

Avaliação do rendimento e qualidade em linhas avançadas do programa de melhoramento de trigo mole do INIAV

Teresa de Jesus da Silva Ramos

Agronomia

2025/2026

Teresa de Jesus da Silva Ramos

Avaliação do rendimento e qualidade em linhas avançadas do programa de melhoramento de trigo mole do INIAV

Relatório de estágio curricular do tipo II – Introdução às Atividades de I&DE, apresentado para obtenção do grau de licenciado em Agronomia conferido pelo Instituto Politécnico de Portalegre

Orientador interno: Prof.^a Doutora Ana Cordeiro

Orientador Externo: Investigadora Auxiliar Ana Sofia Bagulho

Coorientador: Técnica Superior Ana Cecília Roque

Arguente: Engenheiro Doutor Nuno Pinheiro

Presidente do Júri: Prof.º Doutor José Manuel Rato Nunes

Classificação: 18 valores

Escola Superior de Biociências de Elvas

2026

Agradecimentos

Chegando ao fim desta caminhada resta-me agradecer a todos os que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que chegasse até aqui.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha gratidão aos professores da Escola Superior de Biociências de Elvas pelos conhecimentos transmitidos. Um agradecimento especial ao Professor Doutor Francisco Mondragão e ao Professor Doutor José Rato Nunes por terem sido uma das motivações para que não desistisse no início do curso.

Ao Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), que me acolheu com os braços abertos e possibilitou a realização do meu trabalho de pesquisa.

Um especial reconhecimento à minha orientadora externa, Doutora Ana Bagulho, pela disponibilidade, paciência, ajuda e por todo o conhecimento transmitido durante o estágio. À professora Doutora Ana Cordeiro, agradeço profundamente por me ter transmitido tantos conhecimentos valiosos, ajudado sempre que precisei e por ter acreditado em mim ao aceitar orientar este trabalho que adorei realizar.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os meus amigos e à minha família, principalmente ao meu pai, irmãos, primo e tios, que me apoiaram em todo o processo desta caminhada, e ao meu namorado que mesmo nos dias mais difíceis me apoiou e nunca me deixou desistir do curso.

Um último agradecimento especial ao meu sobrinho Henrique, que nesta fase final da caminhada me ajudou a manter-me de pé, mesmo sem perceber.

A todos, o meu muito obrigada.

Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho produtivo e a qualidade tecnológica de 10 linhas avançadas do programa de melhoramento de trigo mole do INIAV, usando 3 variedades comerciais como testemunhas (Acorazado, Paiva e Roxo), nas duas principais regiões produtoras de cereais do país (Alto e Baixo-Alentejo). Realizou-se um ensaio de campo com delineamento experimental em blocos completamente casualizados, com 3 repetições. Foram realizadas avaliações de alguns parâmetros fenológicos relativos aos estágios do ciclo de desenvolvimento do trigo (data de espigamento, período de enchimento do grão, duração do ciclo), alguns parâmetros agronômicos (PMG, grãos/m², produção), além de indicadores gerais de qualidade (hectolitro, proteína e SDS), parâmetros alveográficos (W, P/L) e farinográficos (Ab, Td, St, Enf e IQ). A influência do genótipo (G), ambiente (E) e sua interação (GxE) afetaram todos os parâmetros em estudo, mas com diferente relevância. Para índices agronômicos e alguns de qualidade (hectolitro, proteína, SDS, Ab, Td e St) o ambiente foi o fator mais importante. Para os parâmetros do alveógrafo (W, P/L) e restantes parâmetros do farinógrafo (Enf, IQ) o genótipo foi mais determinante. A interação foi maioritariamente muito significativa, mostrando que os genótipos se comportam de modo diferente conforme o ambiente em que se desenvolvem. Identificaram-se duas linhas avançadas promissoras em termos de produção L8 e L9 (com produções acima de 8500 kg/ha em Beja) que não conseguiram expressar o seu verdadeiro potencial em Elvas. Os resultados de qualidade não foram tão bons, destacando-se a testemunha Acorazado que é considerada uma referência de qualidade. As linhas avançadas com melhor desempenho foram a L3 e L7. As condições climáticas sentidas a sul de Portugal oferecem condições adequadas para a produção de trigo, mas existe uma grande imprevisibilidade nas características obtidas pelos genótipos em termos de produtividade e qualidade, o que dificulta o trabalho do melhoramento e exige a análise de vários anos.

Palavras-chave: Alveógrafo; farinógrafo; melhoramento; produção; qualidade; trigo mole.

Abstract

The aim of the present study was to evaluate the productive performance and technological quality of 10 advanced lines from INIAV's soft wheat breeding program, using 3 commercial varieties as references (Acorazado, Paiva and Roxo), in the two main cereal-producing regions of the country (Alto and Baixo Alentejo). A field trial was carried out with a randomized complete block experimental design, with 3 replications. Evaluations were carried out for some phenological parameters related to the stages of the wheat development cycle (heading date, grain filling period, cycle duration), some agronomic parameters (TGW, grains/m², yield), as well as general quality indicators (hectoliter weight, protein and SDS), alveograph parameters (W, P/L) and farinograph parameters (Ab, Td, St, Enf and IQ). The influence of genotype (G), environment (E) and their interaction (GxE) affected all the parameters under study, but with different relevance. For agronomic indices and some quality parameters (hectoliter weight, protein, SDS, Ab, Td and St), the environment was the most important factor. For the alveograph parameters (W, P/L) and the remaining farinograph parameters (Enf, IQ), the genotype was more determinant. The interaction was predominantly highly significant, showing that genotypes behave differently depending on the environment in which they develop. Two promising advanced lines in terms of yield were identified, L8 and L9 (with yields above 8500 kg/ha in Beja), which failed to express their true potential in Elvas. The quality results were not as good, with the check variety Acorazado standing out as a quality reference. The advanced lines with the best performance were L3 and L7. The climatic conditions experienced in southern Portugal offer suitable conditions for wheat production, but there is great unpredictability in the characteristics obtained by the genotypes in terms of productivity and quality, which complicates breeding work and requires multi-year analysis.

Key words: Alveograph; farinograph; breeding; yield; bread-making quality; bread wheat.

Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

Ab- Absorção da água

Ant- Ântese

C-Colheita

C°- Graus Celsius

DR-*Double Ridge*

E-Ambiente

EG- Enchimento do Grão

Em-Emergência

Enf- Grau de enfraquecimento

ENPPC-Estratégia Nacional para a Promoção da Produção de Cereais

Esp-Espigamento

ET- Espiguetas terminal

FAO-Food and Agriculture Organization

FEADER-Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural

FEAGA-Fundo Europeu Agrícola de Garantia

G-genótipo

g-Grama

GPP-Gabinete de Planeamento Políticas e Administração Geral

H- humidade

ha-hectare

Hec- Massa do hectolitro

hL-hectolitro

HMW- High Molecular Weight

IEG-Início do enchimento do grão

IF-Iniciação Floral

IHE-Identidade, Homogeneidade, Estabilidade

INE-Instituto Nacional de Estatística

INIAV- Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

IPMA-Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IQ- Número de qualidade

K-Potássio

Kcal-Quilocaloria

Kg-Quilograma

L- Extensibilidade

l- litros

LVR- Lista de Variedades Recomendadas

LMW-Low Molecular Weight

m- Metro

m²-Metro quadrado

MF-Maturação fisiológica

Mg-Magnésio

mg- miligrama

min-minutos

mm-Milímetro

NIR- Near-infrared spectroscopy

Nº-Número

P-Fósforo

P-Tenacidade

PAC-Política Agrícola Comum

PEPAC-Plano Estratégico da Política Agrícola Comum

PIB-Produto Interno Bruto

PMG- Massa de mil grãos

Prod- Produção

Prot- Proteína

s-Segundos

SDS-Dodecil Sulfato de Sódio

Se-Sementeira

St- Estabilidade

Td- Tempo de desenvolvimento

Ton- Tonelada

UE- União Europeia

UF- Unidades farinográficas

UN- Unidades

UPP- Proteínas Poliméricas não extraíveis

USDA- United States Department of Agriculture

W-Energia de Deformação

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	iv
Índice Geral.....	vii
Índice de Quadros.....	ix
Índice de Figuras	x
1. Introdução e Objetivos	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objetivos	2
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1. Importância dos cereais na alimentação e nos sistemas agrícolas	3
2.1.1. Importância da cultura do trigo.....	5
2.2. Produção mundial e europeia de trigo.....	6
2.3. Situação de Portugal	9
2.3.1. Produção, áreas semeadas, razões de abandono da cultura.....	9
2.3.2. Consumo e grau de autoaprovisionamento	11
2.3.3. Medidas políticas de incentivo à produção de cereais	13
2.4. Importância de produzir variedades nacionais de trigo	14
2.4.1. Características edafoclimáticas do território português	14
2.4.2. Objetivos do melhoramento genético de trigo	16
2.4.3. O programa de melhoramento de cereais do INIAV.....	17
2.5. Caracterização do trigo mole.....	19
2.5.1. Taxonomia	19
2.5.2. Fenologia	20
2.5.3. Componentes do rendimento de produção.....	21
2.5.4. Estrutura do grão	23
2.5.5. Composição química do grão.....	24
2.5.6. Valor nutricional do grão	24
2.6. Utilizações do trigo mole	25
2.7. Qualidade do trigo mole.....	26
2.7.1. Definição de qualidade.....	26
2.7.2. Testes para avaliar a qualidade.....	27

