado

nas Figuras E.1 e F.1 (Apêndices E e F, respetivamente). No decorrer do preparado de cada massa, foram ainda registados os valores de pH e temperatura no início e no final de cada uma das duas fases de produção. Estes registos foram efetuados a título experimental, no entanto não fazem parte dos critérios de controlo estabelecidos no processo de produção industrial, e os valores obtidos encontram-se nas Tabelas H.1 e H.2 (Apêndice H).

Com base nos resultados obtidos, e ponderando critérios de viabilidade económica, desempenho sensorial, adequação ao mercado e disponibilidade de matérias-primas, as formulações MI e FI foram selecionadas para análise laboratorial externa completa, conforme descrito na secção 3.5.4.

3.2. Matérias-primas e ingredientes

3.2.1. Matriz cárnea e ingredientes tecnológicos

As matérias-primas de base utilizadas na produção das formulações de farinheira e morcela foram toucinho do lombo de suíno, embora em proporções distintas para cada produto. A tripa utilizada no enchimento foi tripa natural de origem suína.

Os restantes ingredientes tecnológicos incorporados nas formulações limitaram-se a sal e especiarias, sem recurso a conservantes, corantes ou potenciadores de sabor, conferindo às formulações um perfil *clean label*.

3.2.2. Farinhas alternativas selecionadas

No desenvolvimento das formulações experimentais foram utilizadas farinhas mais disruptivas sem glúten, nomeadamente a farinha de trigo sarraceno e grão-de-bico como alternativas à farinha de trigo, sendo a farinha de arroz e o amido de milho incorporados como adjuvantes tecnológicos, com o objetivo de auxiliar a estruturação, retenção de água e características texturais do produto final.

Outras farinhas sem glúten foram consideradas e excluídas. A fécula de batata conferiu características indesejadas nos ensaios preliminares. A farinha de sorgo, embora tecnologicamente interessante, revelou dificuldades de abastecimento regular à escala industrial. A aveia não chegou a ser testada, por risco de contaminação cruzada com glúten e por potencial impacto no sabor característico dos produtos tradicionais.

A farinha de trigo sarraceno e a farinha de grão-de-bico foram adquiridas em comércio retalhista, em embalagens de pequena quantidade. As restantes, nomeadamente farinha de arroz, farinha de milho e amido de milho, foram obtidas como amostras

cedidas por fornecedores industriais, utilizadas numa fase prévia no desenvolvimento das formulações FI e MI, e posteriormente incorporadas nas formulações experimentais com trigo sarraceno e grão-de-bico.

As formulações experimentais não resultaram da substituição total da farinha de trigo por uma única farinha alternativa, mas de combinações específicas de farinhas sem glúten, cujas proporções variaram entre produtos e entre formulações. Na farinheira, dado que a farinha constitui a base estrutural do preparado, a proporção de farinhas alternativas foi mais elevada. Na morcela, a presença de emulsão proteica na massa limitou a percentagem de farinha incorporada.

A natureza tradicional da farinheira e da morcela não impôs, à partida, qualquer restrição formal à escolha das farinhas, mas esteve sempre presente como fator de ponderação. O cuidado em preservar o sabor e o aspeto que tornam estes produtos reconhecíveis reforçou a preferência por farinhas de impacto sensorial contido, capazes de substituir o glúten sem descaracterizar o produto final.

3.3. Processo tecnológico de produção

A produção das 12 formulações realizou-se em escala piloto, em contexto de produção, seguindo o processo tecnológico da organização, com as adaptações necessárias à substituição da farinha de trigo nas formulações sem glúten.

O processo começou com a pesagem individual de todos os ingredientes e matérias-primas, seguida da preparação da matriz cárnea, que incluiu a picagem do toucinho do lombo de suíno em crivo com disco de abertura adequada a cada produto. De seguida, procedeu-se à mistura dos ingredientes da primeira fase na misturadora piloto (Figura G.1 – Apêndice G). Na segunda fase, os restantes ingredientes foram incorporados ao preparado e procedeu-se a nova mistura. Em ambas as fases foram registadas os valores de pH e temperatura no início e no final de cada mistura, conforme referido na secção 3.1.

Concluída a mistura, o preparado foi encaminhado para enchimento em tripa natural de origem suína, em enchedora industrial. As peças seguiram para cozedura em estufa elétrica e, posteriormente, para secagem em secadeiros a temperatura controlada, com registo de perdas de peso para controlo do processo. O produto final foi embalado em atmosfera modificada.

A dimensão dos ajustes ao processo diferiu entre produtos. Na farinheira, onde a farinha é o componente estruturante maioritário, a substituição exigiu afinação mais exigente das proporções e da água incorporada, tendo sido necessários 7 ensaios piloto até chegar à formulação FI. Na morcela, cuja matriz depende sobretudo de uma emulsão proteica com menor proporção de farinha, a adaptação foi mais rápida e bastou um ensaio piloto para avançar para a escala industrial. O processo de scale-up foi planeado para manter a linha livre de glúten: nos dias de produção, assegurou-se que não decorria em simultâneo o fabrico dos produtos tradicionais com glúten, fez-se higienização controlada e recolheram-se zaragatoas em pontos estratégicos da instalação.

Em cada iteração, as formulações eram avaliadas por um painel de técnicos da produção em prova cega, cujos resultados orientavam os ajustes subsequentes na proporção das farinhas e na quantidade de água incorporada, aproximando progressivamente o produto das características pretendidas.

O sistema de hidrocolóide e fibra não exigiu cuidados especiais de manuseamento, pelo que os dois componentes se apresentavam em pó e eram adicionados diretamente ao preparado, sem hidratação prévia nem qualquer procedimento adicional.

Todo o processo foi conduzido em conformidade com o plano HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) implementado, com identificação e controlo dos respetivos pontos críticos de controlo, abordados em detalhe na secção 5.3. Os fluxogramas simplificados de produção encontram-se respetivamente nos Apêndices B (farinheira) e C (morcela).

3.4. Desenvolvimento de formulações

3.4.1. Formulação controlo

As formulações controlo FC e MC correspondem aos produtos comercializados pela *Porminho*® à data de início do estudo, produzidos com farinha de trigo comum como ingrediente estruturante, sem qualquer alteração à composição ou ao processo produtivo original. Estas formulações serviram de referência para todas as comparações realizadas.

3.4.2. Formulações sem glúten

As formulações FI e MI foram desenvolvidas com o objetivo de eliminar o glúten das instalações de produção, substituindo a farinha de trigo por farinha de arroz, farinha de

milho e amido de milho, proporções definidas após ensaios piloto prévios que permitiram identificar a combinação com melhor desempenho tecnológico para cada produto. Nenhuma outra variável foi alterada face às formulações controlo. Em todas as comparações realizadas, as formulações FI e MI foram avaliadas tendo como referência as formulações controlo FC e MC, respetivamente, produzidas com farinha de trigo com glúten.

A passagem à escala industrial abrangeu exclusivamente as formulações industriais sem glúten, FI e MI. As formulações experimentais com trigo sarraceno e grão-de-bico não foram industrializadas, produziram-se em lote único, à escala de estudo, apenas para efeitos de análise comparativa.

A seleção das formulações industriais resultou de um processo iterativo de ensaios piloto. Dois critérios foram determinantes na escolha final: a conformidade com o limite legal de 20 mg/kg para alegação sem glúten, que exigiu matérias-primas com certificação e linhas de produção segregadas, e o rótulo limpo, privilegiando formulações com poucos ingredientes e sem aditivos dispensáveis. Uma mistura comercial de farinhas sem glúten pré-formulada chegou a ser equacionada e foi excluída por apresentar lista de ingredientes extensa e incluir açúcares refinados, incompatíveis com o perfil do produto.

O desenvolvimento partiu da receita original e decorreu de forma iterativa, através de ensaios piloto, procurando obter um produto com propriedades texturais e sensoriais próximas das formulações de referência.

3.4.3. Formulações experimentais com ingredientes alternativos

As formulações experimentais resultaram da substituição parcial das farinhas sem glúten de base por farinha de trigo sarraceno ou farinha de grão-de-bico, escolhidas pelo interesse tecnológico e nutricional que apresentam face às alternativas convencionais. A restante composição manteve-se igual à das formulações MI e FI.

Para avaliar o papel da combinação de HPMC e fibra vegetal na recuperação das propriedades texturais na ausência de glúten, cada farinha alternativa foi testada com e sem adição desta combinação, com base na literatura científica sobre o seu comportamento em matrizes alimentares sem glúten.

3.5. Caracterização dos produtos desenvolvidos

3.5.1. Determinação da composição por espectroscopia NIR

A composição das 12 formulações de produto acabado e da matéria-prima usada para a farinheira e morcela foi determinada por espectroscopia no infravermelho próximo, com recurso ao equipamento FoodScan (FOSS, Dinamarca). O aparelho determina em simultâneo vários parâmetros: gordura, humidade, proteína, sal, cinza, colagénio, ácidos gordos saturados e hidratos de carbono, os parâmetros colorimétricos L*, a* e b*, o valor energético em kJ e kcal por 100 g e *aw*.

De cada formulação analisaram-se 6 amostras retiradas do mesmo lote, a partir das quais se calcularam a média e o desvio-padrão. O toucinho do lombo foi analisado pelo mesmo procedimento, por ser a matéria-prima cárnea de base e por ajudar a interpretar os perfis nutricionais dos produtos.

3.5.2. Avaliação instrumental da textura (TPA)

A textura das doze formulações foi avaliada por análise do perfil de textura (TPA), num texturómetro Stable Micro Systems, com sonda de compressão de 75 mm de diâmetro (P/75). As amostras foram cortadas diretamente do enchido, em segmentos cilíndricos de 3 cm de altura, mantendo o diâmetro natural do produto, sem compressão ou moldagem da massa. Antes da análise, as amostras foram equilibradas à temperatura ambiente, de forma a minimizar a variabilidade associada à temperatura e a garantir condições uniformes de ensaio.

Cada ensaio consistiu num duplo ciclo de compressão, com velocidade de pré-ensaio de 5 mm/s, velocidade de ensaio de 2 mm/s e velocidade de pós-ensaio de 5 mm/s. A compressão foi definida em modo de deformação, a 75 % da altura da amostra, com intervalo de 5 segundos entre ciclos e força de disparo de 0,150 N. Após a simulação de cada amostra, os picos da curva força-tempo foram selecionados manualmente no software do equipamento, que exportou para folha de cálculo, através de uma macro integrada, os valores de força e de área de cada ciclo. Com base nestes valores calcularam-se os parâmetros de textura pelas fórmulas clássicas do TPA: dureza, adesividade, coesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade. Para cada formulação analisaram-se 6 amostras, a partir das quais se obtiveram a média e o desvio-padrão.

3.5.3. Avaliação instrumental da cor (sistema CIELab)

A cor das 12 formulações foi avaliada com recurso a um colorímetro portátil segundo o sistema CIELab, através dos parâmetros L* (luminosidade), a* (coordenada verde-vermelho) e b* (coordenada azul-amarelo).

As medições foram feitas sobre a superfície externa do enchido, com tripa, por ser desta forma que o produto chega ao consumidor, e por ser esse o modo de consumo. As leituras decorreram à temperatura ambiente, uma semana após a produção, com o produto já estabilizado.

De cada formulação analisaram-se 6 amostras, calculando-se a média e o desvio-padrão de cada parâmetro. Quando se obteve uma sétima leitura, esta foi excluída para uniformizar o número de réplicas, conforme detalhado na secção 3.7.

A partir dos valores médios de a* e b* calcularam-se ainda o croma (C*) e o ângulo de tonalidade (h°), que descrevem, respetivamente, a saturação e a tonalidade da cor, segundo as expressões $C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$ e $h° = \arctan(b^*/a^*)$ (53).

3.5.4. Determinação do teor residual de glúten

A quantificação do teor residual de glúten foi feita apenas nas formulações industriais sem glúten, MI e FI, todas as formulações foram produzidas com ingredientes isentos de glúten e segundo as medidas de prevenção de contaminação cruzada em vigor na empresa, com a linha de produção controlada e devidamente higienizada.

As amostras de produto acabado foram recolhidas e acondicionadas em sacos estéreis fornecidos pelo laboratório, sendo enviadas em separado para um laboratório externo acreditado, Silliker Portugal, S.A. (75). Os valores obtidos foram comparados com o limite legalmente estabelecido à rotulagem de alimentos isentos de glúten. De acordo com o Regulamento de Execução (UE) n.º 828/2014, um alimento só pode apresentar a menção *sem glúte*n se o teor de glúten não ultrapassar os 20 mg/kg no produto tal como é vendido ao consumidor final (69).

3.5.5. Avaliação sensorial

A avaliação sensorial das formulações baseou-se numa prova de aceitação, com uma escala hedónica de 9 pontos, em que 1 correspondia a "desgostei muitíssimo" e 9 a "gostei muitíssimo" (76). As provas decorreram em dias diferentes, avaliando-se as 6 formulações de farinheira numa sessão e as 6 de morcela noutra. Cada prova reuniu um painel de 10 provadores não treinados, mas com formação prévia nos princípios da

análise sensorial. Os painéis foram diferentes nos dois produtos e integraram pessoas que apreciavam o tipo de produto em avaliação.

As amostras foram cozinhadas em grelha elétrica, com o mesmo tempo de confeção em todas as formulações de cada produto, e servidas quentes às rodelas. Cada formulação foi colocada num prato individual, codificada com uma letra (A a F) e disposta por ordem aleatória, sem que os provadores soubessem a que formulação correspondia. Disponibilizou-se água e bolacha de água e sal para limpar o palato entre amostras.

Em cada amostra avaliaram-se os seguintes atributos: aparência, cor, aroma, sabor, textura e a apreciação global. No fim do questionário, cada provador indicou a amostra que mais apreciou, a que menos gostou e aquela que compraria. As respostas foram recolhidas por questionário Microsoft Forms, em formato digital através de código QR. A prova realizou-se nas instalações da empresa, num local reservado para o efeito. Os resultados encontram-se na secção 4.3.

3.5.6. Estudo de vida útil

O estudo de vida útil (EVU) foi conduzido exclusivamente nas formulações industriais sem glúten, para a farinheira (FI) e morcela (MI), por serem as únicas com potencial de implementação comercial imediata. Para cada produto, a produção foi realizada à escala industrial, tendo sido reservadas do respetivo lote as amostras necessárias para a totalidade dos pontos de controlo previstos.

As amostras foram embaladas individualmente em atmosfera modificada e guardadas nas instalações da empresa, em ambiente seco e fresco, a temperatura ambiente controlada e sem refrigeração, tal como o produto é conservado depois de chegar ao mercado.

Em cada ponto de controlo, foram retiradas 4 embalagens integras do lote em estudo. Destas, 3 seguiam no mesmo dia para laboratório externo acreditado, mantidas seladas, para análise microbiológica, nomeadamente a contagem de microrganismos a 30 °C e de bactérias lácticas. A quarta embalagem era destinada à avaliação sensorial, conduzida no próprio dia por um painel fixo de 5 provadores não treinados, que avaliavam a amostra cozinhada segundo um questionário estruturado por Microsoft Forms. Este procedimento foi aplicado de forma independente para a farinheira (FI) e para a morcela (MI), em dias de controlo distintos, sendo com painéis convocados separadamente para cada produto e sem sobreposição entre sessões.

3.5.7. Elaboração da tabela de informação nutricional

A informação nutricional teve duas origens. Para comparar as 12 formulações entre si, usaram-se os valores determinados por espectroscopia NIR (FoodScan), descritos na secção 3.6.1, que permitiram obter a composição nutricional de cada produto.

A tabela de informação nutricional para rotulagem foi realizada apenas para as formulações industriais sem glúten, MI e FI, com os valores da análise laboratorial externa do laboratório acreditado. A declaração seguiu o modelo do Regulamento (UE) n.º 1169/2011, com o valor energético e os teores de lípidos, ácidos gordos saturados, hidratos de carbono, açúcares, proteínas e sal, expressos por 100 g de produto (62).

3.6. Análise estatística dos dados

O tratamento estatístico foi feito no IBM SPSS Statistics [Version 31.0.2.0], com um nível de significância de 5 % ($p < 0,05$). Cada produto foi analisado em separado, comparando-se entre si as 6 formulações de farinheira e as 6 de morcela, segundo os três eixos definidos na secção 3.1. Os resultados instrumentais foram representados como média ± desvio-padrão, com letras diferentes a assinalar diferenças significativas entre formulações.

Nos dados instrumentais (NIR, TPA e cor), a escolha do teste estatístico foi determinada pela verificação prévia de dois pressupostos: a normalidade da distribuição dos dados, avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, adequado a amostras de pequena dimensão, e a homogeneidade das variâncias entre grupos, avaliada pelo teste de Levene. Quando ambos se confirmaram, recorreu-se à análise de variância unifatorial (ANOVA one-way) seguida do teste post-hoc HSD de Tukey. Nos parâmetros com distribuição normal, mas variâncias heterogéneas, aplicou-se o teste de Welch com post-hoc de Games-Howell. Quando a normalidade não se confirmou, optou-se pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido de comparações par a par com correção de Bonferroni sempre que se identificaram diferenças significativas.

Sempre que uma réplica apresentou comportamento discrepante, foi mantida na análise quando não correspondia a erro instrumental identificável, evitando a exclusão arbitrária de observações.

Os dados da avaliação sensorial, de tipo ordinal e recolhidos junto de um painel que avaliou todas as amostras, foram tratados por métodos não paramétricos para medições repetidas. Usou-se o teste de Friedman para detetar diferenças entre formulações em

cada atributo e, nos atributos com diferenças significativas, fizeram-se comparações par a par com o teste de Wilcoxon, com correção de Bonferroni para o número de comparações. As respostas de preferência (amostra favorita, amostra que compraria e amostra menos apreciada) foram analisadas pelo teste Q de Cochran.

Com 6 réplicas por formulação nos parâmetros instrumentais e 10 provadores na prova sensorial, a potência estatística dos testes é limitada, sobretudo depois da correção de Bonferroni. Algumas tendências de magnitude relevante podem, por isso, não chegar à significância estatística, aspeto que se procurou ponderar na leitura dos resultados.

Os gráficos de apresentação dos resultados foram elaborados no GraphPad Prism, à exceção dos gráficos de radar da textura (TPA), produzidos no Microsoft Excel por incompatibilidade da versão do GraphPad Prism disponível com este tipo de representação.

4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização das matérias-primas

A caracterização das matérias-primas utilizadas, focada no seu perfil nutricional, baseou-se na compilação de dados provenientes de duas fontes complementares: a declaração nutricional obrigatória que consta das fichas técnicas fornecidas pelos fornecedores, nos termos do Regulamento (UE) n.º 1169/2011 (62), e os valores de referência da Tabela da Composição de Alimentos do Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge (INSA)(61). Os valores apresentados têm carácter descritivo e comparativo, não sendo sujeitos a análise estatística conclusiva.

4.1.1. Perfil nutricional das matérias-primas funcionais

O delineamento experimental compreende duas categorias de farinhas com papéis distintos. A farinha de trigo tipo 55 constitui o ingrediente com glúten das formulações controlo (FC e MC). As farinhas sem glúten dividem-se entre as que integram a referência industrial, com farinha de arroz e amido de milho, e as que compõem as formulações disruptivas, nomeadamente farinha de trigo sarraceno e farinha de grão-de-bico, transversais aos dois produtos, e farinha de milho, utilizada exclusivamente na morcela. A Tabela I.1 (Apêndice I) apresenta a composição proximal de todas estas farinhas, permitindo contextualizar as diferenças que se refletem nos produtos finais.

A análise do perfil nutricional evidencia diferenças composicionais relevantes entre farinhas, com potenciais implicações diretas no comportamento tecnológico das formulações. A distinção mais significativa reside no teor proteico e na natureza das proteínas presentes, uma vez que são estes parâmetros que condicionam a capacidade de estruturação da massa e de retenção de água em substituição do glúten.

O amido de milho ocupa uma posição particular nesta análise: com teor de amido superior a 86 % e proteína inferior a 0,5g/100g, não contribui funcionalmente para a estrutura proteica da formulação, atuando antes como agente de textura e de retenção de água por gelatinização do amido durante o tratamento térmico. A farinha de milho tipo 70, pelo contrário, apresenta um perfil mais completo com 8,3 g de proteína e 2,6 g de fibra por 100 g, o que justifica a sua utilização na morcela como ingrediente com contribuição nutricional e funcional mais ampla. A sua incorporação exclusiva na morcela reflete a especificidade da matriz deste produto, de base proteica e com maior tolerância à incorporação de farinhas de cereal com perfil nutritivo mais denso, por contraste com a farinheira, onde a farinha é o componente estruturante maioritário e a sua seleção tem maior impacto sobre o perfil sensorial e tecnológico do produto.

A farinha de grão-de-bico distingue-se pelo teor proteico mais elevado entre as farinhas alternativas, decorrente da sua natureza leguminosa. As suas proteínas de reserva são maioritariamente globulinas (43–65 % da fração total) e albuminas (12–18 %), com contribuição residual de prolaminas e glutelinas (77). Embora esta composição não confira propriedades viscoelásticas análogas às do glúten, proporciona capacidade de absorção de água e contribui para a coesão estrutural da pasta, características funcionalmente úteis em matrizes cárneas sem glúten (39, 77).

Em termos de fibra alimentar, a farinha de grão-de-bico apresenta o teor mais elevado entre as farinhas alternativas, com potencial impacto na capacidade de retenção de água da matriz e nos parâmetros texturais dos produtos desenvolvidos.

4.1.2. Caracterização dos ingredientes funcionais do sistema hidrocolóide+fibra

O sistema hidrocolóide-fibra (H+F) incorporado nas formulações experimentais é composto por dois ingredientes distintos: hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e fibra vegetal. A Tabela J.1 (Apêndice J) sintetiza as propriedades físico-químicas relevantes de cada um. O sistema H+F incorporado nas formulações MTS-HF, FTS-HF, MGB-HF e FGB-HF é constituído por HPMC, à dose de aproximadamente 0,70 % do produto

final, e por fibra vegetal, à dose de aproximadamente 2,00 % do produto final. Ambos os ingredientes são isentos de glúten e de origem não animal.

O HPMC é um éter de celulose não iónico aprovado como aditivo alimentar na União Europeia com o número E464, ao abrigo do Regulamento (UE) n.º 231/2012. Apresenta-se como pó branco de odor neutro, com viscosidade em solução aquosa de 3 000 a 5 600 mPa.s (método USP) e pH entre 5 e 8. A propriedade tecnológica que fundamentou a sua seleção foi a sua capacidade de formação de géis termorreversíveis. Em solução aquosa gelifica por aquecimento e retorno ao estado sólido por arrefecimento, distinguindo-o da generalidade dos hidrocolóides e tornando-o particularmente adequado a produtos cárneos processados sujeitos a tratamento térmico (78). Esta capacidade de absorção de água e formação de redes viscoelásticas permite compensar, pelo menos parcialmente, a ausência da rede gliadina-glutenina nas formulações sem glúten (39).

A fibra vegetal escolhida nas instalações tem composição simples, fibras vegetais como único ingrediente declarado, com teor de fibra dietética de 90 g/100 g e ausência de proteína, gordura, açúcares e glúten. Nas doses aplicadas, a contribuição nutricional para o produto final é marginal. A sua função é essencialmente aglutinante, que contribui para a coesão, redução de perdas por cozedura e melhoria do brilho superficial do produto, funções declaradas pelo fabricante. A ação conjunta dos dois ingredientes no sistema H+F é complementar: o HPMC assegura a viscoelasticidade e a gelificação térmica, enquanto a fibra reforça a retenção de humidade e a integridade estrutural da pasta durante o enchimento e a cura.

4.2. Caracterização dos produtos desenvolvidos

4.2.1. Composição por NIR (FoodScan)

4.2.1.1. Farinheira

A composição proximal, o perfil de cor CIELab, o valor energético e a atividade da água das seis formulações de farinheira foram determinados por espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), com recurso ao equipamento FoodScan 2 (FOSS). Realizaram-se 6 leituras independentes por formulação (n = 6; N = 36), sendo os resultados expressos como média ± desvio-padrão. A análise estatística foi conduzida por ANOVA unifatorial, com nível de significância de $p < 0,05$. A homogeneidade de variâncias foi avaliada pelo teste de Levene: nos onze parâmetros em que este pressuposto foi satisfeito ($p > 0,05$), aplicou-se o teste post-hoc de Tukey HSD; nos três

parâmetros em que não foi atingido, que correspondem ao teor em cinza (p = 0,046), colagénio (p < 0,001) e atividade da água (aw) (p < 0,001), recorreu-se ao teste de Welch com post-hoc de Games-Howell. Os resultados encontram-se na Tabela K.1 (Apêndice K).

A Figura 4 ilustra a composição proximal das seis formulações de farinheira para os quatro parâmetros com maior variabilidade entre grupos: gordura, humidade, proteína e hidratos de carbono. A representação visual permite comparar simultaneamente o perfil de cada formulação e identificar, de forma direta, os grupos homogéneos definidos pelo teste post-hoc de Tukey HSD.

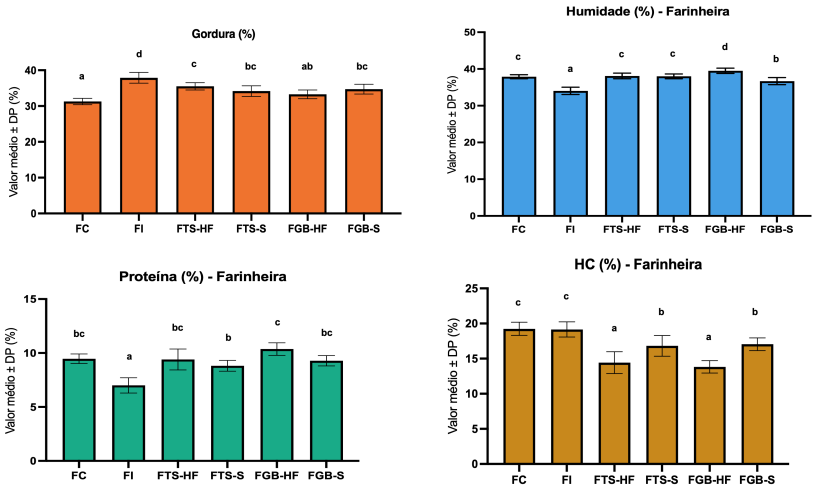

Figura 4— Composição proximal das seis formulações de farinheira: gordura (%), humidade (%), proteína (%) e hidratos de carbono (%), determinados por NIR/FoodScan 2 (FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes na mesma barra indicam diferenças significativas entre formulações (p < 0,05; Tukey HSD).

Efeito da substituição do glúten: FC *vs.* FI

A comparação entre a formulação controlo com glúten (FC) e a formulação industrial sem glúten (FI) permite isolar o efeito da remoção do glúten quando nenhuma farinha alternativa de origem vegetal é introduzida. O perfil composicional da FI distingue-se do controlo em quase todos os parâmetros avaliados, sendo os desvios mais expressivos ao nível da gordura, da humidade e da proteína.