2.7.3. Especificações.....	28
3. Materiais e Métodos.....	29
3.1. Material vegetal.....	29
3.2. Métodos.....	30
3.2.1. Delineamento experimental e técnicas culturais.....	30
3.2.2. Parâmetros fenológicos.....	31
3.2.3. Parâmetros agronômicos.....	32
3.2.4. Parâmetros de qualidade.....	33
3.2.4.7. Análise Estatística.....	37
4. Resultados e discussão.....	38
4.1. Clima.....	38
4.2. Caracterização fenológica.....	40
4.3. Caracterização agronômica.....	42
4.3.1. PMG, Grãos/m ² e Prod.....	42
4.4. Caracterização de qualidade.....	47
4.4.1. Hec, Prot e SDS.....	47
4.4.2. Alveógrafo.....	51
4.4.3. Farinógrafo.....	55
5. Conclusões.....	60
6. Bibliografia.....	62

Índice de Quadros

Tabela 1: Valor energético e composição dos cereais (hidratos de carbono, proteínas, lípidos, algumas vitaminas e minerais).....	4
Tabela 2: Especificações utilizadas na definição das quatro classes de trigo mole comercialmente consideradas em Portugal	28
Tabela 3: Características gerais dos ensaios de Elvas e Beja, produtos aplicados, a sua concentração e data de aplicação.....	30
Tabela 4: Análise de variância (valor de F e grau de significância) da massa de mil grãos (PMG), número de grãos/m ² (Grãos/m ²), e produção (Prod) em função dos fatores estudados: genótipo, ambiente e sua interação.....	43
Tabela 5: Valores médios para os parâmetros agronômicos testados, influenciados pela interação GxE. Letras diferentes indicam diferenças significativas da combinação GxE de acordo com o teste de Tukey (test ($p \leq 0.05$)).	44
Tabela 6: Análise de variância da massa do hectolitro (Hec), teor proteico (Prot), e volume sedimentação SDS (SDS) em função dos fatores estudados: genótipo, ambiente e sua interação.	48
Tabela 7: Valores médios para os parâmetros de qualidade Hec, Prot, SDS. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas da combinação GxE no caso dos parâmetros em que esta foi significativa. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas dentro de cada ambiente, no caso da proteína em que a interação não foi significativa (de acordo com o teste de Tukey para $p \leq 0.05$).....	49
Tabela 8: Análise de variância dos parâmetros do alveógrafo (W, P/L) em função dos fatores estudados: genótipo, ambiente e sua interação.	52
Tabela 9: Valores médios para os parâmetros de qualidade alveográficos testados, influenciados pela interação GxE. Letras diferentes indicam diferenças significativas da combinação GxE de acordo com o teste de Tukey (test ($p \leq 0.05$)).....	53
Tabela 10: Análise de variância dos parâmetros do farinógrafo (Ab, Td, St, Enf) em função dos fatores estudados: genótipo, ambiente e sua interação.	55
Tabela 11: Valores médios para os parâmetros de qualidade farinográficos testados, influenciados pela interação GxE. Letras diferentes indicam diferenças significativas da combinação GxE de acordo com o teste de Tukey (test ($p \leq 0.05$)).....	56

Índice de Figuras

Figura 1: Evolução da produção mundial de trigo e a sua segmentação pelos 10 principais países produtores.....	7
Figura 2: Evolução da produção de trigo mole e duro na UE ao longo da última década.....	7
Figura 3: Área ocupada com os diferentes tipos de cereais na UE.....	8
Figura 4: a) Maiores produtores de trigo mole e b) de trigo duro na UE. A percentagem refere-se à contribuição da produção de cada país relativamente ao total da UE no valor médio dos últimos cinco anos 2020-2025.....	8
Figura 5: Evolução da área nacional cultivada com trigo	9
Figura 6: Evolução da produção de trigo em Portugal.....	10
Figura 7: Área ocupada com os diferentes tipos de cereais em Portugal.....	11
Figura 8: Evolução do consumo de trigo em Portugal.....	12
Figura 9: Evolução do grau de autoaprovisionamento de trigo em Portugal.....	12
Figura 10: Esquema do programa de melhoramento de cereais autogâmicos.....	18
Figura 11: Representação da estrutura de uma espiga.....	19
Figura 12: Representação dos estágios de desenvolvimento do trigo.....	20
Figura 13: Representação dos componentes de produção do trigo	21
Figura 14: Relação dos componentes de produção com a fase do ciclo de desenvolvimento do trigo em que são definidos.	22
Figura 15: Estrutura de um grão de trigo e principais componentes de cada secção.	23
Figura 16: Principais utilizações do trigo em função do teor proteico e dureza do grão.....	26
Figura 17: Espigamento observado no campo.....	31
Figura 18: Alveograma com expressão dos principais parâmetros	35
Figura 19: Farinograma com expressão dos principais parâmetros.....	36
Figura 20: Temperaturas (máximas e mínimas) e precipitação registados em Beja em 2024/25. Dados fornecidos pela Estação meteorológica do IP. Beja.	38
Figura 21: Temperaturas (máximas e mínimas) e precipitação registados em Elvas em 2024/25. Dados fornecidos pela Estação meteorológica do INIAV-Elvas.....	39
Figura 22: Data de espigamento das linhas de trigo mole e das testemunhas usadas no ensaio em ambos os locais (Quinta da Saúde-Beja e INIAV-Elvas).	40
Figura 23: Período do enchimento do grão das linhas de trigo mole e das testemunhas usadas no ensaio em ambos os locais (Quinta da Saúde-Beja e INIAV-Elvas).....	41
Figura 24: Duração do ciclo para as linhas de trigo mole e as testemunhas usadas no ensaio em ambos os locais (Quinta da Saúde-Beja e INIAV-Elvas).	42

I. Introdução e Objetivos

I.1. Introdução

O trigo mole é uma das culturas cerealíferas mais importantes a nível mundial, assumindo um papel relevante na alimentação humana e animal, na segurança alimentar e na economia global. Este cereal destaca-se por ser uma fonte de consumo de fácil acesso, baixo custo, uma enorme versatilidade de usos (com especial destaque para a panificação) e benefícios para a saúde devido à sua composição bioquímica e quantidade calórica. (Bagulho et al.,2020).

Na UE, o trigo mole (*Triticum aestivum* L.) ocupa cerca de 50% da superfície agrícola destinada aos cereais (GPP, 2020) e tem alcançado produções nos últimos 10 anos sempre superiores aos 100 milhões de ton (Comissão Europeia, 2026). Portugal apesar de ter limitações produtivas em termos de apoios financeiros, solos, clima entre outros, tem a tradição do cultivo deste cereal principalmente na região alentejana onde o clima favorece a produção cerealífera em regime de sequeiro (Anpromis, n.d.). Contudo, a nível nacional, o trigo mole tem vindo a perder expressividade ao longo do tempo, sendo isso resultado de uma grande redução de áreas cultivadas e de produção nacional (Observatório de preços agroalimentar, n.d.). Esta situação contribuiu para uma maior dependência externa causada por um baixo grau de autoaprovisionamento, o que torna o país mais vulnerável às flutuações e instabilidade dos mercados internacionais, às consequências das alterações climáticas e aos valores de rentabilidade deste cereal (GPP, 2025). Tendo em consideração este contexto mostra-se importante investir na pesquisa e desenvolvimento de variedades de trigo mole mais produtivas, estáveis e adaptadas às condições edafoclimáticas que se fazem sentir no país, fazendo assim bastante sentido a realização deste trabalho por parte do INIAV. O processo do melhoramento genético é uma atividade que tem como finalidade obter genótipos com melhor adaptação, maior estabilidade e qualidade tecnológica, capazes de responder às exigências das indústrias transformadoras e aos desafios de um mundo em constante mudança, tratando-se por isso, de uma área de estudo de grande importância que acompanha a evolução da humanidade desde os seus primórdios.