A FI registou o teor de gordura mais elevado entre as seis formulações (37,88 ± 1,50 %), diferindo significativamente de todas as restantes (p < 0,001). Importa clarificar que a quantidade de gordura adicionada foi mantida constante em todas as formulações; as diferenças observadas não decorrem, portanto, de variações intencionais na composição lipídica da receita, mas refletem diferenças na composição da mistura

industrial de substituição do glúten e, possivelmente, na capacidade desta de reter água na matriz, o que, por diluição inversa, pode elevar a proporção relativa de gordura no produto final. Do mesmo modo, a FI apresentou o teor de humidade mais reduzido de todas as formulações (34,03 ± 0,99 %; $p < 0,001$), o que é consistente com uma menor capacidade de retenção hídrica face à farinha de trigo, cujas proteínas gliadinas e gluteninas contribuem de forma relevante para a retenção de água em matrizes de enchidos (42). A magnitude desta diferença face ao controlo, superior a 3,8 pontos percentuais, não é negligenciável do ponto de vista tecnológico.

O teor proteico da FI (7,00 ± 0,71 %) foi o mais baixo entre todas as formulações, diferindo significativamente da FC (9,47 ± 0,44 %; $p < 0,001$). Esta redução é atribuível à ausência das frações gliadina e glutenina, que constituem a principal componente proteica associada à farinha nas formulações com glúten (77). O teor de ácidos gordos saturados (AGS) foi também significativamente mais elevado na FI (12,36 ± 0,36 %; vs. 10,93 ± 0,23 %; na FC; $p < 0,001$), o que acompanha o maior teor lipídico desta formulação e sugere um perfil de gordura predominantemente saturado na mistura industrial utilizada.

Em termos de cor, a FI destacou-se pelos valores mais elevados de a* (30,33 ± 0,29) e b* (34,73 ± 0,22), refletindo maior intensidade da componente vermelha e da tonalidade amarela/alaranjada face ao controlo FC (a* = 25,90 ± 0,81; b* = 31,40 ± 0,63). Os parâmetros sal, colagénio e hidratos de carbono não diferiram significativamente entre FC e FI, indicando que, para estes atributos, a substituição do glúten pela mistura industrial manteve equivalência composicional.

Efeito do tipo de farinha alternativa: trigo sarraceno *vs.* grão-de-bico

O tipo de farinha alternativa foi o fator com maior poder de diferenciação composicional entre as formulações experimentais. As farinhas de trigo sarraceno e de grão-de-bico produziram padrões distintos e opostos em vários parâmetros, o que permite caracterizar as vantagens e limitações de cada alternativa.

O parâmetro cinza reflete com clareza o maior perfil mineral da farinha de grão-de-bico: FGB-HF (3,02 ± 0,16 %) e FGB-S (2,27 ± 0,15 %) apresentaram valores significativamente superiores aos das formulações com trigo sarraceno e ao controlo (FC: 2,10 ± 0,07 %; FI: 1,96 ± 0,02 %). A formulação FTS-HF (2,57 ± 0,21 %) posicionou-se num grupo intermédio, evidenciando que o trigo sarraceno também enriquece o perfil mineral face ao controlo, ainda que em menor extensão.

No teor proteico, a FGB-HF registou o valor mais elevado (10,37 ± 0,58 %), diferindo significativamente de FC, FI e FTS-S. Este resultado é coerente com o maior teor proteico intrínseco da farinha de grão-de-bico, cujas proteínas de reserva, leguminas 11S e vicilinas 7S, constituem a fração dominante (77), traduzindo-se num produto final com densidade proteica superior às restantes formulações. As formulações com trigo sarraceno não diferiram entre si nem de FC no teor proteico, o que sugere que o perfil proteico deste pseudocereal se aproxima do da farinha de trigo, sem o enriquecimento adicional observado com o grão-de-bico.

O teor em hidratos de carbono revelou o padrão inverso: as formulações FC e FI mantiveram os valores mais elevados (≈19,2 g/100 g), consistentes com o elevado teor de amido da farinha de trigo e da mistura industrial. As formulações com farinhas alternativas posicionaram-se em grupos inferiores, sem diferença significativa entre FTS-S (16,82 ± 1,47 %) e FGB-S (17,05 ± 0,91 %). A igual dose de incorporação, as farinhas de trigo sarraceno e de grão-de-bico introduzem menos hidratos de carbono disponíveis do que a farinha de trigo convencional, o que tem implicações para o valor energético e para o perfil nutricional dos produtos.

A cor constitui o parâmetro de maior impacto diferencial entre as duas farinhas alternativas e o de maior relevância para a identidade sensorial da farinheira. As formulações com grão-de-bico (FGB-HF e FGB-S) apresentaram os valores de a* (eixo verde-vermelho) mais baixos de todas as formulações 23,58 ± 0,40 e 23,38 ± 0,37, diferindo significativamente de todas as restantes (p < 0,001). A incorporação desta farinha atenua de forma marcada a intensidade da componente vermelha da farinheira, o que constitui um desafio tecnológico e sensorial considerável. Por contraste, as formulações com trigo sarraceno mantiveram valores de a* próximos do controlo, sem diferenças estatisticamente significativas (FTS-HF: 26,67 ± 0,52; FTS-S: 27,70 ± 0,85, de FC: 25,90 ± 0,81), o que representa uma vantagem relevante desta farinha na preservação do perfil cromático do produto. A luminosidade (L*) foi mais elevada nas formulações com grão-de-bico (FGB-HF: 58,85 ± 1,13), refletindo a coloração naturalmente mais clara desta farinha. Nas formulações com trigo sarraceno, a menor luminosidade dos produtos que o incorporam é atribuível à presença de compostos fenólicos, nomeadamente rutina, cujo teor característico deste pseudocereal contribui para o escurecimento da matriz (42, 79).

Efeito do sistema hidrocolóide-fibra: com H+F *vs.* sem H+F

A inclusão do sistema H+F (HPMC ~0,70 % + fibra vegetal ~2,00 %) traduziu-se em efeitos estatisticamente significativos e funcionalmente coerentes, particularmente nos parâmetros ligados à retenção de água e à composição em hidratos de carbono.

O teor de humidade foi consistentemente mais elevado nas formulações com H+F. O efeito foi mais pronunciado no par com grão-de-bico: FGB-HF (39,50 ± 0,72 %) diferiu significativamente de FGB-S (36,68 ± 0,96 %; $p < 0,001$) e de todas as restantes formulações. No par com trigo sarraceno, FTS-HF (38,10 ± 0,76 %) e FTS-S (38,00 ± 0,64 %) não diferiram entre si, embora FTS-HF apresente numericamente o valor ligeiramente superior. O comportamento observado é coerente com a natureza hidrofílica do HPMC, que em solução aquosa forma redes viscoelásticas com elevada capacidade de retenção de água (39), o que se traduz numa maior retenção hídrica da matriz nos produtos que incorporam este polissacarídeo.

O teor em hidratos de carbono foi significativamente inferior nas formulações com H+F face às suas homólogas sem este sistema: FTS-HF (14,43 ± 1,55 %) vs. FTS-S (16,82 ± 1,47 %); FGB-HF (13,83 ± 0,89 %) vs. FGB-S (17,05 ± 0,91 %). Esta redução explica-se pela substituição parcial da fração amilácea das farinhas por HPMC e fibra vegetal, componentes que o método NIR não contabiliza da mesma forma que os hidratos de carbono disponíveis, reduzindo o valor obtido neste parâmetro.

O parâmetro cinza acentuou-se com a presença do sistema H+F, de forma mais expressiva nas formulações com grão-de-bico: FGB-HF (3,02 ± 0,16 % foi significativamente superior a FGB-S (2,27 ± 0,15 %), e FTS-HF (2,57 ± 0,21 %) foi superior a FTS-S (2,19 ± 0,11 %). Este padrão sugere que a fibra vegetal incorporada no sistema H+F contribui com uma fração mineral adicional, sobreposta à carga mineral própria de cada farinha alternativa.

A atividade da água (*aw*) variou num intervalo estreito entre todas as formulações (0,94–0,95), mas as diferenças foram estatisticamente significativas (ANOVA de Welch com post-hoc de Games-Howell: $F = 10,579$; $p < 0,001$). FC (0,94 ± 0,00) e FGB-S (0,94 ± 0,00) apresentaram os valores mais baixos, integrando o grupo homogéneo a. As formulações com sistema H+F, nomeadamente FTS-HF (0,95 ± 0,00), FTS-S (0,95 ± 0,00) e FGB-HF (0,95 ± 0,00), registaram os valores mais elevados, constituindo o grupo b, o que é consistente com a maior retenção de água promovida pelo HPMC e pela fibra vegetal. A FI posicionou-se numa posição intermédia (0,94 ± 0,01), não diferindo significativamente de nenhum dos dois grupos extremos. A magnitude absoluta destas

diferenças é reduzida, mas a sua relevância tecnológica não pode ser desconsiderada, uma vez que variações na *aw*, mesmo de pequena dimensão, influenciam a atividade microbiana e condicionam a vida útil do produto.

A Figura 5 sintetiza os restantes parâmetros nutricionais e tecnológicos determinados por NIR nas seis formulações de farinheira: o valor energético (kcal/100 g), o teor de sal (%), a cinza (%) e os ácidos gordos saturados (%), complementando a leitura da composição proximal apresentada anteriormente e permitindo comparar visualmente o perfil de cada formulação face ao controlo.

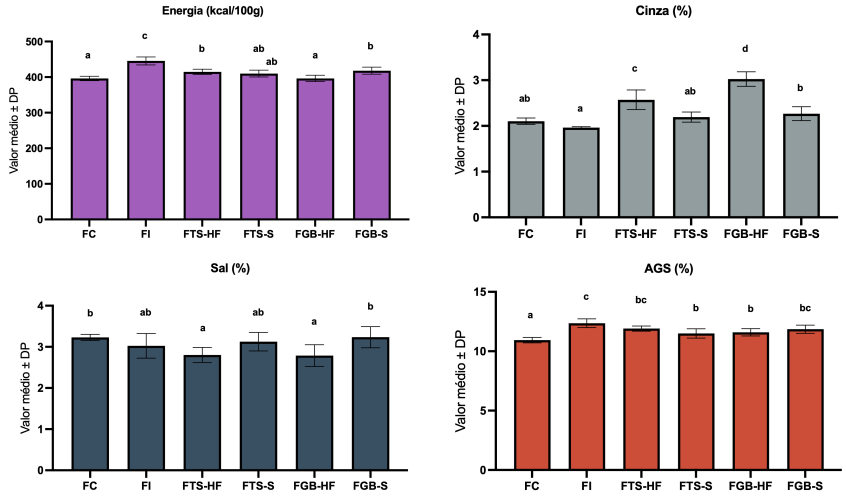

*Figura 5— Energia (kcal/100 g), teor de sal (%), cinza (%) e ácidos gordos saturados (%) das seis formulações de farinheira, determinados por NIR/FoodScan 2 (FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes indicam diferenças significativas (p < 0,05; Tukey HSD). *Cinza: Games-Howell (Levene p = 0,046).*

Tomados em conjunto, os resultados da análise por NIR mostram que todas as estratégias de substituição do glúten testadas induziram alterações composicionais estatisticamente significativas face ao controlo, com padrões distintos consoante o eixo de variação considerado. Do conjunto das formulações experimentais, as com grão-de-bico revelaram maior potencial de enriquecimento proteico e mineral, mas à custa de uma atenuação significativa da componente vermelha (a*), atributo identitário da farinheira. As formulações com trigo sarraceno preservaram melhor o perfil cromático do controlo, com menor impacto sobre a* e L*, mas com teor glicídico mais elevado face ao grão-de-bico. O sistema H+F demonstrou eficácia na promoção da retenção de água e na modulação do teor em hidratos de carbono, sem comprometer a estabilidade da *aw* dentro dos intervalos tecnologicamente aceitáveis (39).

4.2.1.2. Morcela

A composição proximal, o perfil de cor CIELab, o valor energético e a atividade da água das seis formulações de morcela foram determinados por espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), com recurso ao equipamento FoodScan 2 (FOSS), em seis leituras independentes por formulação (n = 6; N = 36). A análise estatística recorreu a ANOVA unifatorial com post-hoc de Tukey HSD para os parâmetros que satisfizeram os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias. Para os parâmetros com violação da normalidade em pelo menos um grupo, avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk, aplicou-se o teste de Kruskal-Wallis com comparações par-a-par e correção de Bonferroni. A atividade da água é reportada exclusivamente como estatística descritiva, dado que a variância praticamente nula em todos os grupos inviabilizou a análise inferencial. Os resultados encontram-se na Tabela L.1 (Apêndice L).

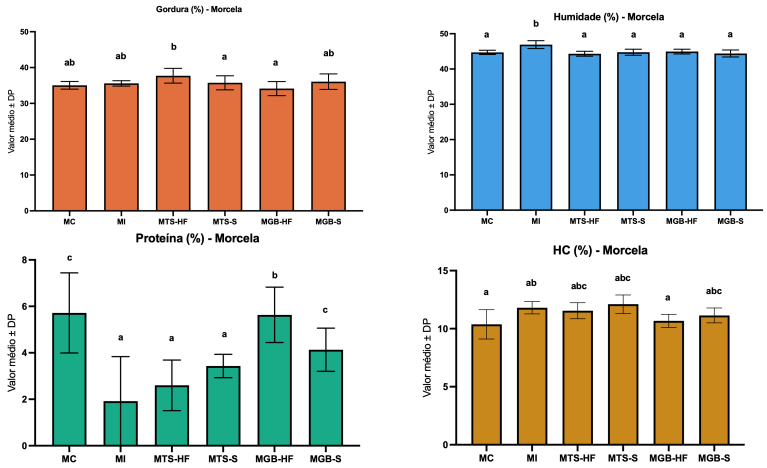

Figura 6— Composição proximal das seis formulações de morcela: gordura (%), humidade (%), proteína (%) e hidratos de carbono (%), determinados por NIR/FoodScan 2 (FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes indicam diferenças significativas (p < 0,05; Tukey HSD).

A composição proximal das seis formulações de morcela apresentou diferenças estatisticamente significativas na maioria dos parâmetros avaliados, com padrões distintos consoante o eixo de comparação considerado.

Efeito da substituição do glúten (MC *vs.* MI)

A comparação entre o controlo com glúten (MC) e a formulação industrial sem glúten (MI) revelou diferenças estatisticamente significativas em vários parâmetros, com os padrões mais expressivos nos teores de humidade, proteína e sódio. A MI apresentou humidade significativamente superior à MC (46,92 ± 1,10 % vs. 44,72 ± 0,60 %; p < 0,001), sendo a única formulação a integrar o grupo b neste parâmetro, enquanto todas as restantes, incluindo a MC, não diferiram entre si. Na farinheira, o padrão foi inverso,

com a formulação industrial a apresentar menor humidade face ao controlo, o que reforça que o comportamento hídrico da MI na morcela não resulta de um efeito genérico da substituição do glúten, mas da interação específica entre a mistura industrial e a matriz proteica e sanguínea deste produto, que possui elevada capacidade intrínseca de retenção de água (80). Em termos energéticos, gordura, hidratos de carbono e ácidos gordos saturados, MC e MI não diferiram significativamente, o que indica que a substituição do glúten pela mistura industrial manteve equivalência composicional para estes atributos na matriz da morcela.

O teor proteico foi o parâmetro onde a diferença entre MC e MI se manifestou de forma mais expressiva e, ao mesmo tempo, o que exige maior cuidado na interpretação. Na morcela, ao contrário da farinheira em que a farinha é o componente estruturante maioritário, a proteína detetada pelo NIR reflete predominantemente a contribuição das proteínas do plasma sanguíneo e da massa cárnea incorporada, sendo a fração proteica da farinha proporcionalmente menor. É essa composição que explica a diferença observada: a MI (1,92 ± 0,81 %) apresentou o valor mais baixo diferindo significativamente da MC (5,72 ± 1,72 %; $p < 0,001$). A ausência das proteínas de reserva da farinha de trigo, nomeadamente gliadinas e gluteninas, não encontra equivalente na mistura industrial sem glúten, o que se traduz numa redução mensurável do teor proteico total do produto.

O colagénio registou igualmente um valor inferior na MI (0,593 ± 0,017 %) relativamente à MC (0,657 ± 0,036 %; $p = 0,006$), embora este resultado possa também refletir variabilidade na fração proteica de origem animal entre lotes de matérias-primas, mais do que um efeito direto da substituição do glúten. O teor de sal de sódio foi ligeiramente superior na MI (1,51 ± 0,10 %) face à MC (1,27 ± 0,14 %), diferença que não tem explicação direta na formulação, dado que a quantidade de sal adicionado foi mantida constante entre os dois produtos, podendo estar relacionada com o perfil de sódio intrínseco da mistura industrial sem glúten. Os restantes parâmetros avaliados, nomeadamente gordura, ácidos gordos saturados, hidratos de carbono e valor energético, não diferiram significativamente entre MC e MI, indicando que a substituição do glúten pela mistura industrial manteve equivalência composicional para estes atributos na matriz da morcela.

Efeito do tipo de farinha alternativa (trigo sarraceno *vs.* grão-de-bico)

Para isolar o efeito do tipo de farinha sobre a composição proximal, a comparação centrou-se nas formulações sem sistema HPMC+fibra (MTS-S e MGB-S), tendo como referências o controlo com glúten (MC) e a formulação industrial sem glúten (MI), ambas igualmente sem sistema H+F. Neste eixo, a farinha de grão-de-bico revelou um perfil mineral e proteico distinto do trigo sarraceno, com diferenças coerentes com as características intrínsecas de cada matéria-prima.

No teor de cinza, a MGB-S registou 4,28 ± 0,46 %, significativamente superior à MI (3,78 ± 0,02 %; Kruskal-Wallis; $p < 0,001$). A MTS-S ficou em posição intermédia (3,94 ± 0,11 %), sem diferir significativamente nem da MI nem da MGB-S. A diferença reflete a maior densidade mineral da farinha de grão-de-bico face ao trigo sarraceno, com tradução direta num ligeiro acréscimo de cinza no produto final.

O perfil proteico segue a mesma lógica. A MGB-S apresentou 4,13 ± 0,83 %, aproximando-se do controlo MC (5,72 ± 1,72 %) e ficando claramente acima da MTS-S (3,43 ± 0,50 %) e da MI (1,92 ± 0,81 %). A fração proteica intrínseca da farinha de grão-de-bico, superior à do trigo sarraceno, traduz-se diretamente no produto acabado e aproxima a MGB-S do perfil nutricional do controlo de uma forma que a MTS-S não alcança.

Na componente lipídica, o teor de gordura total (MTS-S: 35,75 ± 2,08 %; MGB-S: 36,07 ± 2,11 %) e o teor de ácidos gordos saturados (MTS-S: 13,93 ± 0,35 %; MGB-S: 14,11 ± 0,57 %) não se diferenciaram entre si nem do controlo MC (34,07 ± 0,98 % gordura; 14,54 ± 0,65 % AGS). A substituição do glúten por qualquer das duas farinhas alternativas, sem o sistema H+F, não introduziu variações relevantes no perfil lipídico, o que se compreende dado o reduzido contributo destas farinhas para a gordura total face à matriz adiposa e sanguínea que domina a composição da morcela.

Relativamente aos hidratos de carbono, a MTS-S destacou-se com o valor mais elevado do conjunto (12,11 ± 0,87 %), diferindo significativamente da MC (10,38 ± 1,27 %; ANOVA; $p = 0,005$). A MGB-S manteve-se em posição intermédia (11,12 ± 0,62 %), sem diferenças significativas face aos restantes grupos. O comportamento é consistente com a composição das duas farinhas: o trigo sarraceno apresenta uma fração amilácea proporcionalmente maior, enquanto o grão-de-bico tem menor teor de amido por unidade de massa, compensado por maior fração proteica e fibrosa.

Quanto ao perfil da cor, a análise CIELab não detetou diferenças significativas entre as formulações em qualquer dos três parâmetros (L*: ANOVA F = 1,611; *p* = 0,187; a*: Kruskal-Wallis H = 7,246; *p* = 0,203; b*: Kruskal-Wallis H = 9,864; *p* = 0,079), com todas as formulações classificadas com a mesma letra (a). Os valores médios de MTS-S (L* 38,08 ± 1,37; a* 0,98 ± 0,16; b* 0,75 ± 0,18) e MGB-S (L* 37,69 ± 1,22; a* 0,95 ± 0,36; b* 0,78 ± 0,49) ficaram muito próximos do controlo MC (L* 36,59 ± 1,66; a* 1,10 ± 0,75; b* 0,86 ± 0,56). O resultado confirma que a substituição do glúten por farinha de trigo sarraceno ou de grão-de-bico não alterou a cor da morcela, dado o papel dominante da matriz sanguínea na determinação dos três parâmetros. A tonalidade escura e pouco saturada manteve-se em todas as formulações, com valores de a* e b* próximos de zero, perfil esperado num produto cuja cor resulta da gelificação térmica da globina e das proteínas plasmáticas durante o tratamento térmico (80).

Efeito do sistema hidrocolóide-fibra (com H+F *vs.* sem H+F)

Ao contrário do observado na farinheira, o sistema H+F não produziu diferenças estatisticamente significativas nos parâmetros proximais quando se comparam diretamente as formulações com e sem este sistema dentro da mesma farinha. Nem para o par com trigo sarraceno (MTS-HF vs. MTS-S) nem para o par com grão-de-bico (MGB-HF vs. MGB-S) se detetou diferença significativa em qualquer dos parâmetros analisados. O resultado tem uma explicação estrutural: na morcela, a fração de farinha é proporcionalmente menor face ao total da receita, o que reduz a dimensão relativa do efeito do HPMC e da fibra vegetal sobre a composição. O impacto funcional deste sistema nesta matriz deverá manifestar-se sobretudo ao nível da textura e da coesão da pasta, parâmetros tratados na secção 4.2.2, e não tanto na composição proximal.

Há, ainda assim, um padrão que merece atenção e que emerge quando se cruzam os quatro pares experimentais. No teor de gordura (ANOVA *p* = 0,035), o conjunto produziu apenas duas formulações estatisticamente distintas entre si: a MTS-HF, com o valor mais elevado (37,72 ± 1,96 %), e a MGB-HF, com o valor mais baixo (34,13 ± 1,93 %). As respetivas contrapartes sem H+F ficaram em posição intermédia (MTS-S: 35,75 ± 2,08 %; MGB-S: 36,07 ± 2,11 %), estatisticamente equivalentes entre si e às duas extremas. A distribuição cruzada é informativa. Dentro do par com trigo sarraceno, a MTS-HF supera a MTS-S em cerca de dois pontos percentuais, enquanto no par com grão-de-bico se observa o inverso, com a MGB-HF a registar valor inferior à MGB-S. Estas diferenças não atingem significância estatística pela sobreposição de desvios-padrão, mas o padrão é coerente com uma interação entre o tipo de farinha e o sistema

H+F que afeta a retenção lipídica em sentidos opostos consoante a base. A mesma lógica acompanha o valor energético (ANOVA p = 0,025): a MTS-HF emerge como a formulação mais energética do conjunto (1635 ± 49 kJ/100 g; 396 ± 12 kcal/100 g), significativamente superior à MI e à MGB-HF, com a MTS-S em posição intermédia e estatisticamente equivalente. O efeito do sistema H+F sobre a energia depende da farinha que o acompanha, manifestando-se sobretudo em combinação com o trigo sarraceno.

No teor de cinza, a MGB-HF apresentou 4,65 ± 0,52 % e a MGB-S 4,28 ± 0,46 %, sem diferença significativa entre as duas. A pequena diferença numérica não tem expressão inferencial e não permite afirmar um contributo mensurável do sistema H+F para a carga mineral da morcela com grão-de-bico, ao contrário do padrão mais claro que se verificou na farinheira.

A atividade da água manteve-se estável em todas as formulações, com valores entre 0,82 e 0,83, e sem variância suficiente para análise inferencial. O contraste com a farinheira é assinalável: nesta, a *aw* situa-se entre 0,94 e 0,95, refletindo diferenças de processo, sobretudo o tratamento térmico mais prolongado e a maior concentração de solutos na matriz da morcela. Do ponto de vista da segurança alimentar, a *aw* mantém-se abaixo de 0,85, limiar acima do qual a generalidade dos microrganismos patogénicos humanos consegue crescer em produtos cárneos (68).

A Figura 7 reúne os quatro parâmetros nutricionais de maior relevância para a rotulagem das formulações: energia, sal, cinza e ácidos gordos saturados. A leitura conjunta confirma a estreiteza dos intervalos. A energia variou entre 372 e 396 kcal/100 g, o teor de sal entre 3,24 e 3,46 % e o teor de ácidos gordos saturados entre 13,31 e 14,92 %, amplitudes curtas que traduzem a robustez nutricional da matriz da morcela face às alterações de formulação ensaiadas. O teor de sal, em particular, não apresentou diferenciação significativa entre formulações após correção de Bonferroni, o que situa este parâmetro como dependente do processo de salga, com baixa sensibilidade à composição da farinha utilizada.

A cinza foi o parâmetro com maior amplitude relativa, variando entre 3,78 % na MI e 4,65 % na MGB-HF, com as duas formulações de grão-de-bico significativamente superiores à formulação industrial sem glúten. Esta diferença reflete diretamente a densidade mineral intrínseca da farinha de grão-de-bico. No teor de ácidos gordos saturados, a MGB-HF apresentou o valor mais baixo do conjunto, significativamente inferior ao da MC e ao da MTS-HF, com uma redução de pouco mais de um ponto

percentual em valor absoluto. A magnitude é moderada, mas tem expressão à luz das recomendações dietéticas para a redução do consumo de gordura saturada e contribui para reforçar o interesse nutricional das formulações com grão-de-bico.

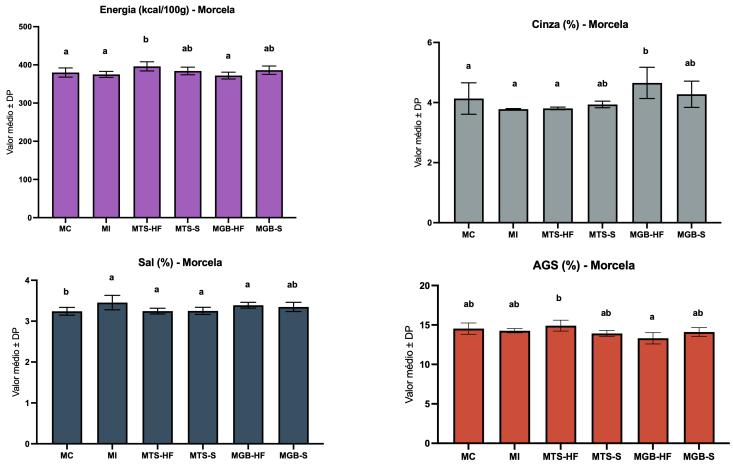

Figura 7— Energia (kcal/100 g), teor de sal (%), cinza (%) e ácidos gordos saturados (%) das seis formulações de morcela, determinados por NIR/FoodScan 2 (FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes indicam diferenças significativas (p < 0,05; Tukey HSD). †Sal e cinza: Kruskal-Wallis.

A leitura conjunta da análise por NIR confirma que a substituição do glúten na morcela produz alterações composicionais estatisticamente significativas, mas de menor magnitude relativa do que na farinheira, em linha com o papel secundário da farinha na matriz deste produto. A farinha de grão-de-bico aproximou-se mais do perfil proteico e mineral do controlo, com a vantagem adicional de menor teor de ácidos gordos saturados nas formulações que a incorporam. A formulação MTS-S destacou-se com o teor glucídico mais elevado do conjunto, sem compensação equivalente ao nível proteico. O sistema H+F não produziu efeitos composicionais consistentes em comparação direta entre pares equivalentes. O único achado a sinalizar associado a este eixo foi uma interação aparente entre o trigo sarraceno e o sistema H+F sobre o teor lipídico e energético da MTS-HF, padrão que reforça que o contributo do sistema nesta matriz se expressa sobretudo funcionalmente, ao nível da textura e da coesão da pasta.

4.2.2. Propriedades texturais (TPA)

4.2.2.1. Farinheira

As propriedades texturais das seis formulações de farinheira foram avaliadas por Análise do Perfil de Textura (TPA), método que simula o processo de mastigação

através de dois ciclos consecutivos de compressão axial e permite determinar seis parâmetros: dureza, coesividade, elasticidade, adesividade, gomosidade e mastigabilidade. A seleção do teste inferencial seguiu uma abordagem sequencial e conservadora: a normalidade foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e, sempre que pelo menos um grupo não satisfez este pressuposto, o parâmetro foi integralmente analisado por Kruskal-Wallis com comparações par-a-par por Mann-Whitney e correção de Bonferroni (limiar ajustado: $p < 0{,}0033$). Para dureza e gomosidade, cujos dados satisfizeram a normalidade em todos os grupos, aplicou-se ANOVA unifatorial com post-hoc de Tukey HSD, após confirmação de homocedasticidade pelo teste de Levene. Os resultados encontram-se na Tabela M.1 (Apêndice M).

A Figura 8 representa o perfil textural normalizado das seis formulações de farinheira no gráfico de radar, permitindo a leitura dos seis parâmetros TPA em simultâneo.

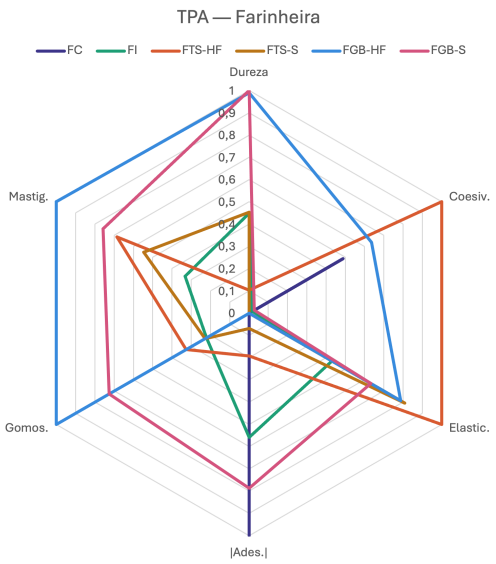

Figura 8— Perfil textural (TPA) das seis formulações de farinheira. Valores normalizados pelo método min-max (0 = mínimo observado; 1 = máximo observado) para representação simultânea de seis parâmetros: dureza, coesividade, elasticidade, adesividade (valor absoluto), gomosidade e mastigabilidade.

Efeito da substituição do glúten (FC *vs.* FI)

A remoção do glúten na formulação industrial (FI) não comprometeu nenhum parâmetro textural de forma estatisticamente significativa face ao controlo com glúten (FC). A dureza da FI (37,05 ± 2,56 N) não diferiu significativamente da FC (33,46 ± 4,35 N). A coesividade, a gomosidade e a adesividade foram igualmente equivalentes entre FC e FI em termos estatísticos.

O resultado mais relevante deste eixo diz respeito à elasticidade. O Kruskal-Wallis identificou diferenças globalmente significativas neste parâmetro ($H = 21,496$; $p < 0,001$), e a comparação par-a-par entre FC e FI revelou uma tendência de magnitude considerável: a FC apresentou valores de elasticidade sistematicamente inferiores aos da FI (Mann-Whitney $p = 0,018$), sugerindo que a formulação industrial sem glúten tende a ser mais elástica do que o controlo. Este valor não atingiu o limiar de Bonferroni ($p < 0,0033$) e deve, por isso, ser interpretado como tendência. A sua consistência ao longo de todas as formulações sem glúten levanta, ainda assim, uma questão tecnologicamente pertinente: o glúten parece não ser o determinante primário da elasticidade na farinheira. Nesta matriz, estruturalmente mais dependente da gelatinização do amido e da emulsificação da fração lipídica do que de uma rede proteica contínua, a ausência de glúten preserva a recuperação elástica após compressão, podendo mesmo favorecê-la.

Efeito do tipo de farinha alternativa (trigo sarraceno *vs.* grão-de-bico)

A dureza foi o único parâmetro onde o tipo de farinha alternativa produziu diferenças estatisticamente significativas. As formulações com farinha de grão-de-bico (FGB-HF: 41,38 ± 4,22 N; FGB-S: 41,46 ± 4,47 N) apresentaram dureza significativamente superior à FC (33,46 ± 4,35 N; ANOVA $F = 3,805$; $p = 0,009$), com tamanho de efeito grande ($\eta^2 = 0,396$), independentemente da presença ou ausência do sistema H+F. As formulações com trigo sarraceno (FTS-HF: 34,28 ± 4,51 N; FTS-S: 37,09 ± 4,81 N) posicionaram-se num subconjunto intermédio, sem diferirem significativamente nem da FC nem das formulações com grão-de-bico.

A maior dureza das formulações com grão-de-bico é atribuível à capacidade gelificante das proteínas desta leguminosa. As globulinas constituem a fração proteica dominante na farinha de grão-de-bico, representando 53 a 60 % do total proteico, e entre elas distinguem-se as leguminas (11S) e as vicilinas (7S) (77). Sujeitas ao tratamento térmico do processamento, estas proteínas sofrem desnaturação com exposição de resíduos hidrofóbicos e grupos sulfidrilo, o que desencadeia a agregação proteica e a formação de redes tridimensionais que conferem maior rigidez à matriz (81).

O trigo sarraceno, por não dispor de frações globulinas com a capacidade gelificante característica das leguminas e vicilinas do grão-de-bico, não produziu o mesmo efeito, o que explica a sua posição intermédia na escala de dureza.

Esta diferença tem implicações sensoriais para a farinheira, produto em que uma textura excessivamente rígida pode ser percecionada negativamente pelos consumidores habituados ao perfil do produto convencional, aspeto avaliado na secção 4.3. Nos restantes parâmetros, o tipo de farinha não discriminou as formulações após correção estatística. Na elasticidade, observou-se uma tendência para valores superiores em FTS-HF face a FGB-HF (postos médios 8,50 *vs.* 4,50; p = 0,055), sem atingir significância formal, mas coerente com o menor efeito gelificante do trigo sarraceno, que produz uma matriz menos rígida e potencialmente mais recuperável após deformação.

Efeito do sistema hidrocolóide-fibra (com H+F *vs.* sem H+F)

O sistema H+F não induziu diferenças estatisticamente significativas em nenhum parâmetro TPA após correção de Bonferroni. As tendências observadas na coesividade merecem, contudo, atenção. As formulações com H+F tenderam para valores de coesividade mais elevados do que as respetivas versões sem este sistema, tanto na série com trigo sarraceno (FTS-HF: 0,579 ± 0,033 *vs.* FTS-S: 0,524 ± 0,029; Mann-Whitney p = 0,016) como na série com grão-de-bico (FGB-HF: 0,559 ± 0,015 *vs*. FGB-S: 0,525 ± 0,034; p = 0,055). Estes valores, situados entre o limiar de Bonferroni e o nível de significância convencional, não permitem afirmar significância estatística formal, mas a tendência é consistente nos dois pares e no mesmo sentido, o que lhe confere relevância tecnológica.

O HPMC, pela sua capacidade de retenção de água na matriz e de melhoria das propriedades texturais durante o processamento térmico de produtos cárneos sem glúten, favorece a coesão interna da pasta e contribui para uma maior integridade estrutural do produto final (39). Embora o efeito observado não tenha alcançado significância estatística formal, a tendência é compatível com as limitações inerentes à potência estatística dos testes não paramétricos, particularmente quando combinados com a correção de Bonferroni em amostras reduzidas (n = 5–6).

Na elasticidade, observou-se uma tendência para valores mais elevados nas formulações com H+F dentro do par com grão-de-bico (FGB-HF: 0,648 ± 0,025 *vs.* FGB-S: 0,629 ± 0,042; p = 0,078), sem efeito equivalente no par com trigo sarraceno. O HPMC, ao contribuir para uma rede com maior capacidade de recuperação após compressão, poderá potenciar esta tendência numa matriz de base mais rígida como a das formulações com grão-de-bico (39).

Adesividade, gomosidade e mastigabilidade

A adesividade não mostrou diferenças significativas entre formulações (Kruskal-Wallis H = 9,773; p = 0,082), o que é consistente com os valores registados: os módulos de adesividade são, em todas as formulações, muito próximos de zero (entre −0,0045 e −0,0147 N·s), característicos de enchidos cozidos em que a superfície não apresenta propriedades adesivas expressivas. A ausência de normalidade detetada em FC (Shapiro-Wilk p = 0,001) está associada ao comportamento discrepante da réplica FC5, cujo valor de adesividade diverge das restantes réplicas dessa formulação. O valor foi mantido na análise por não constituir erro instrumental identificável, e o resultado não significativo do Kruskal-Wallis confirma que a sua inclusão não altera a interpretação.

A gomosidade cumpriu os pressupostos de normalidade e homocedasticidade (Levene F = 0,773; p = 0,577), tendo a ANOVA não detetado diferenças significativas entre formulações (F = 1,838; p = 0,137). A mastigabilidade foi analisada por Kruskal-Wallis, que identificou diferenças globais significativas (H = 12,812; p = 0,025), embora sem nenhum par a atingir significância após correção de Bonferroni. Numericamente, a FGB-HF apresentou os valores mais elevados em ambos os parâmetros (gomosidade 23,10 ± 2,34 N; mastigabilidade 14,95 ± 1,68 N), espelhando o padrão da dureza.

A ausência de significância estatística nestes parâmetros é interpretável. A gomosidade resulta do produto da dureza pela coesividade, e a mastigabilidade do produto da gomosidade pela elasticidade. A propagação das variâncias individuais de cada componente nas métricas derivadas atenua a magnitude das diferenças, tornando mais difícil a sua deteção estatística mesmo quando a diferença de base, como a dureza, é significativa. Esta leitura reforça a dureza como indicador primário das diferenças texturais entre formulações neste estudo.

Os resultados do TPA para a farinheira apontam para conclusões coerentes e interpretáveis. A dureza é o parâmetro mais sensível às alterações de formulação: as formulações com grão-de-bico apresentaram rigidez estrutural significativamente superior ao controlo (p = 0,009; η^2 = 0,396), reflexo do potencial gelificante das suas globulinas durante o processamento (77, 81). As formulações com trigo sarraceno mantiveram um perfil de dureza próximo do controlo, o que representa uma vantagem em termos de proximidade com o produto de referência. A substituição do glúten não reduziu a elasticidade em nenhuma das formulações testadas, e o sistema H+F revelou uma tendência consistente para aumentar a coesão interna da matriz (39). A adesividade confirmou-se como parâmetro não discriminante neste tipo de produto. A

gomosidade e a mastigabilidade, enquanto métricas compostas, absorvem a variância dos parâmetros que as constituem e não atingem significância estatística, sem que isso contradiga a relevância da diferença de dureza observada nas formulações com grão-de-bico. Os resultados de TPA apresentaram um padrão de distribuição assimétrico. Apenas a dureza evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre formulações ao nível formal, com os restantes parâmetros, embora com variações numéricas visíveis, a não atingirem o limiar de significância após as correções estatísticas aplicadas. Esta assimetria permite identificar com precisão o parâmetro textural onde a natureza da farinha alternativa tem impacto mensurável, bem como aqueles em que as estratégias de substituição testadas mantiveram equivalência face ao controlo.

4.2.2.2. Morcela

A Figura 9 representa o perfil normalizado das seis formulações de morcela em gráfico de radar, numa leitura integrada dos seis parâmetros TPA em simultâneo. A normalização min-max (0 = mínimo observado; 1 = máximo observado) elimina o efeito de escala entre parâmetros com unidades distintas e torna visível o padrão relativo de cada formulação face às restantes. As propriedades texturais das seis formulações de morcela foram avaliadas por Análise do Perfil de Textura (TPA) em texturómetro Stable Micro Systems (sonda P/75), com seis réplicas independentes por formulação (n = 6).

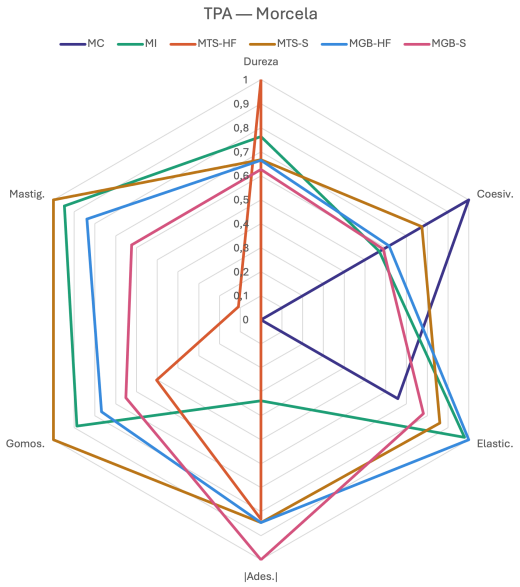

Figura 9— Perfil textural (TPA) das seis formulações de morcela. Valores normalizados pelo método min-max (0 = mínimo observado; 1 = máximo observado). Parâmetros: dureza, coesividade, elasticidade, adesividade (valor absoluto), gomosidade e mastigabilidade.

A seleção do teste inferencial seguiu a mesma abordagem sequencial e conservadora aplicada à farinheira: normalidade avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk e, sempre que pelo menos um grupo não satisfez este pressuposto, o parâmetro foi integralmente analisado por Kruskal-Wallis. Para os parâmetros que satisfizeram a normalidade em todos os grupos, avaliou-se a homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene. A elasticidade, a gomosidade e a mastigabilidade foram analisadas por ANOVA unifatorial com post-hoc de Tukey HSD; a coesividade, com variâncias heterogéneas (Levene $F = 11{,}697$; $p < 0{,}001$), foi analisada pelo teste de Welch com post-hoc de Tukey HSD; a dureza e a adesividade, por violação da normalidade em pelo menos um grupo, foram analisadas por Kruskal-Wallis. Os resultados encontram-se na Tabela N.1 (Apêndice N).

Os resultados do TPA para a morcela apresentam um padrão marcadamente distinto do observado na farinheira, e a explicação é estrutural. Na farinheira, a farinha é o componente maioritário e o principal agente de estruturação da matriz, pelo que a natureza da farinha alternativa condiciona de forma direta e expressiva as propriedades texturais do produto final. Na morcela, o agente estruturante dominante é o plasma sanguíneo: a desnaturação térmica das proteínas do plasma durante o processamento desencadeia a exposição do núcleo hidrofóbico, a agregação proteica e o desenvolvimento de uma rede tridimensional que determina a arquitetura da matriz, cabendo à farinha um papel secundário nessa construção (80). Esta diferença de fundo explica por que a maioria dos parâmetros texturais da morcela permaneceu inalterada perante a substituição da farinha, e por que o único efeito textural significativo decorre de uma interação específica entre ingredientes, à margem do tipo de farinha utilizado.

Efeito da substituição do glúten (MC *vs.* MI)

A substituição do glúten pela formulação industrial (MI) não produziu diferenças estatisticamente significativas em nenhum dos seis parâmetros texturais face ao controlo MC. Na morcela, a ausência de glúten não compromete o comportamento mecânico do produto, uma vez que a integridade estrutural da matriz resulta da gelificação proteica do plasma durante o processamento térmico, processo independente da rede gliadina-glutenina (80). Do ponto de vista tecnológico, estes resultados mostram que a formulação sem glúten pode ser aplicada sem causar alterações percetíveis na textura do produto.

Efeito do tipo de farinha alternativa (trigo sarraceno *vs.* grão-de-bico)

O tipo de farinha alternativa não discriminou nenhum par de formulações em nenhum parâmetro textural, quando comparado a igual condição de estruturação. As formulações com trigo sarraceno e com grão-de-bico produziram perfis texturais estatisticamente equivalentes nos seis parâmetros avaliados. Dado que a farinha tem um papel secundário na estruturação da morcela, as diferenças funcionais entre farinhas que na farinheira determinaram distinções significativas de dureza deixam de ter expressão textural mensurável nesta matriz. A escolha entre farinha de trigo sarraceno e de grão-de-bico na morcela terá, portanto, maior impacto sobre a composição proximal e as alegações nutricionais do produto do que sobre o seu perfil textural.

Efeito do sistema hidrocolóide-fibra (com H+F *vs.* sem H+F)

A formulação MTS-HF, que combina farinha de trigo sarraceno com o sistema H+F, apresentou coesividade significativamente inferior à de todas as restantes formulações (0,630 ± 0,069; Welch F = 4,131; p = 0,017), incluindo a MC (0,740 ± 0,027) e a MTS-S (0,715 ± 0,021). Manteve-se o post-hoc de Tukey HSD por uniformização com os restantes parâmetros de textura da morcela, ainda que o teste de Games-Howell fosse a opção metodologicamente mais indicada face à heterogeneidade de variâncias detetada. A elasticidade da MTS-HF foi igualmente a mais baixa do conjunto (0,823 ± 0,019), diferindo significativamente das formulações MTS-S, MI e MGB-HF (ANOVA F = 4,050; p = 0,006). Em ambos os parâmetros, a MTS-HF é a única formulação que se destaca negativamente do restante grupo.

A comparação com a formulação MTS-S, produzida com trigo sarraceno, mas sem o sistema H+F, permite isolar o efeito deste sistema na textura da morcela. A MTS-S não exibiu qualquer penalização textural: a sua coesividade (0,715 ± 0,021) e elasticidade (0,860 ± 0,023) são estatisticamente equivalentes às das restantes formulações, incluindo o controlo. A penalização textural observada na MTS-HF é, portanto, específica da combinação entre a farinha de trigo sarraceno e o sistema H+F na matriz proteica da morcela. A farinha por si só, sem o sistema H+F, mantém um perfil textural equivalente ao do controlo.

Uma hipótese explicativa plausível baseia-se na interferência do HPMC com a gelificação proteica do plasma durante o tratamento térmico. O HPMC, ao desenvolver na solução aquosa uma rede com propriedades viscoelásticas e de retenção de água, poderá competir com as proteínas do plasma pela água disponível na matriz, perturbando a organização da rede proteica e resultando numa estrutura menos coesa

e menos elástica (39). Esta interferência pode ser potenciada pela presença simultânea da farinha de trigo sarraceno, cujo perfil proteico e de interação com polissacarídeos é distinto do da farinha de grão-de-bico, criando condições específicas de competição por água que não se verificam nas formulações com grão-de-bico. O facto de a MGB-HF não mostrar o mesmo efeito apoia esta leitura: as globulinas do grão-de-bico, com maior capacidade de gelificação por calor, podem estabilizar a matriz e compensar a perturbação introduzida pelo sistema H+F, o que não acontece com o perfil proteico do trigo sarraceno (77, 81).

O desvio-padrão elevado da coesividade da MTS-HF (0,069 face a um intervalo de 0,013 a 0,027 nas restantes formulações) é igualmente informativo. A maior dispersão inter-réplica sugere que esta combinação de ingredientes produz uma matriz menos uniforme e mais variável internamente, podendo refletir uma gelificação menos estável durante o cozimento. Em termos de desenvolvimento industrial, este resultado identifica a combinação trigo sarraceno e sistema H+F como problemática na morcela, indicando a necessidade de ajustar a dose ou a sequência de incorporação destes ingredientes caso se pretenda manter este sistema neste produto com esta farinha.

Dureza, gomosidade, mastigabilidade e adesividade

A dureza não mostrou diferenças significativas entre formulações (Kruskal-Wallis H = 6,745; p = 0,240), embora a MC apresente o valor mais baixo do conjunto (106,04 ± 30,86 N), com as restantes formulações entre 121,81 e 131,20 N. Os valores absolutos da morcela (106 a 131 N) são substancialmente superiores aos da farinheira (33 a 41 N), reflexo da natureza mais densa e firme da sua matriz proteica. A variabilidade interna da MC (desvio-padrão de 30,86 N) é consideravelmente superior à das restantes formulações (4,86 a 20,40 N), o que contribui para a ausência de significância estatística e sugere maior heterogeneidade textural entre réplicas da formulação controlo.

A gomosidade (ANOVA F = 0,337; p = 0,887) e a mastigabilidade (ANOVA F = 0,491; p = 0,781) não apresentaram diferenças significativas entre formulações, em linha com o foi observado na farinheira. Na morcela, a dureza não permitiu diferenciar as formulações, sendo apenas a MTS-HF distinta nos parâmetros de coesividade e elasticidade. Assim, o comportamento observado nas métricas compostas era esperado, uma vez que a combinação dos diferentes parâmetros reduz a influência das diferenças individuais, tornando-as estatisticamente não detetáveis. A adesividade manteve o padrão já observado na farinheira, com valores muito próximos de zero em

todas as formulações (Kruskal-Wallis H = 4,922; p = 0,425), confirmando-se como parâmetro não discriminante em enchidos cozidos.

O perfil da morcela é, na generalidade, robusto às alterações de formulação testadas. A substituição do glúten, quer pela formulação industrial quer pelas farinhas alternativas, não comprometeu a dureza, a gomosidade, a mastigabilidade nem a adesividade. Os únicos parâmetros onde se detetaram diferenças significativas foram a coesividade e a elasticidade, e em ambos o efeito é localizado e específico: a formulação MTS-HF apresenta valores inferiores a todas as restantes, resultado que não se replica na MTS-S nem em qualquer formulação com grão-de-bico. Esta especificidade aponta para uma interação entre o trigo sarraceno e o sistema H+F na matriz sanguínea, mais do que para um efeito geral da farinha ou do sistema H+F tomados isoladamente (39, 80). A leitura cruzada com os resultados da farinheira confirma que as estratégias de substituição do glúten têm impactos texturais qualitativamente distintos consoante a matriz do produto, e que os critérios de seleção de ingredientes funcionais devem ser avaliados produto a produto.

4.2.3. Cor (CIELab)

A composição proximal das formulações foi caracterizada na secção anterior por espectroscopia de infravermelho próximo (NIR/FoodScan), técnica que analisa a matriz interna da amostra homogeneizada para quantificar macronutrientes. A cor do produto acabado exige, contudo, uma abordagem instrumental distinta. O consumidor avalia a cor pela superfície do enchido, e é essa a dimensão que determina a aceitação visual e a conformidade com o produto tradicional. A medição por colorímetro de reflectância, com geometria de iluminação padronizada e calibração dedicada para o espaço CIE L*a*b*, constitui o método de referência para esta avaliação em produtos alimentares (53). As leituras colorimétricas foram realizadas sobre réplicas independentes das utilizadas na análise por NIR, obtidas a partir do mesmo lote de cada formulação em sessão laboratorial distinta, o que reforça a representatividade das medições ao contemplar a variabilidade natural entre unidades do mesmo lote. A presente secção complementa assim a caracterização proximal com a dimensão cromática do produto, avaliada de forma independente e com instrumentação dedicada.

A cor é, para a farinheira, um atributo de identidade. A tonalidade alaranjada deste enchido resulta da combinação do pimentão com a gordura suína e com a fração farinhenta da receita, sendo a* o parâmetro mais diretamente associado à intensidade avermelhada e, por isso, o mais relevante para a conformidade com o produto tradicional

(53). O impacto cromático das farinhas nos produtos finais varia consoante o ingrediente. A farinha de trigo sarraceno é a que introduz maior perturbação expectável, em resultado da presença de compostos fenólicos, nomeadamente rutina e quercetina, flavonoides característicos deste pseudocereal (42), que tendem a reduzir a luminosidade (L*) e a aumentar o parâmetro b*. A farinha de grão-de-bico introduz uma tonalidade amarelada associada à presença de carotenoides e flavonoides, com reflexo nos parâmetros a* e b* (77). A farinha de milho e o amido de milho, pela sua tonalidade clara, não introduzem alterações cromáticas expressivas. Os resultados obtidos permitem avaliar em que medida estas expectativas se confirmaram nas condições reais de cada produto.

4.2.3.1. Farinheira

A caracterização colorimétrica das seis formulações de farinheira foi realizada pelo sistema CIE L*a*b*, com seis réplicas independentes por formulação (n = 6). Avaliaram-se os parâmetros primários L* (luminosidade), a* (componente vermelho-verde) e b* (componente amarelo-azul), complementados pelo croma (C*) e pelo ângulo de tonalidade (h°), calculados a partir das médias de a* e b* sem aplicação de teste estatístico (53). Todos os parâmetros cumpriram os pressupostos de normalidade (Shapiro-Wilk $p > 0,05$ em todos os grupos) e de homogeneidade de variâncias (Levene: L* F = 1,333; $p = 0,277$; a* F = 2,398; $p = 0,061$; b* F = 0,700; $p = 0,628$), tendo sido analisados por ANOVA unifatorial com post-hoc de Tukey HSD. Os três parâmetros apresentaram diferenças significativas entre formulações ($p < 0,001$ em todos os casos), tornando a cor a dimensão com maior poder discriminante de todo o estudo. Os resultados encontram-se na Tabela O.1.

Efeito da substituição do glúten (FC *vs.* FI)

A formulação industrial sem glúten (FI) distinguiu-se cromaticamente do controlo FC em dois dos três parâmetros primários. A luminosidade não apresentou diferença estatística entre as duas formulações (FC: 46,48 ± 1,92; FI: 44,34 ± 3,09), ainda que a FI registe o valor mais baixo de L* de todo o conjunto e a maior variabilidade inter-réplica. Os parâmetros a* e b* foram ambos significativamente superiores na FI face à FC: a* passou de 10,79 para 17,68 e b* de 14,22 para 19,70 ($p < 0,001$ em ambos os casos). O aumento simultâneo de a* e b* traduz uma intensificação global da saturação cromática, expressa no croma C* de 26,47 na FI face a 17,85 na FC (53). Este resultado reflete a composição específica da mistura industrial utilizada como substituto, que inclui

ingredientes com impacto cromático próprio, ausentes nas formulações experimentais disruptivas. Os dados da FI caracterizam assim o efeito de uma substituição comercial de composição complexa, e não permitem isolar o efeito da remoção do glúten.