I.2. Objetivos

O presente trabalho teve como principal objetivo a avaliação dos componentes de produção e de diversos parâmetros indicadores da qualidade tecnológica do trigo, num ensaio de adaptação de segunda época do Programa de melhoramento de cereais do INIAV-Elvas, correspondente à avaliação de materiais vegetais de hábito de crescimento primaveril, caracterizados por um desenvolvimento mais rápido e por um ciclo vegetativo mais curto, constituído por 13 linhas e realizado simultaneamente em Elvas e em Beja.

A partir da análise estatística destes resultados pretende-se:

- compreender a influência do genótipo (G), do ambiente (E) e da interação (GxE) nos diferentes parâmetros estudados;
- compreender quais as linhas mais adaptadas e com melhor desempenho produtivo nas duas regiões analisadas;
- compreender quais as linhas com melhor potencial genético de qualidade e com estabilidade dessas características nos dois ambientes;
- compreender como é que as condições climáticas do sul de Portugal afetam a produção e qualidade do trigo em Portugal;
- seleccionar as linhas que apresentaram simultaneamente melhor potencial produtivo e tecnológico.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Importância dos cereais na alimentação e nos sistemas agrícolas

Os cereais são pilares fundamentais nos sistemas agrícolas atuais, desempenhando papéis importantes a nível alimentar, económico, social e agronómico.

No domínio alimentar, os produtos cerealíferos são uma fonte de consumo de fácil acesso, baixo custo e com uma enorme versatilidade quanto aos produtos a que dão origem. Estes produtos encontram-se na base da pirâmide alimentar saudável, devido à sua composição nutricional, que traz inúmeros benefícios para a saúde. São uma fonte de hidratos de carbono de elevada qualidade, proteínas (contendo a maioria dos aminoácidos essenciais), fibra dietética, vitaminas (em particular do complexo B), minerais e antioxidantes, especialmente quando consumidos na forma integral (Bagulho et al., 2020; Pal & Molnár, 2021). São ainda importantes na prevenção de algumas doenças crónicas, como as doenças cardiovasculares (onde alguns componentes desempenham um efeito cardioprotetor), o cancro e a diabetes tipo II (Garutti et al., 2022). A constatação da importância do valor nutricional dos cereais tem levado a alterações no seu processamento tecnológico, com recurso a processos cada vez mais conservadores que evitam a sua degradação nutricional (por exemplo hidrotérmicos), bem como à promoção do seu consumo na forma integral. Existem atualmente várias recomendações nutricionais que visam promover o seu consumo na forma integral e em quantidades adequadas (Healthgrain Forum, n.d.), para que o aproveitamento do seu valor nutricional seja maximizado, quando integrado numa dieta saudável (Pal & Molnár, 2021). Dos cereais os que mais se destacam em termos nutricionais são o trigo, o centeio e a aveia (Pal & Molnár, 2021). O trigo diferencia-se pelo seu valor energético, riqueza em hidratos de carbono, proteínas, algumas vitaminas e macro e microelementos minerais (K, P, Mg) (Tabela I).

Os cereais, ao constituírem matéria-prima para vários tipos de indústrias, geram valor e impulsionam a economia. São utilizados na indústria alimentar, fornecendo a maior parte das calorias e dos nutrientes à população humana, assumindo, por isso, importância

estratégica para a segurança alimentar. São também usados para a produção de rações para a alimentação animal, afetando também inúmeras indústrias derivadas deste setor. Além disso, são utilizados como matéria-prima para produção de bioenergia, onde os grãos de cereais e os seus resíduos agrícolas são transformados em combustíveis líquidos, biogás e biocombustíveis sólidos. Com todas estas utilizações, os cereais acabam por ter um enorme impacto no produto interno bruto (PIB) de muitos países, bem como no comércio internacional. As indústrias envolvidas no processamento de cereais contribuem significativamente para a economia, criando empregos e diversificando a gama de produtos disponíveis ao público.

Tabela I: Valor energético e composição dos cereais (hidratos de carbono, proteínas, lípidos, algumas vitaminas e minerais)

	Arroz	Aveia	Centeio	Cevada	Milho	Trigo
Valor Energético (kcal)	347	366	352	324	368	373
Hidratos de Carbono (g)	78,1	61,7	69,0	64,4	70,3	69,0
Proteínas (g)	6,7	13,5	12,0	8,3	9,3	14,0
Lípidos (g)	0,4	5,8	2,0	2,0	4,9	2,5
Tiamina (mg)	0,06	0,27	0,35	0,12	0,63	0,08
Riboflavina (mg)	0,03	0,1	0,17	0,03	0,18	0,15
Niacina (mg)	2,0	2,4	1,8	5,7	1,6	4,1
Sódio (mg)	6	4	40	5	14	11
Potássio (mg)	94	350	530	280	290	410
Cálcio (mg)	13	40	64	18	14	11
Fósforo (mg)	87	220	370	220	190	300
Magnésio (mg)	32	120	110	70	110	140
Ferro (mg)	0,6	1,3	3,7	3,2	2,5	2,4

Fonte: (Associação portuguesa de nutrição, 2023).

Considerando a natureza volátil dos preços dos cereais, as suas flutuações podem conduzir ao aumento dos custos alimentares e afetar potencialmente a sua acessibilidade às populações, especialmente em países que dependem fortemente das importações de cereais (Panciu & Barbu, 2025).

Os cereais têm, ainda, um papel socioeconómico indireto, pois são culturas resilientes que se adaptam a terrenos menos férteis e produtivos, evitando o abandono do território, fixando populações em zonas mais marginais e contribuindo para a criação de emprego.

Do ponto de vista agronómico, os cereais estão associados a sistemas agrícolas tradicionais, nos quais ocorre a produção de culturas temporárias associada à produção animal, com produção de grão e aproveitamento do restolho e palhas para alimentação animal. Inerente a estes sistemas agrícolas está também a rotação de culturas (cereais e leguminosas) que permite melhorar a estrutura e fertilidade do solo, bem como promover a quebra de ciclos de pragas e infestantes.

2.1.1. Importância da cultura do trigo

De entre os cereais, o trigo é o terceiro cereal mais produzido no mundo (depois do arroz e do milho), e o segundo mais utilizado na alimentação humana, constituindo o alimento básico para milhões de pessoas em todas as regiões do planeta (FAO, 2026a). Ao redor do mundo este cereal supre cerca de 20% das necessidades das calorias humanas e 40% das necessidades de proteína (Li et al., 2022).

O trigo é uma gramínea originária do “Crescente Fértil”, uma zona geográfica compreendida desde a região a norte do rio Nilo até à região do Médio Oriente (atuais Iraque e Kuwait) (Embrapa, 2021). Segundo Giles (2004), acredita-se ainda que tenha surgido num contexto de cultivo humano uma vez que não é naturalmente encontrado na natureza. Rapidamente se difundiu por todo o mundo como cultura preponderante, chegando a Portugal antes da própria nacionalidade (Barradas et al., 1996).

Existem várias espécies de trigo, mas as duas principais espécies comerciais são o trigo mole (*Triticum aestivum*, L.) e o trigo duro (*Triticum durum* Desf.), que diferem do ponto de vista genético, fisiológico e características do grão, afetando a sua funcionalidade e

utilização. A partir do trigo mole obtêm-se farinha que é utilizada maioritariamente para consumo humano, nomeadamente na panificação, tendo ainda outras utilizações como, por exemplo, o fabrico de bolachas, confeitaria ou usos culinários diversos (Bagulho et al., 2020). A partir do trigo duro obtêm-se sêmolas, um produto de granulometria superior à farinha, usadas maioritariamente no consumo humano. Nos países ocidentais, as sêmolas destinam-se ao fabrico de massas alimentícias (Bagulho et al., 2022), enquanto em alguns países do Norte de África e do Médio Oriente são utilizadas para o fabrico de produtos típicos como os couscous, o bulghur e o frekeh (Moreira, 2023).

De todos os trigos cultivados, o trigo mole é o que apresenta maior importância económica devido à diversidade de produtos finais e à sua importância na alimentação.

2.2. Produção mundial e europeia de trigo

A produção mundial de trigo de forma global tem apresentado um ligeiro aumento como se pode observar na Figura 1. A média de produção global dos dados mais recentes que se referem ao período de 2015-2024 apresentam uma média de produção de 768,18 milhões de toneladas observando-se neste período um crescimento médio de 0.80% na produção deste cereal (USDA, 2026). Segundo a Food and Agriculture Organization (FAO, 2026a), o aumento registado deve-se a maiores rendimentos de trigo em países como a Argentina, Canadá e até a própria União Europeia (UE) que aumentaram a produção mundial de trigo para um novo recorde histórico.