Efeito do tipo de farinha alternativa (trigo sarraceno *vs.* grão-de-bico)

O tipo de farinha alternativa produziu a separação mais clara e tecnologicamente mais relevante de todo o estudo colorimétrico. No parâmetro a*, o Tukey HSD identificou dois subconjuntos sem qualquer sobreposição: FC, FGB-HF e FGB-S agruparam-se com a* entre 10,40 e 10,79, enquanto FI, FTS-HF e FTS-S formaram um grupo claramente separado, com a* entre 16,07 e 17,68 ($p < 0,001$). O controlo FC agrupou-se com as formulações de grão-de-bico, estabelecendo uma distinção tecnológica central: a farinha de grão-de-bico preserva a vermelhidão característica da farinheira dentro do intervalo do controlo, enquanto a farinha de trigo sarraceno a intensifica para um nível próximo da formulação industrial.

Esta diferença é atribuível às propriedades cromáticas distintas das duas farinhas. O trigo sarraceno contém compostos fenólicos, entre os quais flavonoides como vitexina, quercetina e catequinas, concentrados nas camadas externas do grão, que ao interagirem com o pimentão e com a fração lipídica durante o processamento potenciam a componente avermelhada do produto final (82). O grão-de-bico, de tonalidade naturalmente mais amarelada e com menor carga fenólica, não produz este efeito (39). O desvio-padrão notavelmente baixo de FTS-HF em a* (0,31) confirma que o trigo sarraceno é um determinante cromático robusto e consistente, com variabilidade inter-réplica muito reduzida neste parâmetro.

Em b*, a separação entre farinhas é menos nítida. A FC (14,22) diferiu significativamente apenas da FI e da FTS-HF (ambas no subconjunto superior), enquanto as formulações com grão-de-bico e a FTS-S se posicionaram em posição intermédia, sem diferirem significativamente de nenhum dos extremos. O ângulo de tonalidade complementa esta leitura: as formulações com grão-de-bico (h° 57,6° e 58,5°) apresentam tonalidades ligeiramente mais amareladas do que o controlo (52,8°). No trigo sarraceno, a FTS-S (46,3°) aproxima-se da FI (48,1°), com ambas mais perto do laranja-avermelhado, enquanto a FTS-HF (51,6°) permanece mais perto do controlo (53). Todas as formulações se mantêm no intervalo laranja-amarelado característico da farinheira, sem desvios para tonalidades atípicas.

Efeito do sistema hidrocolóide-fibra (com H+F *vs.* sem H+F)

O sistema H+F não produziu diferenças estatisticamente significativas em a* nem em b* em nenhum dos pares de formulações. A vermelhidão e o amarelamento do produto são determinados pelo tipo de farinha, sem influência mensurável do HPMC ou da fibra vegetal, resultado coerente com a natureza destes ingredientes: o HPMC é incolor e sem compostos fenólicos, e a fibra vegetal tem composição cromática neutra (39).

O único parâmetro onde o sistema H+F produziu efeito visível foi a luminosidade L*. Em ambos os pares, a formulação com H+F apresentou L* superior à versão sem H+F: FTS-HF (50,58) vs. FTS-S (45,84), diferença de 4,74 unidades; FGB-HF (52,31) vs. FGB-S (49,41), diferença de 2,90 unidades. As formulações com H+F de ambas as farinhas foram as mais luminosas do conjunto, diferindo significativamente da FI (44,34). O mecanismo mais plausível é que o HPMC, ao promover maior retenção de água na matriz durante o processamento térmico (39), resulta numa superfície com maior teor de humidade, aumentando a luminosidade registada pelo colorímetro. Este é o único contributo do sistema H+F ao perfil colorimétrico do produto, e é favorável em termos de aparência superficial.

Síntese e ΔE

A cor é a dimensão analítica com maior poder discriminante neste estudo, com os três parâmetros primários significativos a $p < 0,001$. O parâmetro a* é o eixo central da discussão: a farinha de grão-de-bico mantém a vermelhidão da farinheira dentro do intervalo do controlo com glúten, enquanto a farinha de trigo sarraceno a eleva significativamente para um nível próximo da formulação industrial. O sistema H+F não altera a saturação cromática, mas aumenta consistentemente a luminosidade, efeito secundário favorável. A farinheira com grão-de-bico, com ou sem sistema H+F, é a opção que mais se aproxima cromaticamente do produto tradicional e representa a estratégia de substituição mais conservadora em termos de identidade visual do produto.

A Figura 10 representa a dispersão dos valores médios de a* e b* de cada formulação num plano cartesiano, permitindo visualizar a separação cromática entre grupos. O afastamento da formulação industrial (FI) e das formulações com trigo sarraceno (FTS-HF, FTS-S) em relação ao controlo (FC) é evidente em ambas as coordenadas, enquanto as formulações com grão-de-bico (FGB-HF, FGB-S) se mantêm próximas de FC no eixo a*, afastando-se apenas em b*. Para quantificar a magnitude das diferenças

percetíveis pelo olho humano, calculou-se o ΔE de cada formulação em relação ao controlo FC, segundo a expressão $\Delta E = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$ (53).

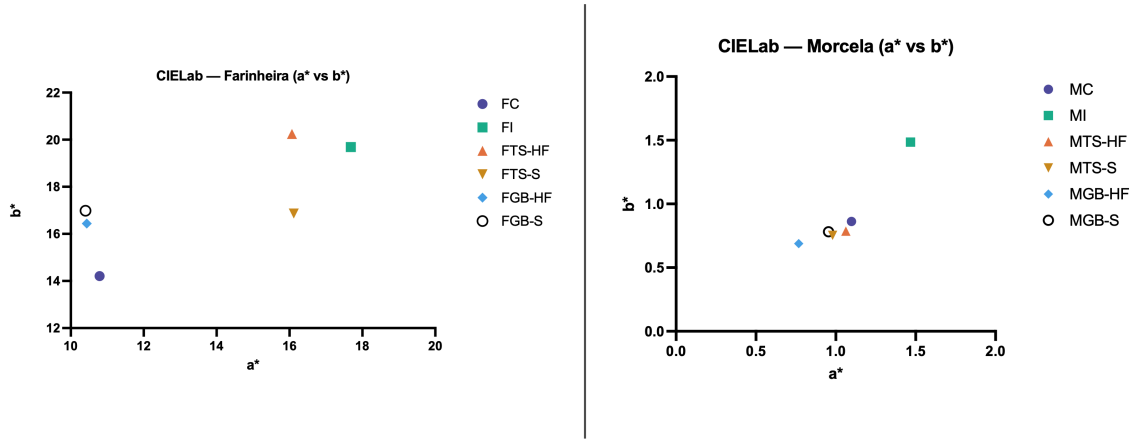

Figura 10— Dispersão dos valores médios de a e b* das formulações de farinheira (painel esquerdo) e morcela (painel direito) no espaço CIELab. Cada ponto representa a média de n = 6 medidas. FC e MC são as referências para o cálculo de ΔE.*

Os valores obtidos, apresentados na Tabela O.1 e ilustrados na Figura 11, revelam que todas as formulações sem glúten apresentam ΔE superior a 3, limiar a partir do qual as diferenças são percetíveis a olho nu, com a FI e a FTS-HF a registarem os valores mais elevados (ΔE = 9,06 e 9,00, respetivamente). A FGB-S, com ΔE = 4,05, apresenta a menor diferença cromática face ao controlo, confirmando que, entre as formulações experimentais, o grão-de-bico é o ingrediente que menos perturba a identidade visual da farinheira.

4.2.3.2. Morcela

A caracterização colorimétrica das seis formulações de morcela seguiu a mesma estratégia metodológica aplicada à farinheira, com avaliação dos parâmetros primários L*, a* e b* e cálculo dos parâmetros derivados C* e h° a partir das médias de a* e b*. Cada formulação foi avaliada com seis réplicas independentes (n = 6).

O percurso estatístico diferiu do aplicado à farinheira. O teste de Shapiro-Wilk revelou distribuições não normais em a* para MC (p = 0,045) e MGB-HF (p = 0,008), e em b* para MGB-HF (p = 0,008). Pela regra conservadora adotada, estes dois parâmetros foram integralmente analisados por Kruskal-Wallis. Apenas L* cumpriu os pressupostos de normalidade em todos os grupos e homogeneidade de variâncias (Levene F = 1,569;

p = 0,199), sendo analisado por ANOVA unifatorial. Os resultados encontram-se na Tabela P.1 (Apêndice P).

O resultado central desta análise é a ausência de diferenças estatisticamente significativas em qualquer dos três parâmetros colorimétricos, padrão que contrasta com o observado na farinheira e tem uma explicação estrutural direta.

Na morcela, os pigmentos hemínicos são o componente pigmentar dominante: a hemoglobina e os seus produtos de oxidação, fixados durante a gelificação térmica da globina no processamento, conferem ao produto uma cor escura, de baixa saturação e tonalidade neutra, independentemente da natureza da fração farinhenta. Ao contrário da farinheira, onde a farinha constitui a base estrutural e o pimentão é o principal agente cromático, na morcela a substituição da componente amilácea por farinhas alternativas não produz variações colorimetricamente mensuráveis, porque a fração que se substitui não é a que determina a cor.

Luminosidade, vermelhidão e amarelecimento

Os valores de L* situaram-se entre 35,92 (MI) e 38,17 (MTS-HF), numa amplitude de apenas 2,25 unidades, sem diferenças significativas entre formulações (ANOVA F = 1,611; *p* = 0,187). A morcela apresenta, em todas as formulações, luminosidade consistentemente baixa, característica de produtos de base sanguínea onde o pigmento escuro domina a reflectância superficial (53). O tipo de farinha utilizado, com ou sem sistema H+F, não altera este parâmetro de forma detetável.

Os valores de a* foram muito baixos em todas as formulações, variando entre 0,77 (MGB-HF) e 1,47 (MI), e não diferiram significativamente entre si (Kruskal-Wallis H = 7,246; *p* = 0,203). Esta quase ausência de componente vermelho é característica da morcela, onde a oxidação dos pigmentos hemínicos resulta numa tonalidade escura e neutra, sem a vermelhidão que caracteriza produtos com adição de pimentão ou com elevado teor de mioglobina oxigenada.

O parâmetro b* foi o mais próximo do limiar de significância dos três (Kruskal-Wallis H = 9,864; *p* = 0,079), sem atingir diferença estatisticamente significativa. Os valores médios variaram entre 0,69 (MGB-HF) e 1,49 (MI), todos próximos de zero. A formulação industrial MI apresentou o valor médio mais elevado em b* (1,49 ± 0,48), sugerindo uma tendência para ligeiro amarelamento face às restantes formulações,

possivelmente associada a componentes lipídicos específicos da mistura industrial, mas esta tendência não atingiu o limiar de significância adotado.

Croma e ângulo de tonalidade

Os valores de C* situaram-se entre 1,03 (MGB-HF) e 2,09 (MI), refletindo saturação cromática muito reduzida em todas as formulações. Para referência, na farinheira o C* variou entre 17,85 e 26,47, valores de uma ordem de grandeza superiores. A morcela apresenta, neste conjunto, uma saturação praticamente acromática, consequência direta da natureza do seu pigmento dominante.

O ângulo de tonalidade variou entre 36,5° (MTS-HF) e 45,3° (MI), correspondendo a tonalidades amarelo-acastanhadas (83), mas com C* tão reduzido a relevância prática do h° é limitada: a cor é demasiado próxima do neutro para que a tonalidade seja visualmente distinta entre formulações.

Síntese e ΔE

A colorimetria da morcela e da farinheira produzem resultados opostos, e essa oposição é informativa. Na farinheira, os três parâmetros foram significativos com $p < 0,001$ e o tipo de farinha alternativa determinou separações claras, em especial em a*. Na morcela, nenhum parâmetro foi significativo e todas as formulações são cromaticamente indistinguíveis do controlo. A diferença resulta do papel que a farinha desempenha em cada matriz. Na farinheira, a farinha é o componente estruturante e os ingredientes que a compõem contribuem diretamente para a cor do produto. Na morcela, os pigmentos hemínicos absorvem e dominam o sinal cromático, e a fração farinhenta, qualquer que seja a sua natureza, não altera esse sinal de forma mensurável (53). Em termos de viabilidade tecnológica da substituição do glúten, este resultado é uma vantagem clara para a morcela: qualquer das estratégias de substituição testadas mantém a identidade cromática do produto sem penalização.

O cálculo do ΔE em relação ao controlo MC confirma esta leitura de forma quantitativa. Nenhuma das formulações atingiu o limiar de perceção visual (ΔE = 3): o valor mais elevado foi o de MTS-HF, com ΔE = 1,58, abaixo do qual as diferenças cromáticas deixam de ser percetíveis a olho nu (53). Os valores de ΔE para as restantes formulações situaram-se entre 0,93 (MGB-HF) e 1,49 (MTS-S), conforme apresentado na Tabela P.1 e ilustrado na Figura 11. Este resultado é tecnologicamente relevante: garante que a substituição do glúten na morcela não produz qualquer alteração visível na cor do produto tal como chega ao consumidor.

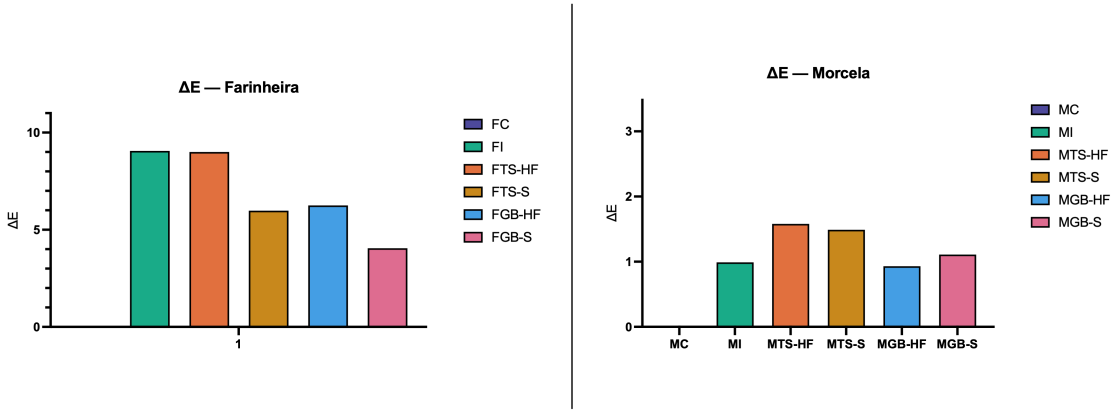

Figura 11— Diferença total de cor (ΔE) das formulações de farinheira (painel esquerdo) e morcela (painel direito) face aos respetivos controlos (FC e MC). A linha a tracejado em ΔE = 3 indica o limiar de perceção visual a olho nu.

4.2.4. Teor residual de glúten

A análise do teor de glúten foi somente realizada nas formulações Farinheira industrial (FI) e Morcela industrial (MI), que constituíram as únicas formulações sujeitas a scale-up em produção industrial no decurso do presente trabalho. A seleção destas duas formulações para análise justifica-se por terem sido as únicas a reunir condições de viabilidade em múltiplos domínios de validação: viabilidade económica, avaliação sensorial favorável, adequação às exigências do mercado e disponibilidade e facilidade de aquisição das matérias-primas envolvidas. Desta forma, constituíram as formulações eleitas para efeitos de industrialização e, por isso, as que justificaram a realização de uma análise laboratorial externa completa.

As referidas análises foram executadas por laboratório acreditado externo e incluíram, para além da quantificação do teor de glúten, a determinação da informação nutricional, a pesquisa de sulfitos e a análise microbiológica por zaragatoa em pontos críticos dos equipamentos da zona de produção.

A monitorização de superfícies e equipamentos através de zaragatoas assume importância no controlo da produção industrial, uma vez que resíduos de glúten presentes em equipamentos ou zonas de contacto podem ser transferidos para o produto durante o processamento, afetando a garantia do estatuto *gluten-free* do produto final (69, 71). A validação dos procedimentos de higienização e o controlo de potenciais resíduos de glúten em equipamentos constituem medidas essenciais na prevenção da contaminação cruzada durante o processamento de alimentos sem glúten

(71, 84). Este controlo é particularmente relevante para consumidores com doença celíaca, uma vez que a ingestão de pequenas quantidades de glúten pode desencadear respostas imunológicas e inflamatórias, comprometendo a integridade da mucosa intestinal (85).

4.2.5. Informação nutricional dos produtos desenvolvidos

A análise da composição proximal das formulações de farinheira por espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) revelou diferenças estatisticamente significativas entre as seis formulações desenvolvidas em todos os parâmetros avaliados ($p < 0,001$). Em todas as comparações estatísticas descritas neste capítulo, a referência principal é o controlo com glúten (FC para a farinheira, MC para a morcela); a formulação industrial sem glúten (FI ou MI) é usada como segunda referência comparativa. Importa referir que todas as formulações foram produzidas com quantidades iguais de matérias-primas, sendo as variáveis experimentais exclusivamente o tipo de farinha alternativa incorporada (trigo sarraceno ou grão-de-bico), a presença ou ausência do sistema H+F, e a substituição da farinha de trigo com glúten. As diferenças observadas no teor lipídico e no valor energético entre formulações refletem a variabilidade composicional intrínseca das farinhas alternativas utilizadas e, no caso da FI, a composição específica da mistura industrial de substituição do glúten, e não alterações intencionais na quantidade de gordura adicionada.

Quanto à energia, a formulação industrial sem glúten (FI) apresentou o valor mais elevado (446 ± 11,2 kcal/100 g; 1846 ± 46,2 kJ/100 g), significativamente superior ao controlo com glúten (FC: 396 ± 6,2 kcal/100 g) e à formulação FGB-HF (396 ± 8,9 kcal/100 g), diferença que reflete o maior teor lipídico da FI (37,88 ± 1,50 g/100 g).

No que respeita ao teor proteico, nenhuma das formulações atingiu o limiar de 12 % do valor energético total fornecido por proteína, exigido pelo Regulamento (CE) n.º 1924/2006 para a declaração nutricional "fonte de proteína" (67), com contribuições a variar entre 6,3 % (FI: 7,00 ± 0,71 g/100 g) e 10,5 % (FGB-HF: 10,37 ± 0,58 g/100 g). O valor mais elevado observado na formulação FGB-HF é atribuível à contribuição proteica intrínseca da farinha de grão-de-bico (82).

O teor em hidratos de carbono foi significativamente inferior nas formulações com sistema H+F, FTS-HF (14,43 ± 1,55 g/100 g) e FGB-HF (13,83 ± 0,89 g/100 g), relativamente ao controlo FC (19,25 ± 0,93 g/100 g), o que pode constituir uma vantagem nutricional relevante para populações com necessidades de gestão da

ingestão glucídica. O teor de sal situou-se entre 2,79 ± 0,26 g/100 g (FGB-HF) e 3,23 ± 0,07 g/100 g (FC), aspeto relevante no enquadramento nutricional do produto.

Com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR foram elaboradas as declarações nutricionais das 12 formulações estudadas, utilizando uma ferramenta de cálculo nutricional desenvolvida especificamente para este trabalho. As declarações foram construídas no formato exigido pelo Reg. (UE) n.º 1169/2011 (62), incluindo energia, lípidos, ácidos gordos saturados, hidratos de carbono, açúcares, fibra, proteína e sal, com indicação dos intervalos de tolerância conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia. Os valores calculados para cada formulação encontram-se nos Apêndices R (farinheira) e S (morcela). Esta informação permite a preparação imediata da rotulagem caso qualquer das formulações avance para comercialização, reduzindo o tempo de transição entre o desenvolvimento laboratorial e o lançamento do produto.

4.3. Avaliação sensorial

4.3.1. Farinheira

A avaliação sensorial das formulações de farinheira recorreu a um painel de dez provadores não treinados, recrutados entre colaboradores da unidade industrial, todos sem diagnóstico de intolerâncias ou alergias alimentares que pudessem condicionar a prova. A sessão decorreu em sala com temperatura e luminosidade controladas. As seis formulações foram apresentadas de forma monádica sequencial, codificadas com números aleatórios de três dígitos, e cada provador pontuou seis parâmetros hedónicos (aparência, cor, aroma, sabor, textura e apreciação global) numa escala de nove pontos (1 = desgosto extremamente; 9 = gosto extremamente). Adicionalmente, cada provador identificou a formulação preferida, a menos apreciada e aquela que estaria disposto a adquirir.

O tratamento dos dados hedónicos utilizou o teste de Friedman, adequado para amostras relacionadas de dimensão reduzida avaliadas em escala ordinal, com os provadores como blocos e as formulações como tratamentos. Nos atributos com resultado significativo ($p < 0,05$), realizaram-se comparações par-a-par pelo teste de Wilcoxon, com o limiar de significância ajustado pela correção de Bonferroni para $p < 0,0033$ (0,05 ÷ 15 pares). As variáveis de preferência e intenção de compra, de natureza dicotómica, foram analisadas pelo teste Q de Cochran. O conjunto das análises foi conduzido em IBM SPSS Statistics. A dimensão do painel (n = 10) confere a estes resultados um carácter exploratório. O poder estatístico associado a dez provadores é

limitado, pelo que a ausência de significância num dado atributo não deve ser lida como equivalência entre formulações, tratando-se de uma limitação do desenho experimental que pode obscurecer diferenças reais.

O teste de Friedman identificou diferenças significativas entre formulações em dois dos seis parâmetros avaliados: cor ($\chi^2 = 15{,}251$; $p = 0{,}009$) e aroma ($\chi^2 = 12{,}401$; $p = 0{,}030$). A aparência ($\chi^2 = 5{,}949$; $p = 0{,}311$), o sabor ($\chi^2 = 7{,}552$; $p = 0{,}183$), a textura ($\chi^2 = 6{,}557$; $p = 0{,}256$) e a apreciação global ($\chi^2 = 6{,}050$; $p = 0{,}301$) não atingiram o limiar de significância, embora os postos médios revelem variações entre formulações que merecem leitura (Tabela T.1, Apêndice T).

A análise destes postos médios evidencia um padrão transversal a todos os atributos: a FGB-HF obteve sistematicamente os valores mais baixos, com destaque para a cor (1,95) e o aroma (2,15), os dois parâmetros onde o teste global foi significativo. No extremo oposto, FC e FI ocuparam de forma consistente as posições mais elevadas, com a FC a registar o posto máximo no aroma (4,45) e na apreciação global (4,05), e a FI na aparência (4,20). A FTS-S destacou-se na cor (4,40), obtendo o posto mais alto entre todas as formulações neste atributo. As formulações com trigo sarraceno, tanto FTS-HF como FTS-S, posicionaram-se de forma geral próximas das formulações de referência, sem penalização marcada em nenhum parâmetro. A FGB-S, apesar de partilhar a mesma base de grão-de-bico que a FGB-HF, obteve postos médios consistentemente superiores aos desta última, situando-se mais próxima do intervalo das restantes formulações.

As comparações par-a-par de Wilcoxon, aplicadas à cor e ao aroma, não produziram nenhum resultado significativo após correção de Bonferroni. Este desfecho é expectável com dez provadores: a diferença global detetada pelo Friedman distribui-se por múltiplos pares sem se concentrar num contraste específico com magnitude suficiente para sobreviver à correção. Os valores de p antes de correção permitem, todavia, identificar tendências consistentes. Na cor, as comparações envolvendo a FGB-HF face à FC ($p = 0{,}017$), à FTS-HF ($p = 0{,}017$) e à FI ($p = 0{,}020$) foram as mais próximas do limiar não ajustado. No aroma, a FGB-HF apresentou igualmente os contrastes mais expressivos, face à FTS-S ($p = 0{,}017$) e à FC ($p = 0{,}037$). Os dados instrumentais apontam no mesmo sentido: na análise colorimétrica CIELab, a FGB-HF registou valores de a* significativamente inferiores aos das restantes formulações, traduzindo uma perda da tonalidade avermelhada típica da farinheira que o painel captou de forma sensível na avaliação da cor.

O teste Q de Cochran revelou diferenças significativas na distribuição da preferência global (Q = 14,000; df = 5; p = 0,016) e da intenção de compra (Q = 14,000; df = 5; p = 0,016). As frequências absolutas foram idênticas nas duas variáveis: seis dos dez provadores (60 %) selecionaram a FI como formulação preferida e como aquela que adquiririam, enquanto nenhuma outra formulação reuniu mais do que uma escolha em qualquer das categorias positivas. A FTS-S não obteve nenhuma seleção favorável. No polo oposto, cinco provadores identificaram a FGB-HF como a amostra de menor agrado (Tabela U.1, Apêndice U).

As justificações espontâneas reforçam estes resultados: quem preferiu a FI valorizou o equilíbrio entre aroma, sabor e textura, e vários provadores mencionaram a menor perceção de sal comparativamente às restantes amostras. O provador que elegeu a FC destacou a intensidade do sabor e o aspeto visual. A coerência entre a preferência declarada e os postos hedónicos indica consistência nas respostas do painel: a FI e a FC ocuparam de forma geral as posições mais elevadas, com a FI a liderar na aparência e a FC no aroma e na apreciação global. A preferência marcada pela FI merece, contudo, uma nota de contextualização: esta formulação corresponde ao produto industrial sem glúten já desenvolvido pela *Porminho*®, e os provadores, recrutados no contexto laboral da empresa, podem ter familiaridade prévia com o produto, o que pode condicionar parcialmente as respostas.

A avaliação sensorial da farinheira aponta, em síntese, para três leituras com suporte nos dados. As formulações com trigo sarraceno não diferiram das formulações de referência em nenhum parâmetro avaliado, e a FTS-S atingiu o posto mais alto na cor, o que reforça a viabilidade sensorial desta farinha como substituto do glúten. A combinação de farinha de grão-de-bico com o sistema HPMC + fibra (FGB-HF) gerou o perfil hedónico mais fraco, com penalização detetável na cor e no aroma e confirmada pela rejeição maioritária na variável de menor agrado. A circunstância de a FGB-S, sem o sistema estruturante, ter obtido postos mais próximos das restantes formulações sugere que o efeito negativo é potenciado pela combinação da farinha de grão-de-bico com HPMC e fibra, independentemente da farinha isolada. A FI manteve uma posição dominante na preferência e na intenção de compra, refletindo o trabalho de otimização já realizado sobre esta formulação e sinalizando a necessidade de afinação adicional das formulações experimentais antes de validação com painel mais alargado.

A Figura 12 apresenta os postos médios de Friedman para os seis atributos sensoriais avaliados nos dois produtos. Na farinheira, apenas a cor e o aroma atingiram

significância estatística; na morcela, todos os atributos foram significativos, evidenciando maior separação sensorial entre formulações nesta matriz.

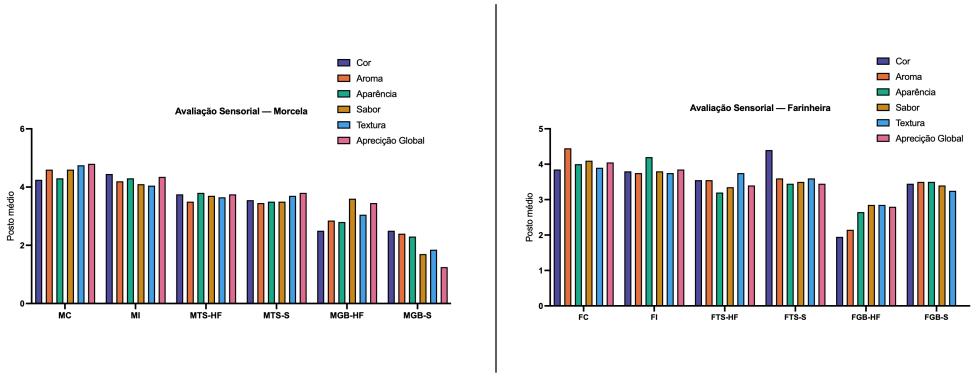

Figura 12— Postos médios de Friedman para os seis atributos sensoriais avaliados nas formulações de morcela (painel esquerdo) e farinheira (painel direito): cor, aroma, aparência, sabor, textura e apreciação global (n = 10 provadores não treinados).

4.3.2. Morcela

A avaliação sensorial da morcela decorreu na mesma sessão e com o mesmo painel de dez provadores utilizado para a farinheira, seguindo protocolo de apresentação e enquadramento estatístico idênticos aos descritos na secção anterior. As seis formulações avaliadas foram MC, MI, MTS-HF, MTS-S, MGB-HF e MGB-S.

O teste de Friedman revelou diferenças significativas entre formulações em todos os seis parâmetros avaliados (Tabela V.1, Apêndice V), com valores de χ^2 entre 11,482 para a aparência (p = 0,043) e 27,236 para a apreciação global (p < 0,001). O sabor (χ^2 = 18,413; p = 0,002) e a textura (χ^2 = 17,940; p = 0,003) registaram níveis de significância igualmente expressivos, e a cor (χ^2 = 14,895; p = 0,011) e o aroma (χ^2 = 14,714; p = 0,012) completaram o quadro. Este padrão contrasta com o da farinheira, onde apenas dois atributos tinham sido significativos, e indica que as formulações de morcela produziram perfis sensoriais suficientemente distintos para serem diferenciados em múltiplas dimensões mesmo com dez provadores.

A análise dos postos médios (Tabela W.1, Apêndice W) identifica dois polos bem definidos. A MGB-S registou os postos mais baixos em todos os atributos, com valores particularmente afastados das restantes formulações no sabor (1,70), na textura (1,85) e na apreciação global (1,25). No extremo oposto, MC e MI ocuparam as posições mais elevadas de forma consistente: a MC registou os postos máximos no aroma (4,60), no sabor (4,60), na textura (4,75) e na apreciação global (4,80), enquanto a MI liderou na

cor (4,45); na aparência, ambas obtiveram o mesmo posto (4,30). As formulações com trigo sarraceno posicionaram-se num nível intermédio sem penalizações expressivas em nenhum atributo. A MGB-HF ficou abaixo das formulações de referência e das de trigo sarraceno, com postos claramente superiores aos da MGB-S em todos os parâmetros.

As comparações de Wilcoxon, aplicadas desta vez aos seis atributos, não produziram resultados significativos após correção de Bonferroni, à semelhança do verificado na farinheira. Os valores de p antes de correção concentram-se de forma consistente nos pares que envolvem a MGB-S. Na apreciação global, os contrastes MGB-S face a MI (p = 0,005), MC (p = 0,007), MTS-HF (p = 0,007) e MGB-HF (p = 0,007) situaram-se muito próximos do limiar não ajustado. No sabor, os pares MGB-S face a MC (p = 0,011), MGB-HF (p = 0,012) e MI (p = 0,014) seguiram a mesma tendência. A repetição deste sinal em múltiplos atributos e múltiplos pares confere robustez prática às tendências observadas, apesar da ausência de significância formal.

O contraste entre MGB-HF e MGB-S constitui o dado com maior interesse tecnológico deste conjunto de resultados. As duas formulações partilham a mesma farinha, diferindo apenas na presença do sistema HPMC + fibra. A MGB-HF obteve postos médios substancialmente superiores em todos os atributos, com diferenças mais marcadas na textura (3,05 contra 1,85) e no sabor (3,60 contra 1,70). Na matriz da morcela com grão-de-bico, o sistema estruturante exerce uma função de compensação que se traduz numa melhoria sensorial percetível pelo painel. Na farinheira, o efeito foi inverso: a FGB-HF foi a formulação mais penalizada, enquanto a FGB-S obteve postos mais próximos das restantes. Esta inversão entre produtos indica que o comportamento do sistema HPMC + fibra depende da matriz em que é aplicado, com implicações diretas para a estratégia de formulação em cada enchido.

O teste Q de Cochran produziu resultados distintos para as duas variáveis analisadas. A preferência global não atingiu significância (Q = 10,400; df = 5; p = 0,065), enquanto a intenção de compra foi significativa (Q = 11,600; df = 5; p = 0,041). MC e MI dividiram de forma equilibrada as escolhas de preferência, com quatro provadores cada (40 %). Na intenção de compra, a MC obteve cinco respostas favoráveis (50 %) e a MI três (30 %). MTS-S e MGB-S não foram selecionadas por nenhum provador em qualquer das categorias positivas. A MGB-S foi identificada como a formulação de menor agrado por nove dos dez provadores, constituindo o sinal de rejeição mais expressivo registado em todo o estudo sensorial (Tabela X.1, Apêndice X).

As justificações espontâneas dos provadores são coerentes com os postos médios: quem elegeu a MC valorizou o equilíbrio entre os ingredientes e a textura característica da morcela tradicional; quem optou pela MI destacou a semelhança com o produto convencional. A MGB-S foi descrita de forma recorrentemente negativa, com referências a sabor ácido, textura pastosa e seca, e aroma desagradável; um provador classificou o sabor desta formulação como inaceitável.

Os resultados da morcela permitem três leituras ancoradas nos dados. A MC e a MI apresentaram desempenho hedónico equivalente e superior ao das restantes formulações em todos os atributos, confirmando que a substituição do glúten pela formulação industrial não comprometeu a aceitabilidade sensorial. As formulações com trigo sarraceno mantiveram um perfil intermédio e globalmente aceitável, posicionando-se como alternativas viáveis na perspetiva do consumidor. A MGB-S foi rejeitada de forma quase unânime, e a superioridade clara da MGB-HF demonstra que a viabilidade do grão-de-bico na morcela depende da presença do sistema HPMC + fibra; ainda assim, mesmo com o sistema estruturante, a MGB-HF não atingiu o patamar hedónico das formulações de referência ou das de trigo sarraceno, pelo que a sua adoção comercial exige otimização adicional.

A Figura 13 sintetiza os resultados do teste Q de Cochran para preferência global, intenção de compra e menor agrado nos dois produtos, permitindo uma comparação visual direta da distribuição de respostas entre formulações.

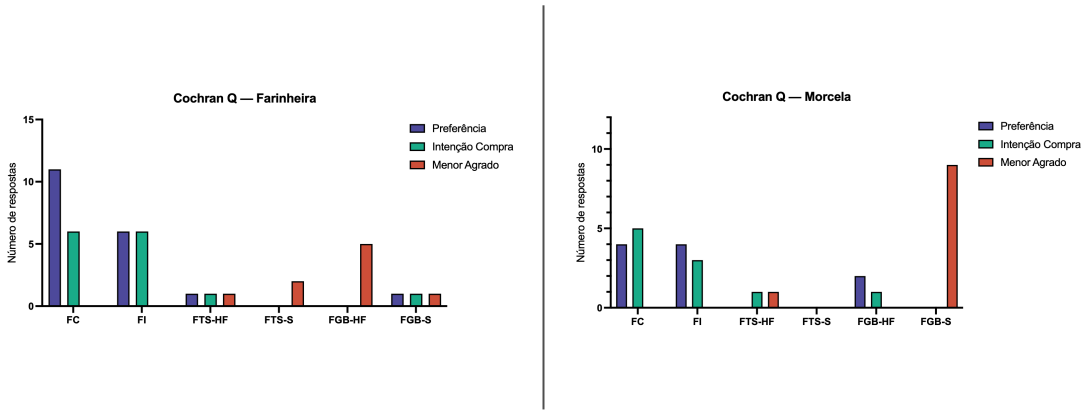

Figura 13— Resultados do teste Q de Cochran para preferência global, intenção de compra e menor agrado nas formulações de farinheira (painel esquerdo; Q = 14,0; p = 0,016) e morcela (painel direito; intenção de compra: Q = 11,6; p = 0,041). n = 10 provadores.

4.4. Estudo de Vida Útil

O estudo de vida útil (EVU) foi realizado sobre os produtos que atingiram escala de produção industrial durante o período de estágio: a farinheira industrial sem glúten (FI) e a morcela industrial sem glúten (MI). Em ambos os casos, o EVU decorreu em embalagem de atmosfera modificada (MAP), condição de acondicionamento adotada pela *Porminho*® para estes enchidos. A prioridade de arranque foi atribuída à FI por razões comerciais, dado ser o produto com necessidade de validação mais urgente para entrada em mercado. O EVU da MI foi iniciado posteriormente, não tendo sido concluído até ao término do período de estágio.

O protocolo foi idêntico para os dois produtos: 8 controlos temporais planeados, com envio de amostras para análise microbiológica em laboratório acreditado externo e realização de prova sensorial pelo mesmo painel em cada ponto de controlo. Os parâmetros microbiológicos avaliados foram a contagem de microrganismos a 30 °C e a contagem de bactérias lácticas, determinados por métodos normalizados. Os boletins analíticos foram confrontados com os critérios de qualidade e segurança microbiológica internos da empresa. A avaliação sensorial incidiu sobre aparência, cor, aroma, sabor e textura, com registo de aprovação ou rejeição global em cada controlo.

4.4.1. Farinheira industrial sem glúten (FI)

O EVU da FI foi estruturado em 8 controlos distribuídos ao longo de 145 dias, com início no dia de embalamento. Os resultados microbiológicos mantiveram-se dentro dos limites de aceitação internos em todos os oito controlos, sem registo de qualquer não conformidade. A contagem de microrganismos a 30 °C e a de bactérias lácticas evoluíram dentro dos intervalos esperados para um enchido embalado em atmosfera modificada e armazenado em refrigeração. Por razões de confidencialidade relativas às especificações internas da *Porminho*®, os valores analíticos obtidos em cada controlo não são apresentados neste trabalho.

A avaliação sensorial realizada em cada um dos 8 controlos apresentou resultados de aprovação consistentes. A validação foi efetuada pelo Departamento de I&D, de acordo com uma matriz de controlo previamente validada e aplicada nos EVU desenvolvidos pela empresa. Durante o período de acompanhamento, a FI manteve as suas características organoléticas de referência, segundo o painel ao longo das provas sensoriais, sem evidência de alterações organoléticas relevantes até ao Controlo 8. Juntamente com os resultados microbiológicos do laboratório acreditado a aprovação

de todos os controlos permitiu definir um prazo de validade de 145 dias para o produto acondicionado em embalagem de atmosfera modificada e conservado sob refrigeração, reforçando a sua viabilidade comercial enquanto solução de substituição da farinheira convencional com glúten.

4.4.2. Morcela industrial sem glúten (MI)

O EVU da MI foi iniciado após a conclusão do EVU da farinheira, seguindo o mesmo protocolo de 8 controlos em embalagem de atmosfera modificada. Até ao término do período de estágio, foram realizados 4 dos 8 controlos previstos, cobrindo 75 dias de armazenamento. Os resultados microbiológicos e sensoriais obtidos nos controlos realizados até essa data mantiveram-se dentro dos critérios de aceitação, sem não conformidades registadas. A conclusão do EVU da MI, incluindo os controlos remanescentes e o estabelecimento formal do prazo de validade, fica pendente para continuação após o período de estágio.

5. Aplicabilidade Industrial e Viabilidade

5.1. Requisitos para alegação *gluten-free*

A possibilidade de rotular um produto alimentar como isento de glúten está subordinada ao cumprimento de condições legalmente definidas ao nível europeu. O instrumento regulamentar vigente é o Regulamento de Execução (UE) n.º 828/2014 da Comissão, de 30 de julho de 2014, relativo aos requisitos de prestação de informações aos consumidores sobre a ausência ou a presença reduzida de glúten nos géneros alimentícios (69). Com a entrada em vigor deste regulamento, a partir de 20 de julho de 2016, o anterior Regulamento (CE) n.º 41/2009 foi revogado pelo Regulamento (UE) n.º 609/2013 (69, 86). As disposições substantivas sobre os limiares de glúten mantiveram-se inalteradas nessa transição; o Reg. (UE) n.º 828/2014 foi adotado precisamente para assegurar a sua continuidade no quadro do Regulamento (UE) n.º 1169/2011 relativo à prestação de informação alimentar aos consumidores (62, 69). O regulamento prevê duas menções expressamente autorizadas para descrever o teor de glúten de um produto. A menção "isento de glúten" só pode ser utilizada quando o género alimentício, tal como vendido ao consumidor final, não contenha mais de 20 mg/kg de glúten (69). A menção "teor muito baixo de glúten" aplica-se a géneros alimentícios constituídos por ou contendo ingredientes de trigo, centeio, cevada, aveia ou suas variedades cruzadas, especialmente transformados para reduzir o teor de glúten, desde que esse teor não

exceda 100 mg/kg no produto final (69). Nenhuma outra formulação linguística é admitida para descrever a ausência ou a redução de glúten; a lei reserva estas menções de forma exclusiva (69). O limiar de 20 mg/kg está alinhado com a norma internacional de referência, a Norma do Codex Alimentarius para Alimentos Destinados a Uso Dietético Especial por Pessoas com Intolerância ao Glúten, CXS 118-1979, adotada em 1979, revista em 2008 e emendada em 2015 (71). O próprio considerando o Reg. (UE) n.º 828/2014 refere que esta norma deve ser tida em devida conta para efeitos da aplicação do regulamento (69). A norma CXS 118-1979 define glúten como a fração proteica do trigo, centeio, cevada, aveia ou suas variedades cruzadas e derivados, insolúvel em água e em solução de cloreto de sódio a 0,5 M, e estabelece o mesmo limiar de 20 mg/kg para a designação *gluten-free* no produto tal como comercializado ao consumidor (71). Do ponto de vista analítico, a verificação da conformidade com o limiar legal exige métodos validados com sensibilidade e especificidade adequadas. A norma CXS 118-1979 designa o ELISA R5 Méndez como método de referência para a determinação de glúten em alimentos, com um limite de deteção igual ou inferior a 10 mg/kg (71). Este método utiliza um anticorpo monoclonal específico para a secalina do centeio, capaz de reconhecer uma sequência comum de aminoácidos presente nas proteínas do glúten do trigo, cevada e centeio. Desta forma, apresenta elevada sensibilidade na deteção destas prolaminas (87). O limite de deteção do sistema, estabelecido em 3,2 ppm de glúten, situa-se consideravelmente abaixo do limiar regulamentar de 20 mg/kg, e os coeficientes de variação inter- e intra-ensaio de 8,7 % e 7,7 %, respetivamente, confirmam a sua reprodutibilidade e repetibilidade (87). No presente trabalho, a determinação do teor residual de glúten nas formulações sem glúten desenvolvidas seguiu este enquadramento metodológico, e os resultados obtidos confirmaram a conformidade com o limiar de 20 mg/kg, conforme apresentado na secção 4.2.4. O Reg. (UE) n.º 828/2014 prevê ainda que a menção "isento de glúten" possa ser acompanhada das indicações "adequado a pessoas com intolerância ao glúten" ou "adequado a pessoas com doença celíaca" (69). Quando o produto tiver sido especificamente produzido, preparado ou transformado para reduzir o teor de glúten dos seus ingredientes ou para substituir esses ingredientes por outros naturalmente isentos de glúten, é ainda admissível a indicação "especialmente formulada para pessoas com intolerância ao glúten" ou "especialmente formulado para pessoas com doença celíaca" (69). As formulações FI e MI, desenvolvidas para este trabalho, enquadram-se nesta segunda categoria, dado resultarem de uma reformulação tecnológica deliberada com substituição total do glúten, e não de produtos naturalmente isentos desta fração proteica.

5.2. Viabilidade de implementação industrial

A transição para um modelo de produção isento de glúten não se esgota na reformulação dos produtos. Implica repensar um conjunto de condições operacionais que, em conjunto, determinam se a solução tecnológica desenvolvida é sustentável à escala industrial.

O desenvolvimento das formulações sem glúten não seguiu um percurso linear. O ponto de maior dificuldade foi a combinação das farinhas e a proporção de água: sem o glúten, foi necessário encontrar uma mistura que devolvesse à massa a consistência necessária ao fabrico sem descaracterizar o produto. A resposta foi um processo iterativo de tentativa e ajuste, em que cada ensaio era avaliado por um painel de técnicos da produção em prova cega, cujos resultados orientavam os acertos seguintes. O controlo da secagem e da quebra de peso também exigiu afinação, sobretudo na farinheira. Do ponto de vista da infraestrutura, a substituição não requereu investimento em novos equipamentos nem alterações ao layout da linha, o que reduz significativamente a barreira de entrada para qualquer empresa que pretenda adotar uma abordagem semelhante.

O ponto de partida é a seleção e qualificação das matérias-primas. A substituição da farinha de trigo por alternativas sem glúten exige que todos os ingredientes incorporados na formulação sejam provenientes de fornecedores com controlo documentado da ausência de glúten, incluindo programas de gestão de alergénios que abranjam os processos produtivos do próprio fornecedor e não apenas o produto acabado que expedem. O Código de Boas Práticas do *Codex Alimentarius* para a Gestão de Alergénios por Operadores da Cadeia Alimentar recomenda que os fabricantes avaliem os programas de controlo de alergénios dos seus fornecedores por via de questionários, auditorias ou certificados de análise por lote, e estabeleçam procedimentos para receberem notificação atempada de quaisquer alterações que possam afetar o perfil alergénico do ingrediente fornecido (88). Esta recomendação aplica-se diretamente ao contexto da *Porminho*®, onde a conformidade com o limiar de 20 mg/kg estabelecido pelo Regulamento de Execução (UE) n.º 828/2014 para a menção "sem glúten" depende da integridade alergénica de toda a cadeia de abastecimento, e não apenas dos controlos internos (69). As fichas técnicas dos ingredientes utilizados nas formulações FI e MI declaram ausência de glúten e proveniência de linhas de produção controladas, condição necessária, mas não suficiente sem verificação analítica no produto final, realizada por laboratório externo acreditado.

Do ponto de vista da instalação produtiva, a eliminação do glúten de toda a linha de fabrico constitui um aspeto central do posicionamento estratégico adotado neste projeto. Esta abordagem, mais exigente do que a simples produção de um produto sem glúten em linha partilhada, tem a vantagem de eliminar a necessidade de validação de protocolos de higienização entre produções com e sem glúten, simplificando os procedimentos operacionais e reduzindo o risco residual associado à contaminação cruzada. A dedicação integral de linhas de produção a produtos com um determinado perfil alergénico, quando viável, constitui a medida de controlo com maior eficácia na prevenção da contaminação cruzada, precisamente porque elimina a variabilidade associada à eficácia de limpeza entre produções consecutivas (88). Na prática, as únicas fontes de glúten presentes na instalação são as formulações controlo FC e MC, produzidas em contexto experimental, mas não integradas no portefólio comercial da empresa. As implicações deste posicionamento ao nível dos procedimentos de higienização e formação de colaboradores são desenvolvidas na secção 5.3.1.

O processo produtivo em si não requereu alterações estruturais de equipamento. Os ajustes introduzidos concentraram-se na proporção dos ingredientes farináceos e na quantidade de água incorporada, necessários para compensar o comportamento reológico distinto das farinhas sem glúten face à farinha de trigo, conforme descrito no Capítulo 3. Este facto é industrialmente relevante: a viabilidade da substituição não depende de investimento em novos equipamentos nem de modificações ao layout da linha, o que reduz a barreira de entrada do ponto de vista da infraestrutura. Os parâmetros de secagem foram igualmente afinados, sobretudo no controlo da quebra de peso, mas sem alteração dos parâmetros estruturais do processo.

O caderno de especificações da Farinheira de Estremoz e Borba prescreve farinha de trigo como ingrediente obrigatório (10). A farinheira da Porminho®, enquanto produto de marca industrial sem vínculo a qualquer denominação protegida, não está sujeita a essa restrição, o que confere margem plena para a reformulação (1). No caso da morcela, a distinção é ainda mais clara, dado que o caderno de especificações da Morcela de Cozer de Portalegre IGP não inclui qualquer componente cerealífero na formulação, ao passo que a morcela da Porminho® incorpora farinha de trigo na sua receita comercial (17). A reformulação sem glúten incide, portanto, sobre um ingrediente que não faz parte da tradição IGP deste produto.

Os resultados obtidos na caracterização das formulações industriais FI e MI confirmam que as soluções desenvolvidas são tecnologicamente viáveis. As duas formulações

apresentaram propriedades texturais estatisticamente equivalentes às formulações controlo nos parâmetros mais relevantes para a identidade do produto, conforme apresentado na secção 4.2.2. A avaliação sensorial descrita na secção 4.3 mostrou que a FI foi a formulação mais escolhida tanto na preferência global como na intenção de compra, com seis em dez provadores a selecioná-la em ambas as categorias. A MI, por sua vez, não diferiu sensorialmente da MC em nenhum dos seis atributos avaliados. A conformidade com o limiar legal de 20 mg/kg foi confirmada por análise laboratorial externa nas duas formulações industriais.

A validação da vida útil constitui outro requisito indispensável para a viabilidade comercial. O estudo conduzido com a FI ao longo de 145 dias em embalagem de atmosfera modificada confirmou que o produto manteve conformidade microbiológica e aceitabilidade sensorial em todos os oito controlos realizados, sem qualquer não conformidade registada, conforme apresentado na secção 4.4.1. Este resultado estabelece um prazo de validade com suporte analítico e sensorial equiparável ao do produto convencional, condição necessária para que a substituição não implique penalização do tempo de prateleira.

Em síntese, os dados obtidos neste trabalho indicam que a implementação industrial das formulações sem glúten é viável sem alterações estruturais ao processo produtivo, desde que sejam asseguradas a qualificação de fornecedores, a segregação operacional e a verificação analítica do produto final. O scale-up para FI e MI foi concretizado durante o período de estágio, o que transforma a viabilidade de um cenário teórico numa realidade demonstrada em contexto de produção.

5.3. Segurança alimentar e controlo de perigos

A produção de géneros alimentícios sem glúten com posicionamento *allergen-free* coloca exigências específicas ao nível do controlo de perigos que vão além das boas práticas de higiene gerais. O Regulamento (CE) n.º 852/2004 do Parlamento Europeu e do Conselho impõe a todos os operadores do sector alimentar a criação, aplicação e manutenção de processos permanentes baseados nos princípios HACCP, incluindo a identificação dos perigos relevantes, o estabelecimento de pontos críticos de controlo e a implementação de medidas corretivas quando necessário, com documentação adequada em todas as etapas (69). No contexto do presente projeto, os alergénios constituem o perigo alimentar de maior relevância operacional, uma vez que o objetivo declarado é a eliminação total do glúten da instalação produtiva. As medidas concretas adotadas para a sua gestão são descritas na secção 5.3.1.

5.3.1. Gestão de alergénios e prevenção de contaminação cruzada

A gestão de alergénios num estabelecimento com posicionamento *allergen-free* exige uma abordagem sistemática que abranja a totalidade do processo produtivo, desde a receção de matérias-primas até à expedição do produto acabado. O Código de Boas Práticas do Codex Alimentarius para a Gestão de Alergénios por Operadores da Cadeia Alimentar estabelece que o controlo de alergénios deve integrar as boas práticas de higiene e, sempre que adequado, os sistemas baseados nos princípios HACCP, e que as medidas implementadas devem ser proporcionais ao risco identificado em cada fase do processo (88).

No que respeita à cadeia de abastecimento, a qualificação de fornecedores constitui a primeira linha de controlo, conforme já descrito na secção 5.2. A conformidade declarada nas fichas técnicas dos ingredientes não dispensa a verificação analítica periódica, dado que a contaminação cruzada por glúten pode ocorrer em múltiplos pontos da cadeia, incluindo nas instalações do próprio fornecedor (88). A verificação da conformidade com o limiar de 20 mg/kg estabelecido pelo Regulamento de Execução (UE) n.º 828/2014 no produto final, através de análise por laboratório externo acreditado, constitui, neste enquadramento, tanto um requisito regulamentar como um instrumento de verificação da eficácia do sistema de controlo implementado (69).

Ao nível da instalação produtiva, a estratégia adotada centrou-se na eliminação das fontes de glúten da linha de fabrico, o que elimina a necessidade de validação de protocolos de higienização entre produções com e sem glúten. Esta opção está alinhada com a orientação do Codex Alimentarius, segundo o qual a dedicação de linhas de produção a produtos com um determinado perfil alergénico é a medida de controlo de maior eficácia, precisamente porque suprime a variabilidade associada à eficácia de limpeza entre produções consecutivas (88). Quando a dedicação integral não é possível, o código recomenda a separação temporal das produções por perfil alergénico e a implementação de procedimentos de higienização validados entre mudanças de produto, incluindo inspeção visual e, quando adequado, verificação analítica das superfícies de contacto (88).

A formação dos colaboradores é outro pilar central de qualquer sistema de gestão de alergénios (73). O Regulamento n.º 852/2004 estipula que os responsáveis pela aplicação dos princípios HACCP disponham de formação adequada, e que o pessoal que manuseia alimentos seja supervisionado e possua instrução compatível com as funções que desempenha (73). O CXC 80-2020 reforça esta obrigação, estabelecendo

que todos os trabalhadores envolvidos na produção devem compreender as consequências para a saúde da presença não declarada de alergénios, conhecer os pontos do processo onde a contaminação cruzada pode ocorrer e estar familiarizados com os procedimentos de higienização e boas práticas operacionais aplicáveis (88). No contexto do presente trabalho, esta vertente foi operacionalizada através da elaboração de um manual prático de gestão de alergénios, especificamente concebido para o contexto produtivo da *Porminho*®, desenvolvido com o objetivo de uniformizar procedimentos, tornar a informação relevante acessível no momento e no local onde as decisões operacionais são tomadas, e reforçar a consciência dos operadores para os riscos associados à presença de alergénios não declarados. No âmbito deste trabalho foi desenvolvido um folheto de boas práticas para prevenção de contaminações cruzadas por alergénios (Apêndice Y), destinado a afixação na zona de produção e concebido como ferramenta de apoio à implementação das medidas de gestão de alergénios previstas (Codex CXC 80-2020) (88) e no Reg. (CE) n.º 852/2004 (89).

5.4. Análise de custos

A viabilidade económica de qualquer reformulação alimentar depende, em última análise, da capacidade de manter uma estrutura de custos compatível com o posicionamento comercial do produto. No âmbito do presente trabalho foi realizada uma simulação de custeio para as 12 formulações desenvolvidas, com base nos mapas de custos de produto utilizados internamente. A metodologia adotada contemplou todas as componentes do custo industrial, matérias-primas e ingredientes, embalagem, logística e custos fixos, calculadas por quilograma de produto acabado, o que permite uma comparação direta e tecnicamente rigorosa entre formulações.