Da Figura 1 também se pode observar que os principais países produtores de trigo são a China (com 140,1 milhões de toneladas em 2025), a UE (122,1 milhões de toneladas), a Índia (113,3 milhões de toneladas), a Rússia (81,6 milhões de toneladas) e os Estados Unidos (53,8 milhões de toneladas), os quais, em conjunto, somam mais de 50% da produção mundial de trigo.

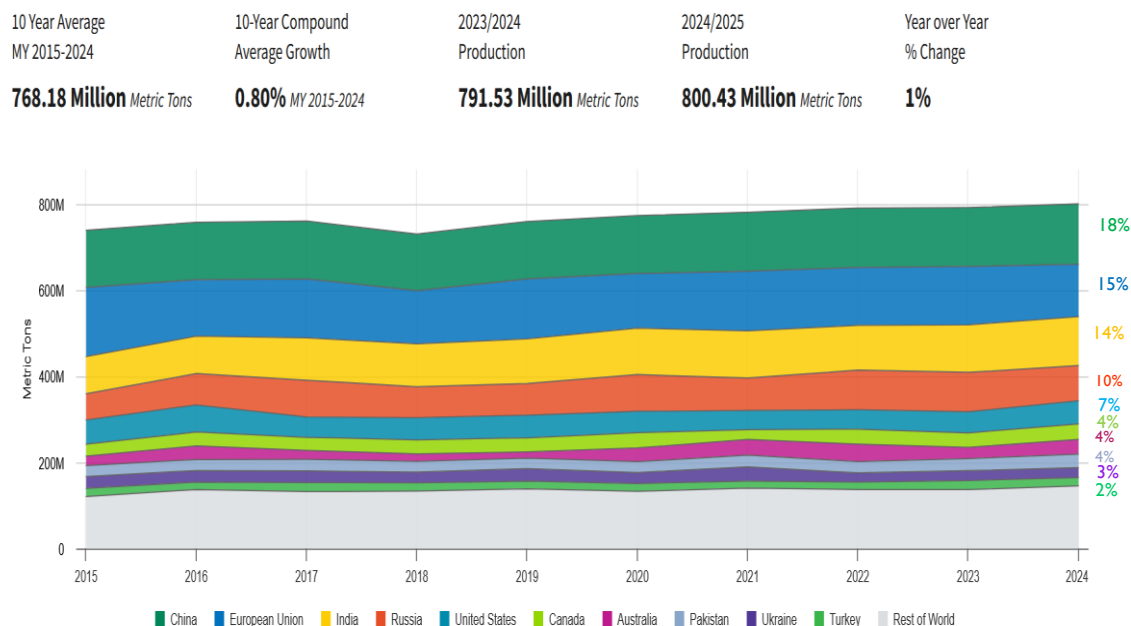


Figura 1: Evolução da produção mundial de trigo e a sua segmentação pelos 10 principais países produtores
 Fonte:(USDA, 2026).

Na Figura 2 são apresentados os dados de produção de trigo mole e duro da UE, observando-se que esta tem sofrido oscilações nos últimos anos, embora a produção total de trigo nunca tenha atingido valores iguais ou superiores a 150 milhões de toneladas.

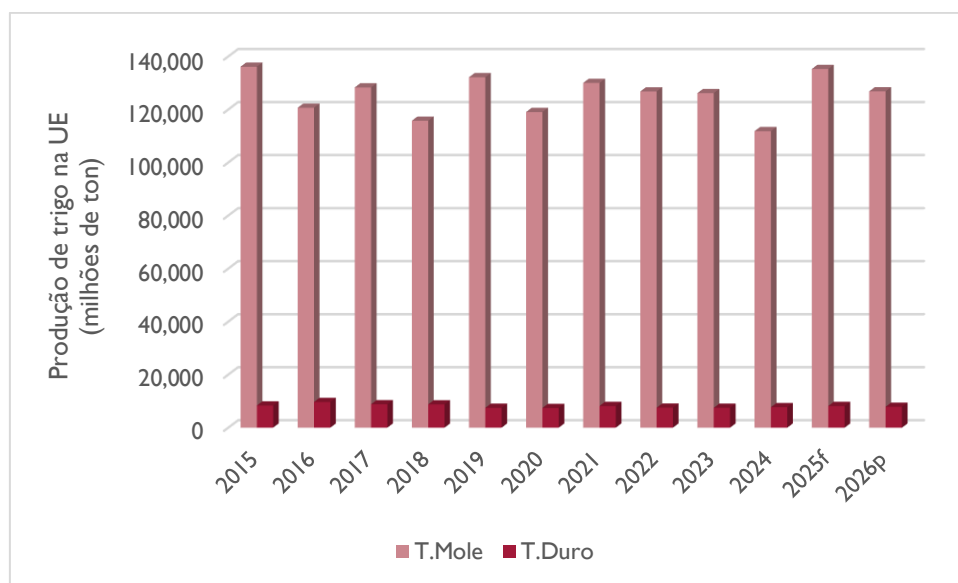


Figura 2: Evolução da produção de trigo mole e duro na UE ao longo da última década
 Fonte:(Comissão Europeia, 2026).

É também de ressaltar a predominância da produção de trigo mole em relação ao trigo duro (Figura 2). A UE é o segundo maior produtor mundial de trigo, sendo o trigo mole a cultura dominante, representando mais de 50% da área de cereais cultivados, como ilustrado na Figura 3.

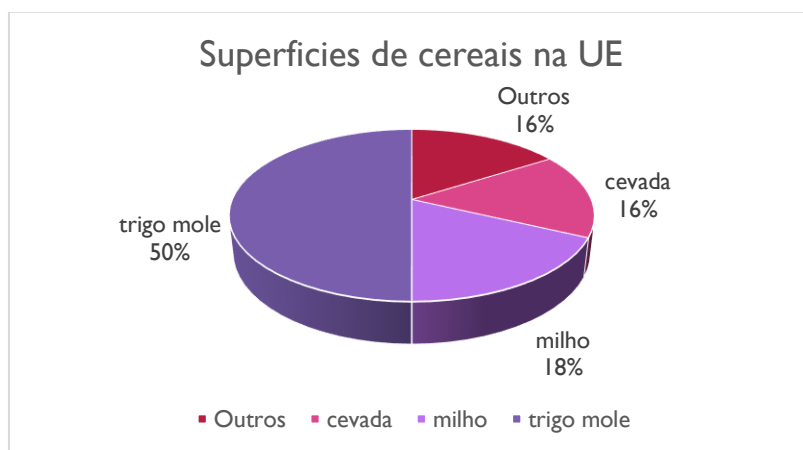


Figura 3: Área ocupada com os diferentes tipos de cereais na UE
Fonte:(GPP, 2020).

Na UE, os principais países produtores de trigo mole (Figura 4a) são a França (26%) e a Alemanha (17%), seguidas da Polónia (10%), da Roménia (8%), da Bulgária e de Espanha (ambos com 5%).

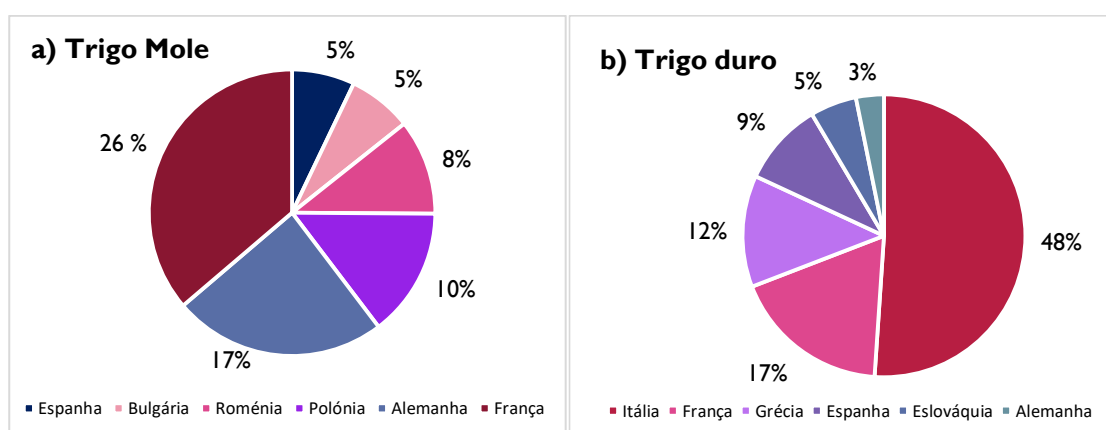


Figura 4: a) Maiores produtores de trigo mole e b) de trigo duro na UE. A percentagem refere-se à contribuição da produção de cada país relativamente ao total da UE no valor médio dos últimos cinco anos 2020-2025
Fonte:(Eurostat, 2026).

Já no caso do trigo duro (Figura 4b), a produção concentra-se sobretudo em países do sul da Europa, junto ao Mediterrâneo, com destaque para Itália (48%), França (17%), Grécia (12%), Espanha (9%), Eslováquia (5%) e Alemanha (3%). Assim sendo, a produção de trigo mole dentro da UE vem essencialmente de França, enquanto a de trigo duro é originária principalmente de Itália (GPP, 2025).

2.3. Situação de Portugal

2.3.1. Produção, áreas semeadas, razões de abandono da cultura

Na Figura 5 é apresentada a evolução da superfície cultivada de trigo a nível nacional, ao longo dos últimos anos.

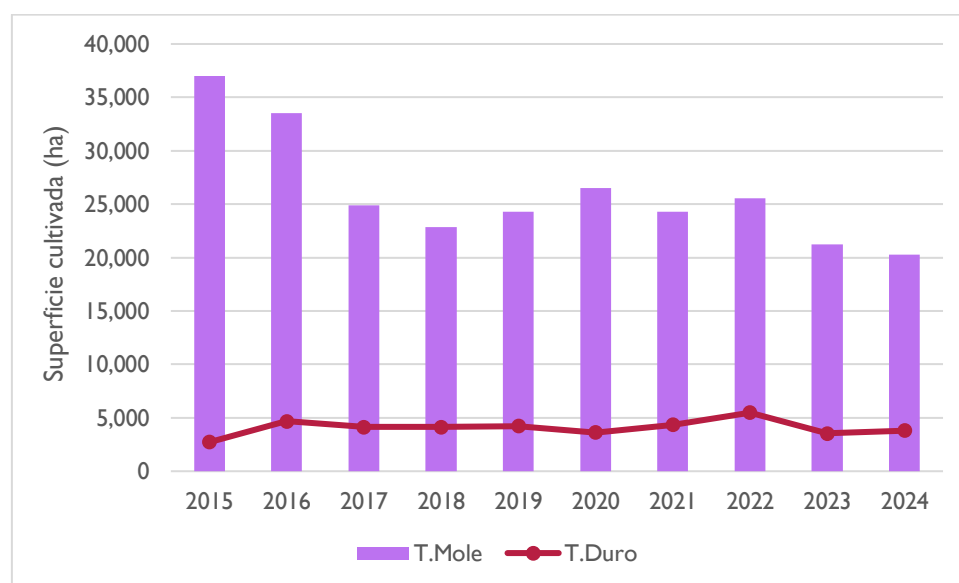


Figura 5: *Evolução da área nacional cultivada com trigo*
Fonte:(GPP, 2026).

Verifica-se um decréscimo acentuado principalmente no trigo mole, pois a área ocupada com trigo duro já é de há vários anos residual. Este decréscimo contínuo tem-se observado desde o início do milénio com uma redução de 87% nos últimos 20 anos. A situação do trigo duro acentuou-se após 2005, com o desligamento dos apoios

(Observatório de Preços Agroalimentar, n.d.). Segundo as previsões para 2026, esta tendência continuará a verificar-se (INE, 2026).

Na Figura 6, é apresentada a evolução da produção de trigo em Portugal. Segundo o observatório agroalimentar, nos últimos anos tem ocorrido um decréscimo da produção de trigo com oscilação dos valores de produção das duas espécies. Várias razões têm levado ao abandono desta cultura, nomeadamente as condições meteorológicas adversas ocorridas nos últimos anos, o aumento dos preços dos fatores de produção e o aumento das áreas semeadas com culturas permanentes (olival, vinha e amendoal) que são atualmente mais rentáveis (GPP, 2025). Em 2024 a situação inverteu-se e a produção de trigo mole duplicou relativamente a 2023.

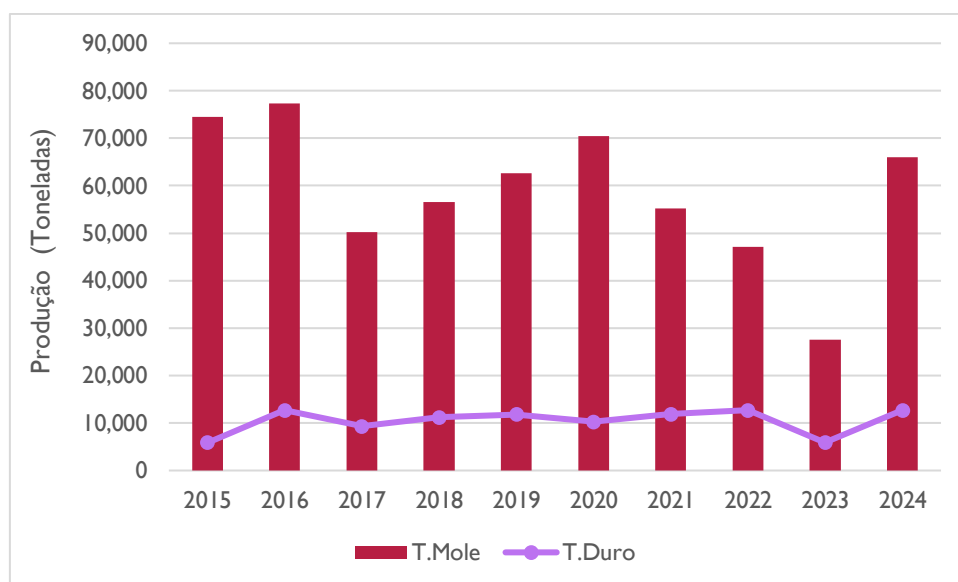


Figura 6: *Evolução da produção de trigo em Portugal*
Fonte:(GPP, 2026).

Tendo em conta a diminuição das áreas semeadas de trigo em Portugal, estes valores só são justificáveis por um aumento da sua produtividade. Os dados mais recentes apresentados na Figura 6 destacam uma produção nacional de trigo de 78,6 milhares de toneladas, com predominância do trigo mole (83,9%) em relação ao trigo duro (16,1%). O Alentejo é a principal região produtora de trigo, produzindo cerca de 82% do trigo nacional (GPP, 2025).

Os cereais representam 3,1% da produção agrícola nacional, sendo o milho o cereal com maior peso na produção de cereais (62%), seguido do arroz (18%) e do trigo (14%), como se pode observar na Figura 7.

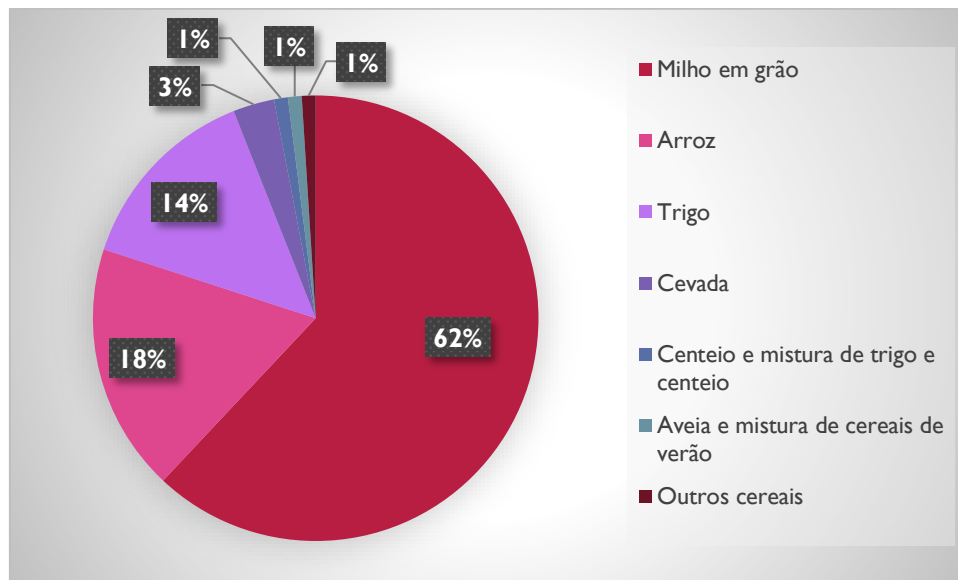


Figura 7: Área ocupada com os diferentes tipos de cereais em Portugal
Fonte: (GPP, 2025).

2.3.2. Consumo e grau de autoaprovisionamento

Na Figura 8 pode observar-se que o consumo interno de trigo nos últimos anos tem aumentado, sobretudo para a alimentação humana e também para a produção animal. Todo o contexto internacional envolvente, com sucessivos distúrbios como a pandemia, a invasão da Ucrânia pela Rússia e o recente conflito do Médio Oriente também estão a ter um impacto evidente em Portugal, país este que já é deficitário e depende das importações deste cereal, e que assim se encontra numa situação ainda mais vulnerável e fragilizada (GPP, 2025).