Os resultados da simulação mostram que a substituição do glúten pela formulação industrial sem glúten, correspondente às formulações FI e MI, implica um acréscimo de custo marginal face aos produtos de referência, abaixo dos 3 % para a farinheira e abaixo de 1 % para a morcela. Este dado é particularmente relevante do ponto de vista da viabilidade industrial, uma vez que a reformulação com posicionamento *allergen free* pode ser concretizada sem impacto económico significativo nas duas referências que avançaram para produção à escala industrial.

As formulações experimentais com farinhas alternativas apresentam variações de custo mais expressivas, cerca de 14 % e 37 % face ao controlo, dependendo da farinha utilizada e da presença ou ausência do sistema hidrocolóide-fibra. Em ambos os produtos, as formulações com sistema H+F registaram custos superiores às

formulações sem esse sistema, o que é consistente com o custo unitário do HPMC e da fibra vegetal enquanto ingredientes funcionais de nicho. Entre as farinhas alternativas, o trigo sarraceno apresenta custos superiores ao grão-de-bico nas formulações equivalentes, para ambos os produtos.

Estas formulações são protótipos em fase inicial, ou seja, os custos apresentados refletem esse contexto e não incorporam otimizações de formulação, ganhos de escala nem renegociação com fornecedores, variáveis que numa implementação industrial real teriam impacto direto nos valores finais.

5.4.1. Integração no portefólio da empresa

A farinheira e a morcela pertencem ao segmento de tradição da *Porminho*®, com distribuição em múltiplos canais, presença em mercados externos e oferta tanto em embalagem de consumo como em formato profissional. Não são produtos sazonais, estão no catálogo ao longo do ano, o que significa que qualquer alteração à sua formulação tem efeito imediato e contínuo na produção.

À data de arranque deste projeto, o portefólio da empresa não incluía nenhum produto com alegação *sem glúten*. A farinheira e a morcela comercializadas continham farinha de trigo com glúten na composição declarada, alergénio de menção obrigatória na rotulagem ao abrigo do Regulamento (UE) n.º 1169/2011 (62). A estratégia definida foi de substituição total: retirar o glúten das instalações produtivas, e não acrescentar variantes sem glúten ao lado das versões existentes. Para uma empresa com certificação IFS Food e ISO 9001, esta mudança de estatuto alérgico tem implicações diretas na documentação de fornecedores, na rastreabilidade e nos planos de controlo.

Os dois produtos não chegam ao portefólio ao mesmo tempo. A farinheira sem glúten, FI, concluiu o processo de desenvolvimento e escalonamento e está aprovada para produção comercial. A morcela sem glúten, MI, encontra-se em estudo de vida útil, ainda em curso no decurso do presente estágio, com entrada prevista após validação. A eliminação total do glúten da unidade produtiva fica assim dependente da conclusão deste estudo e da subsequente aprovação da MI para produção regular.

Tanto a farinheira como a morcela mantêm o nome e a categoria comercial após a reformulação. O que se altera é a composição declarada na rotulagem: o glúten deixa de figurar entre os ingredientes, passando as duas referências a reunir as condições para ostentar a alegação *sem glúten* ao abrigo do Reg. de Execução (UE) n.º 828/2014 (69), algo que nenhum produto da empresa dispunha até à data.

5.4.2. Benchmarking de mercado

Para contextualizar o posicionamento comercial dos produtos desenvolvidos, realizou-se um levantamento da oferta existente de farinheira e morcela sem glúten no mercado nacional. A análise incidiu sobre produtos disponíveis na grande distribuição e no retalho especializado, com base na composição declarada e na rotulagem de cada referência identificada.

Na farinheira, apenas se identificou uma referência com alegação *sem glúten* no mercado português, pertencente a uma marca de âmbito nacional e comercializada em paralelo com a versão convencional da mesma marca. A lista de ingredientes declara farinha de trigo sem glúten como segundo ingrediente, acompanhada de emulsionantes e antioxidantes, um perfil que se distingue da abordagem *clean-label* que orientou o desenvolvimento da FI. A oferta neste segmento é, portanto, muito reduzida, o que significa que a *Porminho*® não entra num mercado disputado, mas num espaço com concorrência praticamente inexistente.

O levantamento documentado pelo INIAV junto de produtores artesanais reforça esta leitura: no concelho de Gavião, por exemplo, a farinheira já incorpora farinha de milho e de centeio em vez de trigo (12), o que mostra que a base cerealífera do produto nunca foi fixa e que a eliminação do glúten se inscreve numa tradição de adaptação local dos ingredientes (12).

Na morcela, o levantamento não identificou qualquer produto com alegação "sem glúten" entre as referências disponíveis nos canais analisados. Os produtos presentes no mercado declaram maioritariamente farinha de trigo ou pão ralado na sua composição, sem qualquer versão alternativa isenta de glúten. Identificou-se ainda uma morcela de origem vegetal, de nicho, que embora não contenha ingredientes de origem animal não constitui um substituto direto no segmento tradicional, tratando-se de uma lógica de inovação distinta, por substituição proteica. A ausência de morcela GF no mercado nacional coloca a MI, quando concluir o estudo de vida útil e entrar em produção, numa posição de primeiro entrante numa categoria onde essa posição raramente está disponível.

Olhando para os dois segmentos em conjunto, a oferta GF em enchidos tradicionais portugueses é quase nula. Provavelmente não por falta de procura — o crescimento da dieta GF, por razões que vão além da necessidade clínica, tratado no subcapítulo 5.4.3, aponta nesse sentido —, mas pela dificuldade técnica de reformular produtos com forte dependência de farinhas com glúten, e pela resistência habitual a alterar formulações

com identidade consolidada. O presente trabalho mostrou que nenhum destes obstáculos é intransponível.

5.4.3. Oportunidades e barreiras comerciais

A procura por produtos sem glúten cresceu muito além do grupo de pessoas com doença celíaca. Dados do National Health and Nutrition Examination Survey mostram que entre 2009-2010 e 2013-2014 a proporção de adultos norte-americanos sem diagnóstico de doença celíaca a seguir uma dieta GF triplicou, passando de 0,52 % para 1,69 %, e que em 2013 cerca de 30 % dos adultos nos EUA declaravam tentar minimizar ou evitar o glúten na alimentação (90). A maioria destas pessoas não tem qualquer indicação clínica para o fazer; a motivação é sobretudo a perceção de que o glúten é prejudicial ou de que a sua exclusão torna a dieta mais saudável, perceções sem suporte científico consistente, mas com impacto real no comportamento de compra (91). O mercado europeu não é imune a esta dinâmica, e o crescimento da oferta GF nas grandes superfícies portuguesas nos últimos anos é sinal suficiente de que a tendência chegou.

Para a *Porminho®,* isto significa que os dois produtos reformulados não se dirigem apenas a celíacos. Há um segmento de consumidores que procura ativamente produtos com rótulos mais limpos e listas de ingredientes mais curtas, e que vai comprar uma farinheira ou uma morcela sem glúten simplesmente porque prefere produtos sem alergénios declarados, mesmo que nunca tenham tido qualquer problema com o glúten. Este segmento é menos fiel por necessidade, mas responde bem à comunicação de produto clara. Paralelamente, os consumidores com doença celíaca ou sensibilidade ao glúten não celíaca representam um nicho com fidelidade muito alta, pois quando encontram um produto que podem comer sem restrições, não o abandonam facilmente. Enchidos tradicionais portugueses sem glúten são uma raridade no mercado, o que dá à *Porminho®* uma posição de vantagem real neste segmento.

A distribuição em mercados externos acrescenta outra camada de oportunidade, particularmente nos mercados do norte e centro da Europa, onde a consciência GF está mais enraizada e a procura por produtos tradicionais portugueses tem crescido. O facto de a farinheira e a morcela de Estremoz e Borba constarem da lista de IGP protegidas ao abrigo do acordo bilateral entre a UE e a Suíça (20) confirma o reconhecimento internacional destas denominações e pode funcionar como fator de diferenciação num segmento onde a oferta GF em enchidos tradicionais é praticamente inexistente.

Ainda assim, as barreiras existem e não são triviais. A mais imediata é económica: manter o estatuto *allergen free* tem custos, ingredientes certificados, controlo analítico regular, qualificação de fornecedores, e esses custos tendem a refletir-se no preço ao consumidor (92). No caso concreto desta reformulação, a análise de custeio descrita na secção 5.4 mostrou que o impacto é marginal para as formulações que avançaram para produção comercial, o que retira pressão sobre o preço final. No entanto, a sustentabilidade desse equilíbrio depende da estabilidade da cadeia de fornecimento, porque qualquer substituição de matéria-prima certificada obriga a revalidação, e essa rigidez é um risco operacional que a empresa terá de gerir a longo prazo.

A segunda barreira é mais subtil e provavelmente mais difícil de resolver por via técnica. Os consumidores habituais de farinheira e morcela têm uma relação com estes produtos construída ao longo de anos, e a palavra "reformulação", mesmo que o produto final seja indistinguível, pode gerar desconfiança. A alegação "sem glúten" na rotulagem é o argumento comercial principal, ao abrigo do enquadramento regulamentar já citado no presente capítulo (69).

Os resultados deste trabalho demonstram que a *Porminho*® dispõe da capacidade técnica para entrar neste segmento com dois produtos reformulados, sem necessidade de investimento em equipamento adicional e mantendo a identidade sensorial e cromática dos produtos atuais. A FI apresentou equivalência estatística ao controlo FC nos principais parâmetros texturais, foi preferida por seis dos dez provadores em preferência global e intenção de compra, confirmou conformidade com o limiar legal de 20 mg/kg por análise laboratorial externa e completou um estudo de vida útil de 145 dias sem não-conformidades. A reformulação em perfil *clean label*, sem conservantes, corantes ou aditivos declarados, reforça o posicionamento nos segmentos de consumidores mais exigentes na leitura do rótulo, que tendem a concentrar-se precisamente nos mercados de produtos sem alergénios.

6. Conclusões

6.1. Principais conclusões

O presente trabalho teve como propósito desenvolver e avaliar formulações de farinheira e morcela sem glúten em contexto industrial, com o objetivo de eliminar este alergénio da totalidade das instalações produtivas da *Porminho*®. O percurso organizou-se em duas fases, das quais resultaram doze formulações distribuídas pelos dois produtos.

A primeira fase teve como finalidade desenvolver, de raiz, uma formulação industrial sem glúten para cada produto, destinada a substituir as referências atualmente comercializadas. Para a farinheira, este desenvolvimento exigiu sete ensaios piloto sucessivos, ao longo dos quais se foi afinando a combinação de farinha de arroz e amido de milho como base estruturante, bem como a água incorporada na massa, até se obter a formulação FI. Esta atingiu a escala industrial, concluiu o estudo de vida útil com 145 dias de conformidade e está aprovada para entrada em mercado, dependendo apenas do escoamento do stock atual de ingredientes com glúten e da atualização da rotulagem. Para a morcela, a aprendizagem acumulada no desenvolvimento da farinheira, somada à maior tolerância da matriz sanguínea à substituição da fração farinhenta, permitiu validar a formulação MI num único ensaio piloto, com recurso a farinha de arroz, amido de milho e farinha de milho. A MI atingiu igualmente a escala industrial e aguarda a conclusão do estudo de vida útil para seguir o mesmo percurso comercial.

Sobre esta base, desenvolveram-se dez formulações experimentais organizadas em três eixos comparativos: o efeito da substituição do glúten, o efeito do tipo de farinha alternativa (trigo sarraceno ou grão-de-bico) e o efeito de um sistema funcional composto por HPMC e fibra vegetal. A substituição do glúten revelou-se tecnologicamente viável nos dois produtos. As formulações FI e MI mantêm o perfil sensorial dos controlos, cumprem o limiar legal de 20 mg/kg confirmado por análise externa e apresentam equivalência composicional e textural nos parâmetros mais relevantes para a identidade do produto.

Entre as farinhas alternativas, o trigo sarraceno preserva a tonalidade alaranjada característica da farinheira e mantém o perfil textural próximo do controlo. O grão-de-bico introduz vantagem nutricional clara, com maior teor proteico e mineral, mas atenua significativamente a componente vermelha da farinheira, atributo identitário deste produto. Na morcela, em que o pigmento sanguíneo domina o sinal cromático e a fração farinhenta tem peso relativo menor, a escolha entre as duas farinhas é praticamente neutra do ponto de vista cromático e textural.

O sistema HPMC e fibra vegetal teve comportamento dependente da matriz. Na farinheira contribuiu para o aumento da humidade retida e da luminosidade, com tendência consistente para maior coesão da pasta. Na morcela com grão-de-bico funcionou como compensação funcional e sensorial, mas na morcela com trigo sarraceno detetou-se uma interferência específica com a gelificação proteica do plasma, traduzida em coesividade e elasticidade significativamente inferiores. Este achado,

inesperado, mostra que o efeito de sistemas funcionais em matrizes cárneas sem glúten depende de interações entre os próprios ingredientes e não apenas das suas propriedades isoladas.

A avaliação sensorial confirmou a leitura instrumental. Na farinheira, a FI foi a preferida por seis dos dez provadores e a FGB-HF concentrou as rejeições mais expressivas na cor e no aroma. Na morcela, MC e MI dividiram as preferências e a MGB-S foi identificada como a menos apreciada por nove dos dez provadores. As formulações com trigo sarraceno mantiveram um perfil sensorial intermédio em ambos os produtos.

A leitura conjunta dos três eixos mostra que o impacto da substituição do glúten depende mais da matriz do produto do que do substituto escolhido, e que decisões de formulação aparentemente genéricas, como a inclusão de um sistema hidrocolóide-fibra, podem ter resultados qualitativamente opostos consoante o produto. Para a *Porminho*®, este conhecimento traduz-se em duas formulações industriais aptas a substituir os produtos convencionais nas próprias linhas de fabrico, e na demonstração de que o caminho da reformulação não precisa de ser uniforme entre referências do mesmo portefólio.

6.2. Contributos do trabalho

Do ponto de vista industrial, o trabalho entregou à *Porminho*® duas formulações sem glúten validadas em escala de produção. A FI concluiu o ciclo completo de desenvolvimento, validação tecnológica, avaliação sensorial e estudo de vida útil, estando aprovada para entrada em mercado. A MI atingiu igualmente a escala de produção e mantém todos os critérios de aceitação nos controlos realizados até à data. Ambas cumprem o limiar regulamentar de 20 mg/kg, confirmado por laboratório externo acreditado, e foram desenvolvidas sob critérios de *clean label*.

A par das formulações, o trabalho contribuiu para a operacionalização do posicionamento *allergen-free* da unidade fabril. A substituição total do glúten elimina a necessidade de validar protocolos de higienização entre produções com e sem glúten, simplifica a gestão da cadeia de fornecimento e reduz o risco de contaminação cruzada. O manual de gestão de alergénios elaborado durante o estágio encontra-se afixado na zona de produção e constitui documento de consulta permanente para os colaboradores. A simulação de custeio demonstrou que o impacto económico das duas referências industrializadas é marginal, abaixo de 3 % na farinheira e de 1 % na morcela face aos controlos com glúten, o que confirma a sustentabilidade comercial da reformulação. O levantamento de mercado posiciona a *Porminho*® como primeiro

entrante numa categoria praticamente vazia em Portugal, em particular no caso da morcela sem glúten, onde não foi identificada qualquer referência concorrente.

Do ponto de vista técnico, o trabalho oferece uma caracterização sistemática de duas farinhas alternativas em duas matrizes cárneas tradicionais portuguesas, dimensão ainda pouco explorada na literatura. A identificação da interferência entre HPMC e farinha de trigo sarraceno na morcela é um resultado novo, com potencial de aprofundamento, e a evidência de que a substituição do glúten produz efeitos qualitativamente diferentes consoante a matriz reforça que o desenvolvimento de produtos sem glúten em enchidos tradicionais beneficia de uma abordagem produto a produto.

6.3. Perspetivas de trabalho futuro

O estudo de vida útil da morcela industrial MI continua em curso. Foi iniciado depois de concluído o estudo equivalente para a farinheira e, dada a duração natural deste tipo de protocolo e o acompanhamento simultâneo dos dois produtos durante o estágio, não foi possível encerrá-lo no período disponível. A monitorização prossegue até à realização dos restantes controlos previstos, e a sua conclusão é condição necessária para o lançamento comercial da MI e para a eliminação efetiva do glúten do portefólio.

Há também resultados deste trabalho que merecem ser aprofundados. A determinação do teor residual de glúten incidiu apenas nas formulações FI e MI, por terem sido essas a chegar à produção industrial, e foi realizada por laboratório externo acreditado. Estender essa análise às dez formulações experimentais e às próprias farinhas alternativas utilizadas como matéria-prima permitiria documentar a conformidade analítica de todo o conjunto e verificar a ausência de contaminação cruzada na origem, fator particularmente relevante no caso do trigo sarraceno, em que estudos de mercado têm reportado taxas de não conformidade superiores às de outros ingredientes naturalmente isentos de glúten. Esta análise pode ser conduzida internamente, com recurso ao método ELISA R5 Méndez, designado como método de referência pela Norma CXS 118-1979 do Codex Alimentarius e com limite de deteção igual ou inferior a 10 mg/kg, abaixo do limiar regulamentar dos 20 mg/kg. A implementação deste método no laboratório da empresa reduziria a dependência de análises externas, encurtaria os prazos de resposta e tornaria a monitorização do glúten residual num controlo de rotina em vez de num teste pontual. A avaliação sensorial foi feita com um painel de dez provadores não treinados, dimensão que limita o poder estatístico das

comparações e impede a deteção formal de diferenças que, à luz dos postos médios, são tecnologicamente relevantes. Uma validação com painel mais alargado e idealmente treinado seria o passo natural para confirmar as tendências aqui detetadas, sobretudo as relativas à FGB-HF e à MGB-HF, e para permitir uma caracterização sensorial descritiva que este estudo não chegou a contemplar.

A interferência entre HPMC e farinha de trigo sarraceno na morcela é dos resultados mais interessantes do trabalho e merece estudo dedicado. Perceber se este efeito resulta de competição pela água disponível, de interações entre o polissacarídeo e a fração proteica do sarraceno, ou de uma perturbação da rede do plasma durante a gelificação térmica, exigiria estudos de microestrutura e de reologia fora do âmbito de um estágio curricular, mas que abrem uma linha de investigação com interesse para além do contexto industrial em que este trabalho decorreu.

Há ainda direções de continuidade que decorrem naturalmente do que aqui se fez. Aplicar a mesma metodologia comparativa a outros enchidos tradicionais portugueses dependentes do glúten, como a alheira ou o chouriço de massa, alargaria o conhecimento gerado a uma parte mais ampla do património cárneo nacional. Avaliar combinações binárias das farinhas alternativas, em vez do uso isolado adotado neste estudo, podia explorar sinergias entre o perfil cromático do trigo sarraceno e a densidade proteica do grão-de-bico. E complementar a caracterização nutricional feita por NIR com estudos de digestibilidade proteica in vitro permitiria aferir o impacto real da reformulação sobre a biodisponibilidade dos nutrientes, dimensão particularmente relevante quando se introduzem proteínas vegetais em matrizes cárneas.

Em síntese, este trabalho cumpriu o objetivo central do estágio: dotar a *Porminho*® de formulações sem glúten validadas para os dois enchidos tradicionais alvo, com base experimental sólida e percurso de implementação industrial em curso. As farinheiras e as morcelas que sairão da linha sem glúten são as mesmas em sabor, em aspeto e em nome. O que muda está no detalhe do percurso, e foi esse cuidado em olhar cada produto pelos seus próprios critérios, e não como variações de uma receita comum, que tornou o resultado tecnicamente sólido e operacionalmente viável.

7. Referências Bibliográficas

1. Porminho. Sobre nós: Porminho; 2026 [23 June 2026]. Available from: https://www.porminho.pt/sobre_nos/.
2. Zhang M, Jia R, Ma M, Yang T, Sun Q, Li M. Versatile wheat gluten: functional properties and application in the food-related industry. Crit Rev Food Sci Nutr. 2023;63(30):10444–60.
3. Marcos C, Viegas C, de Almeida AM, Guerra MM. Portuguese traditional sausages: different types, nutritional composition, and novel trends. Journal of Ethnic Foods. 2016;3(1):51–60.
4. Lebwohl B, Rubio-Tapia A. Epidemiology, Presentation, and Diagnosis of Celiac Disease. Gastroenterology. 2021;160(1):63–75.
5. Rocillo-Aquino Z, Cervantes-Escoto F, Leos-Rodríguez JA, Cruz-Delgado D, Espinoza-Ortega A. What is a traditional food? Conceptual evolution from four dimensions. Journal of Ethnic Foods. 2021;8(1):38.
6. Council of the European Union. Council Regulation (EC) No 509/2006 of 20 March 2006 on agricultural products and foodstuffs as traditional specialities guaranteed. In: Union CotE, editor. Brussels: Official Journal of the European Union; 2006. p. 1–11.
7. Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Caderno de especificações da Farinheira da Beira Baixa [Internet]. Lisboa: Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural; 1999 [Available from: https://tradicional.dgadr.gov.pt/images/prod_imagens/carne/docs/ce_feb.pdf.
8. Instituto Português da Qualidade. Carnes, derivados e produtos cárneos — Farinheira: Definição, características e acondicionamento. Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade; 2009.
9. Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Farinheira de Estremoz e Borba IGP [Institutional webpage / Product specification page]. Lisboa, Portugal: Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR); [Available from: https://tradicional.dgadr.gov.pt/pt/cat/salsicharia-fumados-presuntos-e-paletas/589-farinheira-de-estremoz-e-borba-igp.
10. Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Produtos Tradicionais Portugueses Lisboa, Portugal: Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR); [Available from: https://tradicional.dgadr.gov.pt/pt/.
11. Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Farinheira de Portalegre IGP Lisboa, Portugal: Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR); [Available from: https://tradicional.dgadr.gov.pt/pt/cat/salsicharia-fumados-presuntos-e-paletas/606-farinheira-de-portalegre-igp.
12. Santos C, Roseiro C. Salsicharia Tradicional Portuguesa - Catálogo dos produtos da Região do Alentejo. Oeiras, Portugal: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária; 2018.
13. Freitas do Amaral P. A farinheira, o disfarce saboroso dos judeus portugueses do Séc. XVI. Jornal Comunidades Lusófonas. 2025.
14. Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural. Morcela da Guarda Lisboa, Portugal: Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR); [Direção–Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural]. Available from: https://tradicional.dgadr.gov.pt/pt/cat/salsicharia-fumados-presuntos-e-paletas/409-morcela-da-guarda.
15. Seema LP, Mashau ME, Moholisa E. Nutritional composition, shelf life, and sensory characteristics of blood sausages: a review. Cogent Food & Agriculture. 2026;12(1):2600702.

16. Instituto Português da Qualidade. Carnes, derivados e produtos cárneos — Morcela: Definição, classificação e características. Norma Portuguesa. Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade; 2009.
17. Agrupamento de Produtores de Enchidos de Portalegre L. Caderno de Especificações — Morcela de Cozer de Portalegre — Indicação Geográfica Protegida. Lisboa, Portugal: Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural.
18. Tsiane Y, Dlamini B, Seema P, Morey L, Moholisa E. The Nutritional Composition, Textural and Sensory Properties of Pig Blood Sausages Formulated With Edible Meat By-Products and Cereal Fillers. Journal of Food Quality. 2026;2026(1):9942971.
19. Mateo J, Fernández-Diez A, Caro I, Villalobos Delgado LH, Ramos DD, Cabeza Herrera EA. Mineral Composition of Blood Sausages – A Two-Case Study. In: Muzzalupo I, editor. Food Industry. London: IntechOpen; 2013.
20. Council Decision 2011/738/EU of 20 October 2011 on the conclusion of the Agreement between the European Union and the Swiss Confederation on the protection of designations of origin and geographical indications for agricultural products and foodstuffs, (2011).
21. Ye L, Zheng W, Li X, Han W, Shen J, Lin Q, et al. The Role of Gluten in Food Products and Dietary Restriction: Exploring the Potential for Restoring Immune Tolerance. Foods. 2023;12(22):4179.
22. Arif MR, Hussain A, Najam A, Ashfaq M, Bakhtawar F, Zulfiqar N, et al. A review on gluten-free and low-glycemic index bakery products, especially corn based breads, noodles, and multigrain flours. Discover Applied Sciences. 2025;7(6):541.
23. Delcour JA, Joye IJ, Pareyt B, Wilderjans E, Brijs K, Lagrain B. Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. Annu Rev Food Sci Technol. 2012;3:469–92.
24. Hermans W, Mutlu S, Michalski A, Langenaeken NA, Courtin CM. The Contribution of Sub-Aleurone Cells to Wheat Endosperm Protein Content and Gradient Is Dependent on Cultivar and N-Fertilization Level. J Agric Food Chem. 2021;69(23):6444–54.
25. Zeenath Banu B, Somraj A, Geetha A, Khan A, Srinu B, Vamshi J, et al. A comprehensive review of biochemical, functional, and dietary implications of Gluten. Annals of Phytomedicine. 2024;13(1):196–208.
26. Shewry PR, Hey SJ. The contribution of wheat to human diet and health. Food Energy Secur. 2015;4(3):178–202.
27. Alvarez PA, Boye JI. Food Production and Processing Considerations of Allergenic Food Ingredients: A Review. Journal of Allergy. 2012;2012(1):746125.
28. Bertram HC, Kristensen M, Andersen HJ. Functionality of myofibrillar proteins as affected by pH, ionic strength and heat treatment – a low-field NMR study. Meat Science. 2004;68(2):249–56.
29. Wieser H. Chemistry of gluten proteins. Food Microbiology. 2007;24(2):115–9.
30. Xiong YL, Agyare KK, Addo K. Hydrolyzed wheat gluten suppresses transglutaminase-mediated gelation but improves emulsification of pork myofibrillar protein. Meat Science. 2008;80(2):535–44.
31. Taghian Dinani S, Zhang Y, Vardhanabhuti B, Jan van der Goot A. Enhancing textural properties in plant-based meat alternatives: The impact of hydrocolloids and salts on soy protein-based products. Current Research in Food Science. 2023;7:100571.
32. Kumar N, Hong S, Zhu Y, Garay A, Yang J, Henderson D, et al. Comprehensive review of chickpea (Cicer arietinum): Nutritional significance, health benefits, techno-functionalities, and food applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2025;24(2):e70152.
33. Marczak A, Mendes AC. Dietary Fibers: Shaping Textural and Functional Properties of Processed Meats and Plant-Based Meat Alternatives. Foods. 2024;13(12):1952.