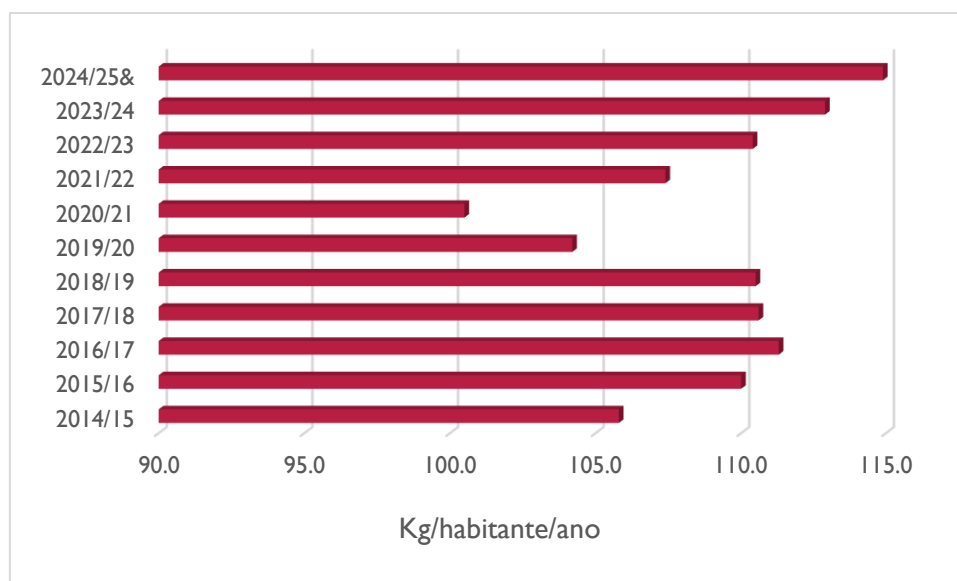


Figura 8: *Evolução do consumo de trigo em Portugal*
 Fonte: (Adaptado de INE, 2026a e GPP, 2026).

Na Figura 9 pode observar-se a evolução do grau de autoaproveitamento de trigo ao longo dos últimos 35 anos. Em termos de balança comercial, Portugal foi sempre deficitário de trigo, embora o nível de autoaproveitamento tenha passado de cerca de 46% para 4,8% nos últimos 34 anos. Na origem deste acentuado decréscimo está a diminuição das áreas semeadas com trigo, não acompanhada por um crescimento de valores de produção, e ainda o aumento do seu consumo.

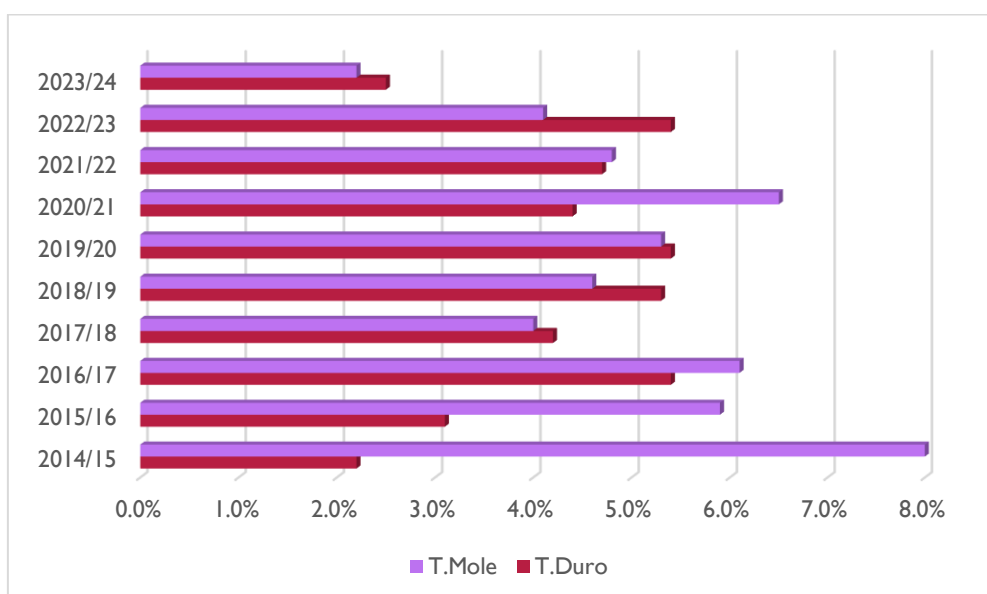


Figura 9: *Evolução do grau de autoaproveitamento de trigo em Portugal*
 Fonte: (GPP, 2026).

No que respeita às importações, a França assume-se como o principal fornecedor nacional de trigo (49%), ao passo que as exportações, apesar de pouco significativas, destinam-se maioritariamente para Espanha (INE, 2026a).

2.3.3. Medidas políticas de incentivo à produção de cereais

Como já foi referido anteriormente, Portugal enquanto país deficitário em cereais e com elevado consumo, depende do mercado externo para o seu abastecimento em cereais para moagem e alimentação animal. Estando localizado na Europa num nível mais periférico, encontra-se numa situação muito vulnerável a um contexto de crises, como as que têm surgido recentemente (pandemias, guerras) e podem vir a surgir num futuro próximo (GPP, 2025).

Ciente deste problema, o governo publicou em 2018, em Diário da República, uma Estratégia Nacional para a Promoção da Produção de Cereais (ENPPC) com várias medidas que visavam estimular a produção de cereais em Portugal. Esta estratégia não teve o impacto desejado e o grau de autoaprovisionamento de cereais continuou a manter-se reduzido, rondando os 19% no que diz respeito aos cereais em geral e 5% no caso do trigo mole (GPP, 2025).

No final de 2025 foi publicada em Diário da República uma nova Estratégia Nacional designada de +CEREAIS que procura dar continuidade às políticas anteriores no sentido de aumentar a produção de cereais em Portugal, o nível de autoaprovisionamento e conferir uma maior autonomia alimentar ao país. Nesta nova estratégia, foram definidos 3 objetivos que visam o aumento sustentável na produção de cereais de forma a garantir “+Rendimento, + Organização e +Resiliência”. Foram definidas medidas prioritárias que seriam implantadas de forma urgente, e medidas estratégicas que seriam de implementação a médio prazo para que se conseguisse reforçar a competitividade do setor cerealífero.

Além da estratégia mencionada, encontra-se atualmente em vigor o Plano Estratégico da PAC (PEPAC 2023-2027) que é mais abrangente, mas persegue os mesmos objetivos das estratégias anteriores em relação aos cereais e procura alcançá-los através da

implementação de diversas medidas e da cedência de apoios financeiros aos agricultores. Estes apoios são financiados pelo Fundo Europeu Agrícola de Garantia (FEAGA) que assegura principalmente os pagamentos diretos aos agricultores e pelo Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural (FEADER) que financia os projetos de desenvolvimento rural (GPP, 2026).

Todas estas medidas procuram como finalidade um aumento de produção no setor dos cereais. Caso estas medidas se mostrarem ineficientes nos seus resultados o país não recuperará os seus níveis de produção e autoaprovisionamento e com isso ficará ainda mais dependente de mercados externos que estão cada vez mais instáveis devido ao atual contexto global. Esta instabilidade a nível nacional pode resultar em dificuldades na cadeia de abastecimento, maior vulnerabilidade económica e social e numa menor capacidade de resposta a potenciais crises internacionais.

2.4. Importância de produzir variedades nacionais de trigo

2.4.1. Características edafoclimáticas do território português

A relação da variabilidade climática e edáfica de Portugal é fundamental para a compreensão do desempenho produtivo do trigo (Bartolini & Coderoni, 2025). Ao longo do tempo tem-se observado uma diminuição da produção do trigo em Portugal, que se deve, segundo estes autores, tanto às condições climáticas adversas como à fraca qualidade dos solos do país.

Ao nível dos solos, a intensificação da agricultura, associada a uma gestão incorreta dos solos e a uma rotação de culturas inadequada, foi acentuada a sua erosão ao longo dos tempos. Este processo tem igualmente contribuído para a diminuição sucessiva da eficácia das fertilizações orgânicas e uma maior aplicação de fertilizações químicas (Carmo & Domingos, 2021), tendência que se tem vindo a tentar reverter nos últimos anos.

Acresce ainda o facto dos solos com melhor potencial produtivo e possibilidade de regadio, estarem ocupados com culturas permanentes atualmente mais rentáveis (olival, amendoal, vinha), e, de outras áreas terem sofrido urbanização, abandono agrícola e degradação acentuada, fatores estes que impedem a sua utilização futura para fins produtivos (Bartolini & Coderoni, 2025).

Segundo a FAO (FAO, 2026b), o trigo é uma cultura com elevada adaptação a várias regiões e condições. A temperatura mínima diária necessária para o seu desenvolvimento adequado é de cerca de 5°C, enquanto a temperatura média diária ótima ronda os 15 – 20°C. Durante o período de maturação do grão, as temperaturas devem ir além de 18°C. Para produtividades mais elevadas as necessidades hídricas rondam os 450-650 mm.

Portugal caracteriza-se pelo seu clima mediterrânico, com invernos normalmente chuvosos (dependendo das regiões) e verões quentes e secos. Em termos de precipitação média anual, os valores mais baixos encontram-se na região do Alentejo (IPMA) que é a principal região produtora de cereais em Portugal. Nas nossas condições, o trigo é uma cultura de outono/inverno que tem de enfrentar a instabilidade interanual típica do clima mediterrâneo.

Quanto às condições edáficas (FAO, 2026b) o trigo pode ser cultivado numa grande variedade de solos, embora sejam preferíveis os de textura média. A matéria orgânica também é muito importante, sendo que o aumento dos níveis de carbono orgânico no solo contribui significativamente para o aumento da produtividade do trigo e melhoria do seu teor proteico (Dang et al., 2024). O pH mais adequado varia entre 6 e 8, devendo evitar-se níveis elevados de salinidade, uma vez que o trigo apresenta tolerância moderada. Adicionalmente, não são aconselháveis elevados níveis de ferro, magnésio e sódio no solo.

Portugal possui solos extremamente diversos oferecendo uma grande variedade de opções para uso agrícola (Consulai, n.d.). Na região do Alentejo, principal região produtora de cereais em Portugal, conseguem-se observar características bastante diferentes consoante a sub-região: a oeste predominam regossolos (solos arenosos), no interior predominam luvisolos e cambissolos, existindo ainda litossolos embora de forma residual. Estes últimos são, geralmente, menos férteis e usados para culturas menos exigentes, quando existe disponibilidade de água. Por outro lado, muitas das áreas

de cambissolos e luvisolos são bastante férteis, com solos argilosos, profundos e com elevado potencial para uso agrícola principalmente quando há disponibilidade de água. Os solos em Portugal são ácidos (4,6-5,5) ou ligeiramente ácidos (5,6-6,5) existindo também, solos ligeiramente básicos (6,6-8,5) (INFOSOLO, 2025). No que respeita ao teor de matéria orgânica, os maiores teores ocorrem no norte do país, enquanto no sul, na região do Alentejo, os valores são mais reduzidos e inferiores a 0,9 % na maior parte da região.

De um modo geral, Portugal apresenta condições adequadas para o cultivo de trigo, com temperaturas médias enquadradas nos valores necessários à vernalização, crescimento e maturação do grão. A precipitação de primavera é frequentemente insuficiente, mas o trigo é uma cultura resiliente, que beneficia das situações de regadio. Os solos apresentam na sua maioria textura compatível com as exigências do trigo, apesar do pH ser frequentemente reduzido, tal como a matéria orgânica.

2.4.2. Objetivos do melhoramento genético de trigo

O trigo representa mais de um terço das fontes de alimento de uma população mundial que se encontra em crescimento exponencial. Além disso, a diminuição da área de terras aráveis e a interferência das alterações climáticas obrigam a um futuro crescimento do rendimento deste cereal. É exatamente este o desafio do melhoramento genético: aumentar a produção e melhorar a qualidade tecnológica e nutricional do trigo.

O melhoramento genético deste cereal assenta na produção de variedades nacionais, bem-adaptadas às condições edafoclimáticas do país, que possam responder mais adequadamente aos constrangimentos das alterações climáticas. Com as alterações climáticas, ocorrem mais frequentemente episódios extremos, como por exemplo chuvas outonais abundantes que conduzem a fenómenos de alagamento e asfixia radicular ou períodos mais prolongados de temperaturas elevadas e reduzida precipitação, que provocam escassez de água no solo em períodos mais adiantados do seu desenvolvimento. Estes fenómenos intensificam os stresses bióticos e abióticos já existentes, e que por si só já eram um desafio para os programas de melhoramento do trigo.

Para além do melhoramento genético tradicional, o melhoramento dispõe hoje de novas ferramentas de apoio e tecnologias que podem acelerar o processo de obtenção de novas variedades mais adequadas e adaptadas às práticas agrícolas mais intensivas e capazes de suportar os fatores extremos das alterações climáticas (Mao et al., 2023; Shaheen et al., 2025; Tian et al., 2026).

2.4.3. O programa de melhoramento de cereais do INIAV

O Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV) é um laboratório do estado que tem como missão desenvolver conhecimento científico e tecnológico de apoio às políticas públicas e promover a competitividade e inovação nos setores alimentar, agroflorestal e veterinário. Para cumprir esses objetivos o INIAV realiza investigação, experimentação e demonstração científica, prestando apoio laboratorial e técnico ao estado nestes setores. O INIAV tem a seu cargo os programas nacionais de melhoramento genético de várias espécies, como é o caso dos cereais autógânicos (INIAV, n.d.).

Neste programa de melhoramento genético convencional (Figura 10), o processo inicia-se com um cruzamento artificial, com emasculação da espiga (retiram-se as anteras da flor), seguida de polinização e proteção da espiga até se obter o grão (F1). A segunda geração (F2) vai expressar a segregação máxima (maior variabilidade de características). Nas gerações seguintes F3 e F4 a maioria das características tornam-se mais evidentes, o que permite uma melhor seleção de plantas. Nas gerações F4 e F5, a seleção é quase que inteiramente feita entre as plantas das melhores famílias. A partir da F6 os genótipos já possuem elevado grau de homozigocidade, o que permite que a partir daqui possam ser realizados ensaios de produção e ensaios multilocais de adaptação, com o objetivo de se obter uma nova variedade com características superiores às existentes. A nova variedade é posteriormente inscrita no Catálogo Nacional de Variedades e seguidamente comercializada. Este processo é longo e dinâmico, sendo necessários cerca de 12 anos para se obter uma nova variedade (Pinheiro et al., 2021).

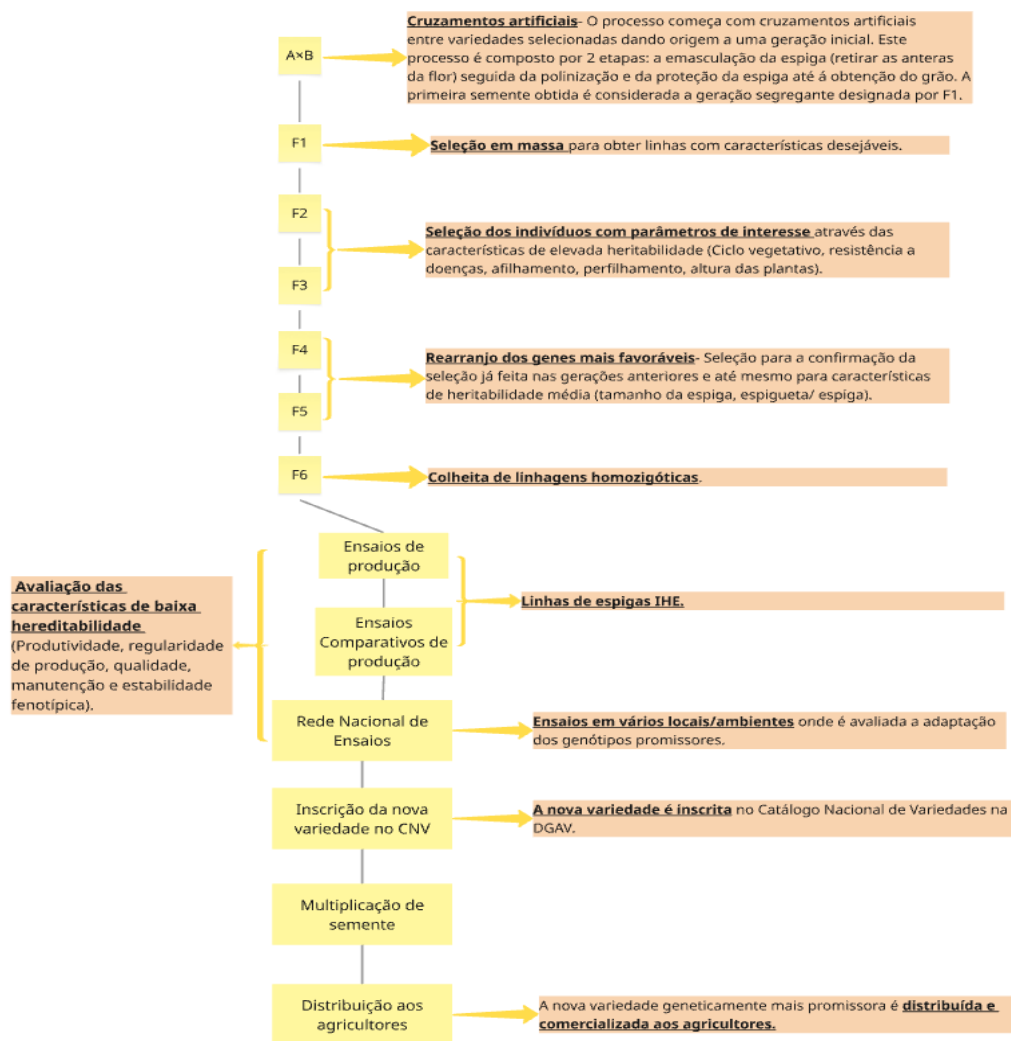


Figura 10: Esquema do programa de melhoramento de cereais autógamos
 Fonte:(INIAV, n.d.).