34. Arora S, Kataria P, Nautiyal M, Tuteja I, Sharma V, Ahmad F, et al. Comprehensive Review on the Role of Plant Protein As a Possible Meat Analogue: Framing the Future of Meat. ACS Omega. 2023;8(26):23305–19.
35. Pereira JA, Dionísio L, Patarata L, Matos TJS. Effect of packaging technology on microbiological and sensory quality of a cooked blood sausage, Morcela de Arroz, from Monchique region of Portugal. Meat Science. 2015;101:33–41.
36. Cachaldora A, García G, Lorenzo JM, García-Fontán MC. Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on some quality characteristics and the shelf-life of "morcilla", a typical cooked blood sausage. Meat Science. 2013;93(2):220–5.
37. Pereira J, Hu H, Xing L, Zhang W, Zhou G. Influence of Rice Flour, Glutinous Rice Flour, and Tapioca Starch on the Functional Properties and Quality of an Emulsion-Type Cooked Sausage. Foods. 2020;9(1):9.
38. Moraes EdM, Hackbart da Silva L. Wheat flour substitutes in the preparation of gluten-free bakery products - a review. Research, Society and Development. 2023;12(3):e3512328931.
39. Yazdanpanah S, Ansarifard S, Hasani M. Development of Novel Gluten-Free Sausage Based on Chickpea, Corn Flour, and HPMC. International Journal of Food Science. 2022;2022(1):3616887.
40. Skřivan P, Chrpová D, Klitschová B, Švec I, Sluková M. Buckwheat Flour (Fagopyrum esculentum Moench)—A Contemporary View on the Problems of Its Production for Human Nutrition. Foods. 2023;12(16):3055.
41. Zamaratskaia G, Gerhardt K, Knicky M, Wendin K. Buckwheat: an underutilized crop with attractive sensory qualities and health benefits. Crit Rev Food Sci Nutr. 2024;64(33):12303–18.
42. Sofi SA, Ahmed N, Farooq A, Rafiq S, Zargar SM, Kamran F, et al. Nutritional and bioactive characteristics of buckwheat, and its potential for developing gluten-free products: An updated overview. Food Sci Nutr. 2023;11(5):2256–76.
43. Botella-Martínez C, Viuda-Martos M, Pérez-Álvarez JA, Fernández-López J. Total and Partial Fat Replacement by Gelled Emulsion (Hemp Oil and Buckwheat Flour) and Its Impact on the Chemical, Technological and Sensory Properties of Frankfurters. Foods. 2021;10(8):1681.
44. Contardo I, Gutiérrez S, Hurtado-Murillo J, Escobar N. Understanding the structural differences in chickpea globulins and their relationship with in vitro protein digestibility. Food Research International. 2025;202:115702.
45. Thushan Sanjeewa WG, Wanasundara JPD, Pietrasik Z, Shand PJ. Characterization of chickpea (Cicer arietinum L.) flours and application in low-fat pork bologna as a model system. Food Research International. 2010;43(2):617–26.
46. Zhao D, Yan S, Liu J, Jiang X, Li J, Wang Y, et al. Effect of Chickpea Dietary Fiber on the Emulsion Gel Properties of Pork Myofibrillar Protein. Foods. 2023;12(13):2597.
47. Banu I, Aprodu I. Investigations on Functional and Thermo-Mechanical Properties of Gluten Free Cereal and Pseudocereal Flours. Foods. 2022;11(13):1857.
48. Szczesniak AS. Texture is a sensory property. Food Quality and Preference. 2002;13(4):215–25.
49. Friedman HH, Whitney JE, Szczesniak AS. The Texturometer—A New Instrument for Objective Texture Measurement. Journal of Food Science. 1963;28(4):390–6.
50. Szczesniak AS. Classification of Textural Characteristics. Journal of Food Science. 1963;28(4):385–9.
51. Herrero AM, Ordóñez JA, de Avila R, Herranz B, de la Hoz L, Cambero MI. Breaking strength of dry fermented sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) and physico-chemical characteristics. Meat Sci. 2007;77(3):331–8.

52. Saldaña E, Behrens JH, Serrano JS, Ribeiro F, de Almeida MA, Contreras-Castillo CJ. Microstructure, texture profile and descriptive analysis of texture for traditional and light mortadella. Food Structure. 2015;6:13–20.
53. Pathare PB, Opara UL, Al-Said FA-J. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. Food and Bioprocess Technology. 2013;6(1):36–60.
54. Ruedt C, Gibis M, Weiss J. Meat color and iridescence: Origin, analysis, and approaches to modulation. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2023;22(4):3366–94.
55. Mancini RA, Hunt MC. Current research in meat color. Meat Science. 2005;71(1):100–21.
56. Fernández-López J, Pérez-Alvarez JA, Sayas-Barberá E, López-Santoveña F. Effect of Paprika (Capsicum annum) on Color of Spanish-type Sausages During the Resting Stage. Journal of Food Science. 2002;67(6):2410–4.
57. Prieto N, Pawluczyk O, Dugan MER, Aalhus JL. A Review of the Principles and Applications of Near-Infrared Spectroscopy to Characterize Meat, Fat, and Meat Products. Applied Spectroscopy. 2017;71(7):1403–26.
58. Prieto N, Roehe R, Lavín P, Batten G, Andrés S. Application of near infrared reflectance spectroscopy to predict meat and meat products quality: A review. Meat Sci. 2009;83(2):175–86.
59. Anderson S. Determination of Fat, Moisture, and Protein in Meats and Meat Products Using the FOSS FoodScan Near-Infrared Spectrophotometer with the FOSS Artificial Neural Network Calibration Model and Associated Database: Collaborative Study. Journal of AOAC International. 2007;90(4):1073–83.
60. Jiménez-Colmenero F, Carballo J, Cofrades S. Healthier meat and meat products: their role as functional foods. Meat Sci. 2001;59(1):5–13.
61. Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge. Disponível nova versão da Tabela de Composição de Alimentos: Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge; 2023 [16 June 2026]. Available from: https://www.insa.min-saude.pt/disponivel-nova-versao-da-tabela-de-composicao-de-alimentos/.
62. Union EPaCotE. Regulation (EU) No 1169/2011 of the European Parliament and of the Council on the provision of food information to consumers. Brussels: European Union; 2011.
63. European Parliament and Council of the European Union. Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council on nutrition and health claims made on foods. Brussels: European Union; 2006.
64. Wyness L, Weichselbaum E, O'Connor A, Williams EB, Benelam B, Riley H, et al. Red meat in the diet: an update. Nutrition Bulletin. 2010;35(3):349–60.
65. Domínguez R, Pateiro M, Gagaoua M, Barba FJ, Zhang W, Lorenzo JM. A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. Antioxidants. 2019;8(10):429.
66. Nychas G-JE, Skandamis PN, Tassou CC, Koutsoumanis KP. Meat spoilage during distribution. Meat Science. 2008;78(1):77–89.
67. McMillin KW. Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. Meat Science. 2008;80(1):43–65.
68. European Commission. Commission Regulation (EC) No 2073/2005 of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuffs. Brussels: Official Journal of the European Union; 2005.
69. European Commission. Commission Implementing Regulation (EU) No 828/2014 of 30 July 2014 on the requirements for the provision of information to consumers on the absence or reduced presence of gluten in food. Brussels: Official Journal of the European Union; 2014. p. 5–8.
70. Catassi C, Fabiani E, Iacono G, D'Agate C, Francavilla R, Biagi F, et al. A prospective, double-blind, placebo-controlled trial to establish a safe gluten threshold for patients with celiac disease. Am J Clin Nutr. 2007;85(1):160–6.

71. Codex Alimentarius Commission. Standard for Foods for Special Dietary Use for Persons Intolerant to Gluten. In: Codex Alimentarius Commission, editor. Rome: FAO/WHO; 1979.
72. Blom WM, van Dijk LM, Michelsen-Huisman A, Houben GF, Knulst AC, Linders YFM, et al. Allergen labelling: Current practice and improvement from a communication perspective. Clinical & Experimental Allergy. 2021;51(4):574–84.
73. Wieser H, Segura V, Ruiz-Carnicer Á, Sousa C, Comino I. Food Safety and Cross-Contamination of Gluten-Free Products: A Narrative Review. Nutrients. 2021;13(7):2244.
74. Li Y, Liu Q, Godefroy S, Li J, Chen Y. Gluten Contamination of Labelled Gluten-Free Food Products Marketed in China. Foods. 2025;14(12):2025.
75. Mérieux NutriSciences. Mérieux NutriSciences Portugal: Mérieux NutriSciences; 2026 [Available from: https://www.merieuxnutrisciences.com/pt/.
76. Addo-Preko E, Amissah JGN, Adjei MYB. The relevance of the number of categories in the hedonic scale to the Ghanaian consumer in acceptance testing. Frontiers in Food Science and Technology. 2023;Volume 3 - 2023.
77. Begum N, Khan QU, Liu LG, Li W, Liu D, Haq IU. Nutritional composition, health benefits and bio-active compounds of chickpea (Cicer arietinum L.). Frontiers in Nutrition. 2023;Volume 10 - 2023.
78. Booren BL, Castell-Perez ME, Miller RK. Effect of meat enhancement solutions with hydroxypropyl methylcellulose and konjac flour on texture and quality attributes of pale, soft, and exudative pork. J Texture Stud. 2017;48(5):403–14.
79. Kurćubić VS, Stajić SB, Jakovljević V, Živković V, Stanišić N, Mašković PZ, et al. Contemporary Speculations and Insightful Thoughts on Buckwheat—A Functional Pseudocereal as a Smart Biologically Active Supplement. Foods. 2024;13(16):2491.
80. Wang P, Xu X, Huang M, Huang M, Zhou G. Effect of pH on heat-induced gelation of duck blood plasma protein. Food Hydrocolloids. 2014;35:324–31.
81. Tang Q, Roos YH, Vahedikia N, Miao S. Evaluation on pH-dependent thermal gelation performance of chickpea, pea protein, and casein micelles. Food Hydrocolloids. 2024;149:109618.
82. Salejda AM, Olender K, Zielińska-Dawidziak M, Mazur M, Szperlik J, Miedzianka J, et al. Frankfurter-Type Sausage Enriched with Buckwheat By-Product as a Source of Bioactive Compounds. Foods. 2022;11(5):674.
83. McLellan MR, Lind LR, Kime RW. HUE ANGLE DETERMINATIONS AND STATISTICAL ANALYSIS FOR MULTIQUADRANT HUNTER L,a,b DATA. Journal of Food Quality. 1995;18(3):235–40.
84. Food Standards Agency. Allergen guidance for food businesses. In: (FSA) FSA, editor. London, United Kingdom: Food Standards Agency; 2014.
85. Hischenhuber C, Crevel R, Jarry B, MÄKi M, Moneret-Vautrin DA, Romano A, et al. Review article: safe amounts of gluten for patients with wheat allergy or coeliac disease. Alimentary Pharmacology & Therapeutics. 2006;23(5):559–75.
86. European Parliament and Council of the European Union. Regulation (EU) No 609/2013 of the European Parliament and of the Council of 12 June 2013 on food intended for infants and young children, food for special medical purposes, and total diet replacement for weight control. In: Union EPaCotE, editor. Brussels: Official Journal of the European Union; 2013. p. 35–56.
87. Valdés I, García E, Llorente M, Méndez E. Innovative approach to low-level gluten determination in foods using a novel sandwich enzyme-linked immunosorbent assay protocol. Eur J Gastroenterol Hepatol. 2003;15(5):465–74.
88. Commission CA. Code of Practice on Food Allergen Management for Food Business Operators. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); World Health Organization (WHO); 2020. Report No.: CXC 80-2020.

89. Union EPaCotE. Regulation (EC) No 852/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the hygiene of foodstuffs. Brussels: Official Journal of the European Union; 2004 29 April 2004.
90. Lebwohl B, Cao Y, Zong G, Hu FB, Green PHR, Neugut AI, et al. Long term gluten consumption in adults without celiac disease and risk of coronary heart disease: prospective cohort study. BMJ. 2017;357:j1892.
91. Capriles VD, Arêas JAG. Novel Approaches in Gluten-Free Breadmaking: Interface between Food Science, Nutrition, and Health. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2014;13(5):871–90.
92. Missbach B, Schwingshackl L, Billmann A, Mystek A, Hickelsberger M, Bauer G, et al. Gluten-free food database: the nutritional quality and cost of packaged gluten-free foods. PeerJ. 2015;3:e1337.

8. Apêndices

Apêndice A — Fatores determinantes da estabilidade e vida útil de enchidos cozidos embalados

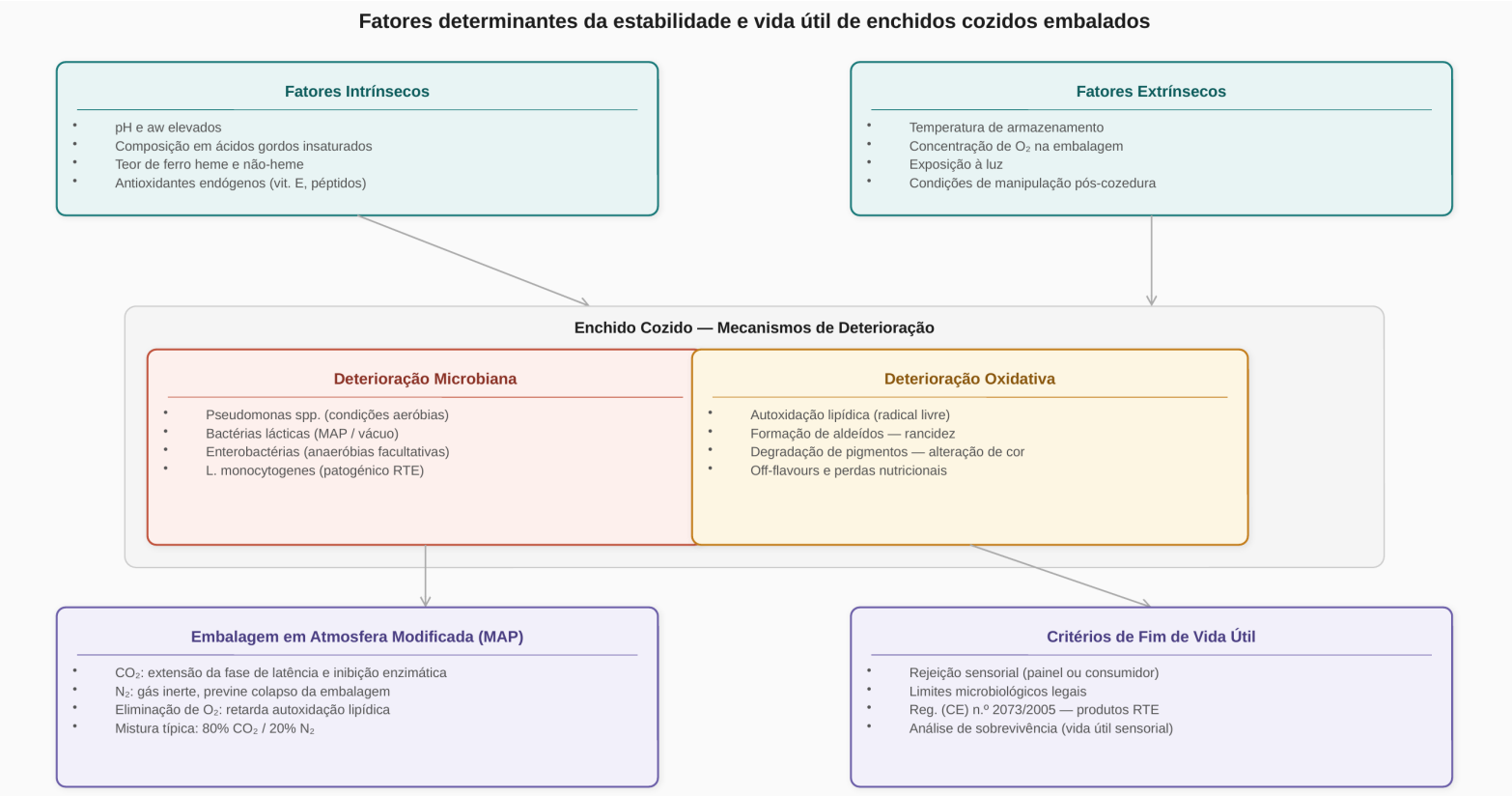

Figura A.1 — Fatores determinantes da estabilidade e vida útil de enchidos cozidos embalados em atmosfera modificada. Elaboração própria com base em Nychas et al. (2008), Domínguez et al. (2019) e Pereira et al. (2014, 2015). RTE: ready-to-eat; MAP: modified atmosphere packaging.

Apêndice B — Fluxograma de produção de farinheira

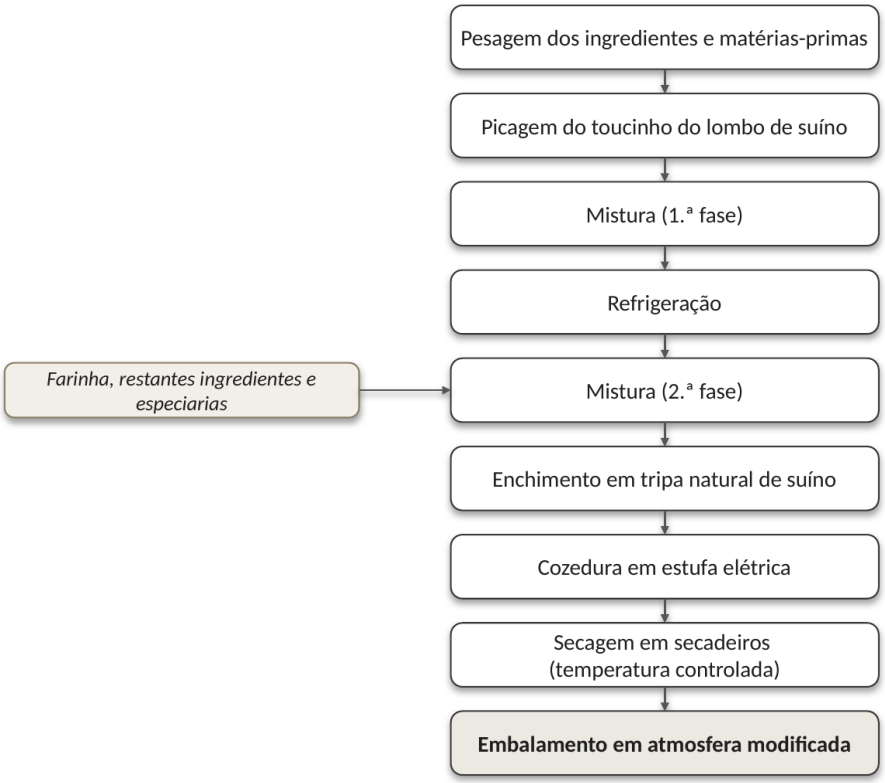

Figura B.1 — Fluxograma simplificado do processo de produção da farinheira.

Apêndice C — Fluxograma de produção de morcela

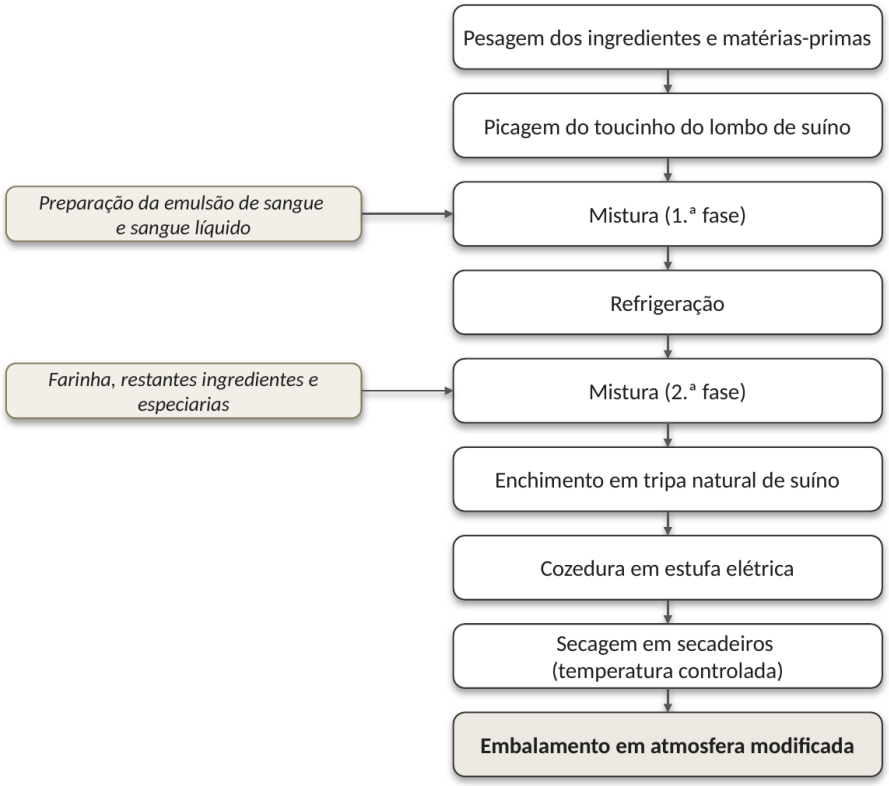

Figura C.1 — Fluxograma simplificado do processo de produção da morcela.

Apêndice D — Formulações experimentais desenvolvidas para farinheira e morcela

Código	Produto	Farinha utilizada	Sistema estruturante
FC	Farinheira	Farinha de trigo (com glúten)	Não aplicável
FI	Farinheira	Sem farinha de trigo	Não aplicável
FTS-HF	Farinheira	Farinha de trigo sarraceno	HPMC + fibra vegetal
FTS-S	Farinheira	Farinha de trigo sarraceno	Ausente
FGB-HF	Farinheira	Farinha de grão-de-bico	HPMC + fibra vegetal
FGB-S	Farinheira	Farinha de grão-de-bico	Ausente
MC	Morcela	Farinha de trigo (com glúten)	Não aplicável
MI	Morcela	Sem farinha de trigo	Não aplicável
MTS-HF	Morcela	Farinha de trigo sarraceno	HPMC + fibra vegetal
MTS-S	Morcela	Farinha de trigo sarraceno	Ausente
MGB-HF	Morcela	Farinha de grão-de-bico	HPMC + fibra vegetal
MGB-S	Morcela	Farinha de grão-de-bico	Ausente

Tabela D.1 — Formulações experimentais desenvolvidas para farinheira e morcela.

Apêndice E — Aspeto visual das seis formulações de farinheira



Figura E.1 — Aspeto visual das 6 formulações de farinheira

Apêndice F — Aspeto visual das seis formulações de morcela

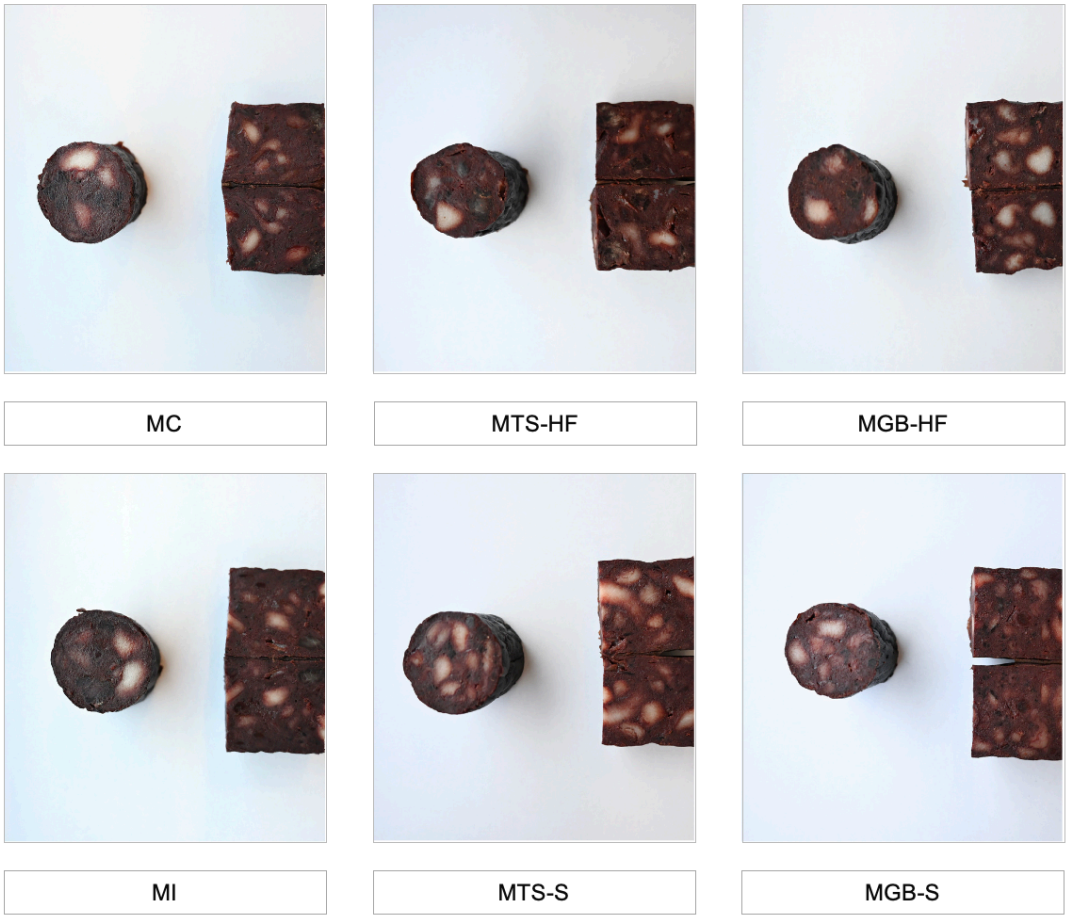

Figura F.1 — Aspeto visual das 6 formulações de morcela

Apêndice G — Misturadora



Figura G.1 - Misturadora para desenvolvimento de ensaios piloto, localizada em sala de produção.

Apêndice H — Registos de pH e temperatura durante o preparado da massa das formulações de farinheira

Formulação	1ª Fase T (°C) inicial	1ª Fase T (°C) final	2ª Fase T (°C) inicial	2ª Fase T (°C) final	pH
FC	3.8	4.6	3.3	5.2	5.3
FI	5.2	6.3	3.6	5.7	5.3
FTS-HF	5.3	5.8	3.4	4.2	5.4
FTS-S	3.8	4.6	3.4	4.2	5.2
FGB-HF	3.1	4.8	4.3	5.1	5.2
FGB-S	3.9	4.0	3.8	4.4	5.3

Tabela H.1. - Valores de pH e temperatura registados das formulações de farinheira.

Formulação	1ª Fase T (°C) inicial	1ª Fase T (°C) final	2ª Fase T (°C) inicial	2ª Fase T (°C) final	pH
MC	3.6	4.5	3.9	5.4	6.9
MI	3.3	4.2	4.4	5.0	6.8
MTS-HF	3.4	4.2	3.9	4.3	7.0
MTS-S	4.2	5.3	5.2	5.2	7.0
MGB-HF	4.9	5.2	4.1	4.8	6.8
MGB-S	3.5	3.7	3.9	4.9	7.2

Tabela H.2 - Valores de pH e temperatura registados das formulações de morcela.

Apêndice I — Composição proximal das farinhas alternativas utilizadas (por 100 g)

Parâmetro (por 100 g)	Farinha de trigo tipo 55	Farinha de arroz	Amido de milho	Farinha de milho tipo 70	Farinha de trigo sarraceno	Farinha de grão-de-bico
Energia (kcal/kJ)	344/1460	347/1470	364/1550	359/1520	337/1420	327/1370
Lípidos (g)	1,1	0,4	0,2	2,2	2,5	6,8
Hidratos de carbono (g)	74,3	78,1	90,2	75,3	61,3	33,5
dos quais açúcares (g)	1,5	0,0	0,0	0,0	1,6	4,5
Proteína (g)	7,8	6,7	0,4	8,3	12,4	19,4
Fibra alimentar (g)	2,9	2,1	0,1	2,6	9,7	27,2
Sal (g)	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

Tabela I.1 — Composição proximal das farinhas alternativas utilizadas nas formulações experimentais (por 100 g). Fontes: INSA(61).

Apêndice J — Propriedades físico-químicas dos ingredientes do sistema hidrocolóide-fibra (H+F)

Propriedade	HPMC	Fibra vegetal
Designação legal (UE)	Hidroxipropilmetilcelulose (E 464)	Fibras vegetais
Aspeto	Pó branco	Pó solto branco, inodoro
Solubilidade	Solúvel em água fria (colóide viscoso); insolúvel em etanol	Solúvel em água
Viscosidade (USP)	3 000–5 600 mPa.s	—
pH	5–8	5,0–7,0
Humidade (máx.)	5 %	≤10%
Fibra dietética (g/100 g)	—	90,0
Proteína (g/100 g)	—	0,0
Dose aplicada	~0,70 % no produto final	0,5–2,0 % no produto final
Isento de glúten	Sim	Sim
Origem animal	Não	Não

Tabela J.1 — Propriedades físico-químicas dos ingredientes do sistema hidrocoloide-fibra (H+F). Fontes: Fichas técnicas de fornecedores.

Apêndice K — Composição proximal das formulações de farinheira determinada por NIR

Parâmetro	FC	FI	FTS-HF	FTS-S	FGB-HF	FGB-S	p
Gordura (%)	31,27±0,88 a	37,88±1,50 d	35,50±1,01 c	34,17±1,49 bc	33,27±1,21 ab	34,70±1,37 bc	< 0,001
Humidade (%)	37,90±0,55 c	34,03±0,99 a	38,10±0,76 c	38,00±0,64 c	39,50±0,72 d	36,68±0,96 b	< 0,001
Proteína (%)	9,47±0,44 bc	7,00±0,71 a	9,40±0,97 bc	8,82±0,50 b	10,37±0,58 c	9,28±0,48 bc	< 0,001
Sal (%)	3,23±0,07 b	3,02±0,30 ab	2,80±0,18 a	3,12±0,22 ab	2,79±0,26 a	3,23±0,26 b	0,003
Cinza (%)	2,10±0,07 ab	1,96±0,02 a	2,57±0,21 c	2,19±0,11 ab	3,02±0,16 d	2,27±0,15 b	< 0,001
Colagénio (%)	2,09±0,09 a	2,16±0,13 a	2,38±0,06 b	2,38±0,01 b	2,40±0,01 b	2,37±0,01 b	< 0,001
AGS (%)	10,93±0,23 a	12,36±0,36 c	11,91±0,22 bc	11,50±0,39 b	11,59±0,31 b	11,86±0,35 bc	< 0,001
HC (%)	19,25±0,93 c	19,16±1,08 c	14,43±1,55 a	16,82±1,47 b	13,83±0,89 a	17,05±0,91 b	< 0,001
L*	55,07±1,76 abc	54,20±1,34 a	56,80±0,45 bcd	54,78±1,60 ab	58,85±1,13 d	57,40±1,43 cd	< 0,001
a*	25,90±0,81 b	30,33±0,29 d	26,67±0,52 b	27,70±0,85 c	23,58±0,40 a	23,38±0,37 a	< 0,001
b*	31,40±0,63 b	34,73±0,22 c	31,65±0,49 b	32,32±0,92 b	30,32±0,44 a	30,35±0,24 a	< 0,001
Energia (kJ/100 g)	1645±24,9 a	1846±46,2 c	1719±31,2 b	1700±38,2 ab	1643±37,2 a	1732±40,4 b	< 0,001
Energia (kcal/100 g)	396±6,2 a	446±11,2 c	415±7,4 b	410±9,5 ab	396±8,9 a	418±9,9 b	< 0,001
aw	0,940±0,000 a	0,945±0,005 ab	0,950±0,000 b	0,950±0,000 b	0,948±0,004 b	0,942±0,004 a	< 0,001

Tabela K.1 — Composição proximal, parâmetros de cor CIELab, valor energético e atividade da água das seis formulações de farinheira, determinados por NIR (FoodScan 2, FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatisticamente significativa (p < 0,05). Parâmetros com heterocedasticidade (Levene p < 0,05): análise por teste de Welch com post-hoc de Games-Howell. AGS: ácidos gordos saturados; HC: hidratos de carbono; Aw: atividade da água.

Apêndice L — Composição proximal das formulações de morcela determinada por NIR

Parâmetro	MC	MI	MTS-HF	MTS-S	MGB-HF	MGB-S	Teste	p
Gordura (%)	34,07±0,98 ab	35,58±0,81 ab	37,72±1,96 b	35,75±2,08 ab	34,13±1,93 a	36,07±2,11 ab	ANOVA	0,035
Humidade (%)	44,72±0,60 a	46,92±1,10 b	44,33±0,67 a	44,77±0,84 a	44,95±0,64 a	44,40±0,97 a	ANOVA	< 0,001
Proteína (%)	5,72±1,72 c	1,92±0,81 a	2,60±1,09 ab	3,43±0,50 ab	5,63±1,11 c	4,13±0,83 bc	ANOVA	< 0,001
Sal (%)	3,24±0,10 a	3,42±0,19 a	3,24±0,07 a	3,25±0,09 a	3,39±0,08 a	3,38±0,12 a	K-W	0,011
Cinza (%) †	4,13±0,49 ab	3,78±0,02 a	3,81±0,04 ab	3,94±0,11 ab	4,65±0,52 b	4,28±0,46 b	K-W	< 0,001
Colagénio (%) †	0,657±0,036 b	0,593±0,017 a	0,648±0,030 b	0,633±0,015 ab	0,630±0,022 ab	0,628±0,022 ab	K-W	0,006
AGS (%)	14,54±0,65 b	14,27±0,25 ab	14,92±0,63 b	13,93±0,35 ab	13,31±0,72 a	14,11±0,57 ab	ANOVA	0,001
HC (%)	10,38±1,27 a	11,81±0,51 ab	11,55±0,65 abc	12,11±0,87 c	10,68±0,55 a	11,12±0,62 abc	ANOVA	0,005
L*	25,35±0,96 b	24,13±0,55 ab	24,43±0,92 ab	23,97±0,56 a	23,90±0,55 a	24,33±0,61 ab	ANOVA	0,028
a*	11,68±0,36 a	11,27±0,26 a	11,67±0,11 a	11,28±0,25 a	11,33±0,22 a	11,20±0,27 a	ANOVA	0,013
b* †	2,37±0,31 b	2,07±0,16 ab	2,02±0,22 ab	1,75±0,19 ab	1,63±0,12 a	1,75±0,26 ab	K-W	0,002
Energia (kJ/100 g)	1571±34 ab	1550±32 a	1635±49 b	1588±57 ab	1540±55 a	1594±52 ab	ANOVA	0,025
Energia (kcal/100 g)	380±8 ab	375±8 a	396±12 b	384±14 ab	372±13 a	386±13 ab	ANOVA	0,026
Sal Na (%) †	1,27±0,14 ab	1,51±0,10 b	1,20±0,12 ab	1,10±0,06 ab	1,05±0,11 a	1,01±0,07 a	K-W	< 0,001
aw	0,83±0,00	0,82±0,00	0,82±0,00	0,82±0,00	0,82±0,00	0,82±0,00	n.a.	n.a.

Tabela L.1 — Composição proximal, parâmetros de cor CIELab, valor energético e atividade da água das seis formulações de morcela, determinados por NIR (FoodScan 2, FOSS). Médias ± DP (n = 6). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatisticamente significativa (p < 0,05). † Parâmetros com violação da normalidade em pelo menos um grupo (Shapiro-Wilk): análise por Kruskal-Wallis com comparações par-a-par e correção de Bonferroni. AGS: ácidos gordos saturados; HC: hidratos de carbono; Aw: atividade da água; n.a.: não aplicável (variância nula).

Apêndice M — Parâmetros de Análise do Perfil de Textura (TPA) das formulações de farinheira

Parâmetro	FC	FI	FTS-HF	FTS-S	FGB-HF	FGB-S	p
Dureza (N)	33,46±4,35 a	37,05±2,56 ab	34,28±4,51 ab	37,09±4,81 ab	41,38±4,22 b	41,46±4,47 b	0,009 †
Coesividade	0,551±0,030 a	0,525±0,026 a	0,579±0,033 a	0,524±0,029 a	0,559±0,015 a	0,525±0,034 a	0,028 ‡
Elasticidade	0,553±0,024 a	0,605±0,028 a	0,673±0,016 a	0,650±0,049 a	0,648±0,025 a	0,629±0,042 a	<0,001 ‡
Adesividade (N·s)	-0,015±0,016 a	-0,011±0,009 a	-0,006±0,003 a	-0,005±0,002 a	-0,005±0,002 a	-0,016±0,010 a	0,082 ‡
Gomosidade (N)	18,44±2,66 a	19,47±1,47 a	19,84±2,75 a	19,53±3,15 a	23,10±2,34 a	21,93±3,23 a	0,137 †
Mastigabilidade (N)	10,21±1,55 a	11,77±1,54 a	13,36±2,26 a	12,72±2,88 a	14,95±1,68 a	13,83±3,14 a	0,025 ‡

Tabela M.1 — Parâmetros TPA das seis formulações de farinheira. Médias ± DP (n = 6, exceto FI com n = 5). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatisticamente significativa (p < 0,05). † ANOVA unifatorial com post-hoc de Tukey HSD (Levene: p > 0,05). ‡ Kruskal-Wallis com comparações par-a-par por Mann-Whitney e correção de Bonferroni (limiar ajustado: p < 0,0033). FC = controlo com glúten; FI = formulação industrial sem glúten; FTS-HF = trigo sarraceno com sistema H+F; FTS-S = trigo sarraceno sem sistema H+F; FGB-HF = grão-de-bico com sistema H+F; FGB-S = grão-de-bico sem sistema H+F.

Apêndice N — Parâmetros de Análise do Perfil de Textura (TPA) das formulações de morcela

Parâmetro	MC	MI	MTS-HF	MTS-S	MGB-HF	MGB-S	p
Dureza (N)	106,04±30,86 a	125,23±9,81 a	131,20±20,40 a	122,82±7,90 a	122,77±4,86 a	121,81±6,83 a	0,240 ‡
Coesividade	0,740±0,027 b	0,692±0,021 b	0,630±0,069 a	0,715±0,021 b	0,697±0,015 b	0,694±0,013 b	0,017 †
Elasticidade	0,851±0,025 ab	0,866±0,021 b	0,823±0,019 a	0,860±0,023 b	0,866±0,015 b	0,857±0,013 ab	0,006 †
Adesividade (N·s)	-0,001±0,000 a	-0,001±0,001 a	-0,002±0,002 a	-0,002±0,002 a	-0,002±0,001 a	-0,002±0,001 a	0,425 ‡
Gomosidade (N)	78,78±23,93 a	86,74±8,05 a	83,29±19,22 a	87,75±5,12 a	85,67±5,03 a	84,62±5,87 a	0,887 †
Mastigabilidade (N)	67,55±22,35 a	75,09±7,49 a	68,42±15,54 a	75,50±5,02 a	74,22±4,44 a	72,51±5,28 a	0,781 †

Tabela N.1 — Parâmetros TPA das seis formulações de morcela. Médias ± DP (n = 6, exceto adesividade de MI e MGB-HF com n = 5). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatisticamente significativa (p < 0,05). † Coesividade: Welch + Tukey HSD (Levene p < 0,001); Elasticidade, Gomosidade e Mastigabilidade: ANOVA unifatorial + Tukey HSD. ‡ Kruskal-Wallis (normalidade violada em pelo menos um grupo). MC = controlo com glúten; MI = formulação industrial sem glúten; MTS-HF = trigo sarraceno com sistema H+F; MTS-S = trigo sarraceno sem sistema H+F; MGB-HF = grão-de-bico com sistema H+F; MGB-S = grão-de-bico sem sistema H+F.

Apêndice O — Parâmetros colorimétricos CIELab das formulações de farinheira

Parâmetro	FC	FI	FTS-HF	FTS-S	FGB-HF	FGB-S	F / p
L*	46,48±1,92 ab	44,34±3,09 a	50,58±1,50 c	45,84±1,91 ab	52,31±2,05 c	49,41±1,34 bc	13,596 / < 0,001
a*	10,79±2,11 a	17,68±1,46 b	16,07±0,31 b	16,12±0,70 b	10,44±0,94 a	10,40±1,10 a	44,443 / < 0,001
b*	14,22±2,53 a	19,70±2,78 b	20,25±1,76 b	16,87±1,64 ab	16,45±2,99 ab	16,99±0,97 ab	6,010 / < 0,001
C*	17,85	26,47	25,85	23,33	19,48	19,92	n.a.
hº	52,8°	48,1°	51,6°	46,3°	57,6°	58,5°	n.a.

Tabela O.1 — Parâmetros colorimétricos CIELab das seis formulações de farinheira (média ± desvio-padrão; n = 6). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatisticamente significativa (p < 0,05; ANOVA unifatorial + Tukey HSD). C e hº calculados a partir das médias de a* e b*, não sujeitos a teste estatístico. n.a.: não aplicável. FC: controlo com glúten; FI: formulação industrial sem glúten; FTS-HF: trigo sarraceno com H+F; FTS-S: trigo sarraceno sem H+F; FGB-HF: grão-de-bico com H+F; FGB-S: grão-de-bico sem H+F.*

Apêndice P — Parâmetros colorimétricos CIELab das formulações de morcela

Parâmetro	MC	MI	MTS-HF	MTS-S	MGB-HF	MGB-S	Teste / p
L*	36,59±1,66 a	35,92±2,55 a	38,17±1,49 a	38,08±1,37 a	37,45±1,58 a	37,69±1,22 a	F=1,611 / 0,187
a*	1,10±0,75 a	1,47±0,41 a	1,06±0,47 a	0,98±0,16 a	0,77±0,59 a	0,95±0,36 a	H=7,246 / 0,203
b*	0,86±0,56 a	1,49±0,48 a	0,79±0,51 a	0,75±0,18 a	0,69±1,13 a	0,78±0,49 a	H=9,864 / 0,079
C*	1,40	2,09	1,32	1,24	1,03	1,23	n.a.
hº	38,1°	45,3°	36,5°	37,5°	41,9°	39,3°	n.a.

Tabela P.1 — Parâmetros colorimétricos CIELab das seis formulações de morcela (média ± desvio-padrão; n = 6). L: ANOVA unifatorial (F = 1,611; p = 0,187). a* e b*: Kruskal-Wallis (H = 7,246, p = 0,203 e H = 9,864, p = 0,079, respetivamente). Nenhum parâmetro apresentou diferenças estatisticamente significativas entre formulações; todas partilham a letra a. C* e hº calculados a partir das médias de a* e b*, não sujeitos a teste estatístico. n.a.: não aplicável. MC: controlo com glúten; MI: formulação industrial sem glúten; MTS-HF: trigo sarraceno com H+F; MTS-S: trigo sarraceno sem H+F; MGB-HF: grão-de-bico com H+F; MGB-S: grão-de-bico sem H+F.*

Apêndice Q — Avaliação sensorial das formulações de farinheira: Teste de Friedman

Atributo	χ^2	df	p	Significância
Aparência	5,949	5	0,311	ns
Cor	15,251	5	0,009	*
Aroma	12,401	5	0,030	*
Sabor	7,552	5	0,183	ns
Textura	6,557	5	0,256	ns
Apreciação global	6,050	5	0,301	ns

*Tabela Q.1 — Resultados do teste de Friedman para os atributos sensoriais avaliados nas formulações de farinheira (n = 10). * p < 0,05; ns = não significativo.*

Apêndice R — Declarações nutricionais das seis formulações de farinheira (FC, FI, FTS-HF, FTS-S, FGB-HF, FGB-S)

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Farinheira FC

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1730**		
Energia (kcal)	**416**		
Lípidos	**31,21**	24,97	37,45
dos quais saturados	8,81	7,05	10,57
Hidratos de carbono	**22,61**	18,09	27,13
dos quais açúcares	1,01	0,00	3,01
Fibra	**1,19**	0,00	3,19
Proteína	**10,70**	8,56	12,84
Sal	**0,19**	0,00	0,57

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura R.1 — Declaração nutricional da formulação FC (controlo com glúten), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Farinheira FI

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1656**		
Energia (kcal)	**399**		
Lípidos	**31,06**	24,85	37,27
dos quais saturados	8,77	7,02	10,53
Hidratos de carbono	**22,39**	17,91	26,86
dos quais açúcares	0,54	0,00	2,54
Fibra	**0,34**	0,00	2,34
Proteína	**7,26**	5,26	9,26
Sal	**0,21**	0,00	0,58

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura R.2 — Declaração nutricional da formulação FI (industrial sem glúten), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Farinheira FTS-HF
Data:

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1655**		
Energia (kcal)	**399**		
Lípidos	**31,08**	24,86	37,29
dos quais saturados	8,75	7,00	10,50
Hidratos de carbono	**21,11**	16,89	25,34
dos quais açúcares	0,62	0,00	2,62
Fibra	**2,80**	0,80	4,80
Proteína	**7,29**	5,29	9,29
Sal	**0,21**	0,00	0,59

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura R.3 — Declaração nutricional da formulação FTS-HF (trigo sarraceno com sistema HPMC + fibra), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Farinheira FTS-S
Data:

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1650**		
Energia (kcal)	**397**		
Lípidos	**31,11**	24,89	37,34
dos quais saturados	8,75	7,00	10,50
Hidratos de carbono	**21,51**	17,21	25,81
dos quais açúcares	0,63	0,00	2,63
Fibra	**0,73**	0,00	2,73
Proteína	**7,46**	5,46	9,46
Sal	**0,21**	0,00	0,58

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura R.4 — Declaração nutricional da formulação FTS-S (trigo sarraceno sem sistema HPMC + fibra), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Farinheira FGB-S

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1640**		
Energia (kcal)	**395**		
Lípidos	**30,96**	24,76	37,15
dos quais saturados	8,75	7,00	10,50
Hidratos de carbono	**19,76**	15,81	23,71
dos quais açúcares	0,76	0,00	2,76
Fibra	**3,66**	1,66	5,66
Proteína	**7,63**	5,63	9,63
Sal	**0,21**	0,00	0,59

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura R.5 — Declaração nutricional da formulação FGB-HF (grão-de-bico com sistema HPMC + fibra), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Farinheira FGB-S
Data:

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1631**		
Energia (kcal)	**393**		
Lípidos	**30,96**	24,77	37,15
dos quais saturados	8,75	7,00	10,50
Hidratos de carbono	**19,81**	15,85	23,77
dos quais açúcares	0,81	0,00	2,81
Fibra	**1,80**	0,00	3,80
Proteína	**7,89**	5,89	9,89
Sal	**0,21**	0,00	0,58

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura R.6 — Declaração nutricional da formulação FGB-S (grão-de-bico sem sistema HPMC + fibra), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

Apêndice S — Declarações nutricionais das seis formulações de morcela (MC, MI, MTS-HF, MTS-S, MGB-HF, MGB-S)

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Morcela MC

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1579**		
Energia (kcal)	**382**		
Lípidos	**33,95**	27,16	40,74
dos quais saturados	9,11	7,29	10,94
Hidratos de carbono	**11,10**	8,88	13,32
dos quais açúcares	0,31	0,00	2,31
Fibra	**0,44**	0,00	2,44
Proteína	**7,70**	5,70	9,70
Sal	**-0,17**	0,00	0,20

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura S.1 — Declaração nutricional da formulação MC (controlo com glúten), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Morcela MI

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1588**		
Energia (kcal)	**384**		
Lípidos	**33,86**	27,09	40,63
dos quais saturados	9,09	7,27	10,90
Hidratos de carbono	**13,59**	10,87	16,30
dos quais açúcares	0,00	0,00	2,00
Fibra	**0,17**	0,00	2,17
Proteína	**6,05**	4,05	8,05
Sal	**-0,22**	0,00	0,15

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura S.2 — Declaração nutricional da formulação MI (industrial sem glúten), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Morcela MTS-HF

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1586**		
Energia (kcal)	**383**		
Lípidos	**33,87**	27,09	40,64
dos quais saturados	9,07	7,26	10,89
Hidratos de carbono	**12,83**	10,27	15,40
dos quais açúcares	0,05	0,00	2,05
Fibra	**1,45**	0,00	3,45
Proteína	**6,07**	4,07	8,07
Sal	**-0,22**	0,00	0,16

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura S.3 — Declaração nutricional da formulação MTS-HF (trigo sarraceno com sistema HPMC + fibra), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Morcela MTS-S

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1581**		
Energia (kcal)	**382**		
Lípidos	**33,91**	27,13	40,69
dos quais saturados	9,08	7,26	10,89
Hidratos de carbono	**12,74**	10,19	15,29
dos quais açúcares	0,07	0,00	2,07
Fibra	**0,48**	0,00	2,48
Proteína	**6,26**	4,26	8,26
Sal	**-0,22**	0,00	0,15

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura S.4 — Declaração nutricional da formulação MTS-S (trigo sarraceno sem sistema HPMC + fibra), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Morcela MGB-HF

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1577**		
Energia (kcal)	**381**		
Lípidos	**33,79**	27,03	40,55
dos quais saturados	9,07	7,26	10,89
Hidratos de carbono	**11,98**	9,59	14,38
dos quais açúcares	0,14	0,00	2,14
Fibra	**1,98**	0,00	3,98
Proteína	**6,29**	4,29	8,29
Sal	**-0,22**	0,00	0,16

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura S.5 — Declaração nutricional da formulação MGB-HF (grão-de-bico com sistema HPMC + fibra), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

DECLARAÇÃO NUTRICIONAL

Tipo de produto: Enchido
Designação: Morcela MGB-S

Informação Nutricional (por 100 g)	Valor	Tol. mín	Tol. máx
Energia (kJ)	**1568**		
Energia (kcal)	**379**		
Lípidos	**33,80**	27,04	40,56
dos quais saturados	9,08	7,26	10,89
Hidratos de carbono	**11,55**	9,24	13,86
dos quais açúcares	0,19	0,00	2,19
Fibra	**1,23**	0,00	3,23
Proteína	**6,56**	4,56	8,56
Sal	**-0,22**	0,00	0,15

(*) Tolerâncias conforme o Guia de Tolerâncias da Comissão Europeia (Reg. UE 1169/2011).

Figura S.6 — Declaração nutricional da formulação MGB-S (grão-de-bico sem sistema HPMC + fibra), calculada com base nos dados de composição proximal obtidos por NIR/FoodScan (FOSS). Valores por 100 g.

Apêndice T — Avaliação sensorial das formulações de farinheira: postos médios por atributo

Formulação	Aparência	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Ap. Global
FC	3,40	3,80	4,45	4,10	3,65	4,05
FI	4,20	4,15	3,75	4,10	3,90	4,00
FTS-HF	3,85	3,65	3,50	3,20	4,15	3,10
FTS-S	3,90	4,40	4,15	3,70	3,00	3,75
FGB-HF	2,65	1,95	2,15	2,35	2,65	2,60
FGB-S	3,00	3,05	3,00	3,55	3,65	3,50

Tabela T.1 — Postos médios do teste de Friedman por atributo sensorial e formulação de farinheira. Valores mais elevados indicam maior preferência relativa.

Apêndice U — Avaliação sensorial das formulações de farinheira: preferência e intenção de compra (Cochran Q)

Formulação	Favorito (n)	Favorito (%)	Compraria (n)	Compraria (%)	Menos apreciado (n)
FC	1	10 %	1	10 %	1
FI	6	60 %	6	60 %	0
FTS-HF	1	10 %	1	10 %	2
FTS-S	0	0 %	0	0 %	1
FGB-HF	1	10 %	1	10 %	5
FGB-S	1	10 %	1	10 %	1

Tabela U.1 — Frequências de preferência global e intenção de compra por formulação de farinheira (n = 10). Teste Q de Cochran: Q = 14,000; df = 5; p = 0,016 para ambas as variáveis.

Apêndice V — Avaliação sensorial das formulações de morcela: resultados do teste de Friedman

Atributo	χ^2	df	p	Significância
Aparência	11,482	5	0,043	*
Cor	14,895	5	0,011	*
Aroma	14,714	5	0,012	*
Sabor	18,413	5	0,002	**
Textura	17,940	5	0,003	**
Apreciação global	27,236	5	< 0,001	***

*Tabela V.1 — Resultados do teste de Friedman para os atributos sensoriais avaliados nas formulações de morcela (n = 10). * p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.*

Apêndice W — Avaliação sensorial das formulações de morcela: postos médios por atributo

Formulação	Aparência	Cor	Aroma	Sabor	Textura	Ap. Global
MC	4,30	4,25	4,60	4,60	4,75	4,80
MI	4,30	4,45	4,30	4,40	3,95	4,40
MTS-HF	3,60	3,45	3,50	3,15	3,80	3,85
MTS-S	2,95	3,25	3,35	3,55	3,60	3,40
MGB-HF	3,05	3,20	3,10	3,60	3,05	3,30
MGB-S	2,80	2,40	2,15	1,70	1,85	1,25

Tabela W.1 — Postos médios do teste de Friedman por atributo sensorial e formulação de morcela. Valores mais elevados indicam maior preferência relativa.

Apêndice X — Avaliação sensorial das formulações de morcela: preferência e intenção de compra (Cochran Q)

Formulação	Favorito (n)	Favorito (%)	Compraria (n)	Compraria (%)	Menos apreciado (n)
MC	4	40 %	5	50 %	0
MI	4	40 %	3	30 %	0
MTS-HF	1	10 %	1	10 %	0
MTS-S	0	0 %	0	0 %	0
MGB-HF	1	10 %	1	10 %	1
MGB-S	0	0 %	0	0 %	9

Tabela X.1 — Frequências de preferência global e intenção de compra por formulação de morcela (n = 10). Q de Cochran: Favorito Q = 10,400; p = 0,065 (ns); Compraria Q = 11,600; p = 0,041 (*).

Apêndice Y — Folheto de boas práticas para prevenção de contaminações cruzadas por alergénios



Apêndice Y.1 — Folheto de boas práticas para prevenção de contaminações cruzadas por alergénios, desenvolvido para este trabalho, destinado a afixação na zona de produção da unidade industrial Porminho®. Fontes: Reg. (UE) n.º 1169/2011, no Codex CXC 80-2020, no Reg. (CE) n.º 852/2004 e no Reg. de Execução (UE) n.º 828/2014.