O sucesso deste processo está dependente da variabilidade da população original, do ambiente e da capacidade de aumentar, combinar e seleccionar estas variabilidades desejadas (Pinheiro et al., 2021).

Esta atividade de melhoramento está focada nas necessidades e problemas dos agricultores, das indústrias e também dos consumidores. Dito isto, torna-se importante que este trabalho seja conduzido de forma a culminar num germoplasma com bom potencial produtivo, adaptabilidade ao ambiente e com boa qualidade tecnológica de utilização, de forma a assegurar a viabilidade económica de todo o setor (Pinheiro et al., 2021).

2.5. Caracterização do trigo mole

2.5.1. Taxonomia

O *Triticum aestivum* L., conhecido como trigo mole, é uma planta pertencente à família *Poaceae* (gramíneas), subfamília *Pooideae* e ao género *Triticum* (Scheuer et al., 2011). É uma gramínea anual, de porte médio com folhas planas e uma espiga floral terminal composta por flores perfeitas. O seu estado vegetativo é caracterizado por perfilhos que sustentam colmos folhosos axilares. Estes colmos são constituídos por cinco a sete nós com três a quatro folhas, sendo que a folha mais superior, a designada folha bandeira, é a que sustenta a inflorescência. Cada colmo produz uma espiga composta (subdividida em espiguetas) ou produz uma inflorescência. Estas espiguetas nascem a partir do eixo principal designado de ráquis, e são separadas por entrenós curtos. Cada espigueta representa um caule reprodutivo constituído por um par de brácteas estéreis ou glumas subtendidas. As flores do trigo mole são constituídas por 3 estames com anteras grandes e o pistilo que tem um único ovário com um só óvulo, dois estiletes e dois estigmas plumosos ramificados na extremidade de cada estilete (Canadian Food Inspection Agency, n.d.). É uma espécie hexaplóide (AABBDD), com 42 cromossomas (contém 6 cópias de cada um dos seus 7 cromossomas $2n=42$).

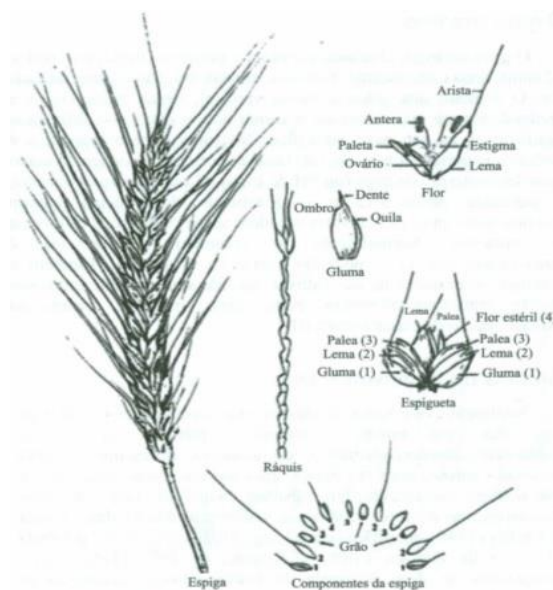


Figura 11: Representação da estrutura de uma espiga
Fonte:(Embrapa, 2021).

2.5.2. Fenologia

A fenologia de uma planta pode ser definida pela sequência de acontecimentos fenológicos controlados por fatores ambientais e genéticos que estabelecem mudanças funcionais e morfológicas na planta e que levam à acumulação de biomassa (Pinheiro, 2025).

Existem diversas escalas usadas para descrever essa sequência de acontecimentos do ciclo do trigo e outros cereais. Segundo Miller (1999) a escala usada não é muito importante desde que o agricultor tenha conhecimento relativo ao hábito de desenvolvimento do trigo e de como uma gestão efetiva em estágios específicos pode afetar a sua produção e rendimento.

Para caracterizar o desenvolvimento do trigo podem usar-se várias escalas ou códigos de desenvolvimento, sendo a escala de Zadoks a mais amplamente usada em cereais (Celestina et al., 2023; Miller, 1999).

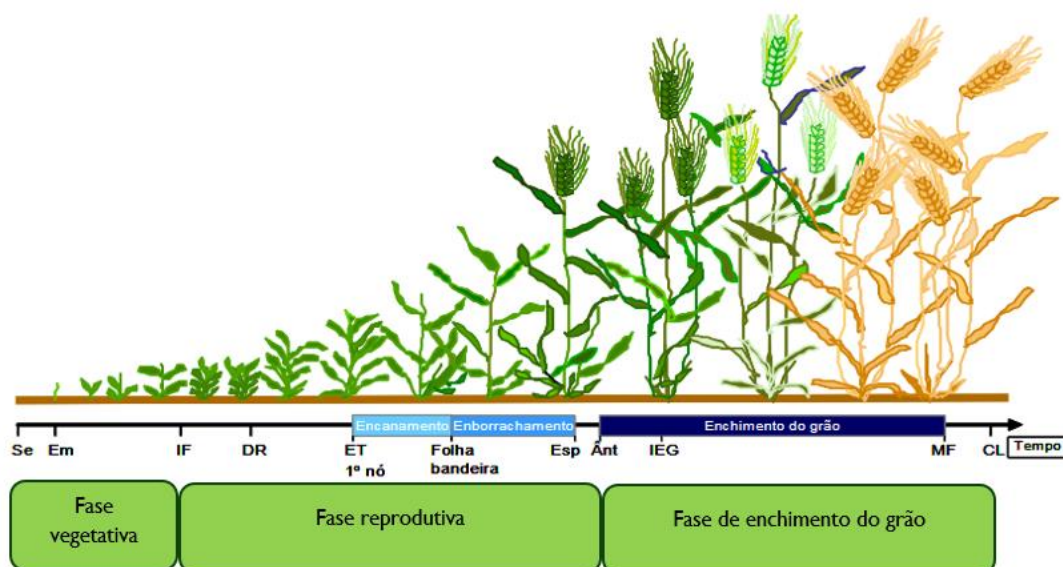


Figura 12: Representação dos estágios de desenvolvimento do trigo
Fonte: (Adaptado e modificado de Slafer & Rawson, 1994).

Na Figura 12 encontram-se descritos todos os estágios do ciclo de desenvolvimento do trigo: a fases de sementeira (Se), emergência (Em), iniciação floral (IF), “Double Ridge”

(DR), formação da espiguetas terminal (ET), espigamento (Esp), ântese (Ant), início do enchimento do grão (IEG), maturação fisiológica (MF) e colheita (C).

As fases mais importantes nos hábitos de crescimento do trigo são a emergência, o início do alongamento dos caules, a floração e o período de enchimento do grão (Pinheiro, 2025).

2.5.3. Componentes do rendimento de produção

A produção é influenciada por uma interação complexa entre fatores genéticos, ambientais e práticas de manejo da cultura. Estes fatores condicionam a fenologia da planta, isto é, a duração e ritmo das diferentes fases de desenvolvimento ao longo do ciclo cultural e esta determina diretamente a formação dos componentes de rendimento, estabelecendo-se uma relação de causa-efeito. Assim os fatores genéticos, ambientais e culturais influenciam a fenologia, e esta por sua vez condiciona a expressão final da produção (Ransom et al., 2007; Slafer et al., 2014).

A produção é determinada a partir do peso e do número de grãos obtidos numa determinada área, sendo este último dependente do número de grãos por espiga e do número de espigas existentes nessa área. O número de grãos por espiga depende do número de espiguetas que existem em cada espiga e do número de grãos em cada espiguetas. Já o número de espigas depende do número de plantas existentes nessa área e do número de espigas por planta (Figura 13).

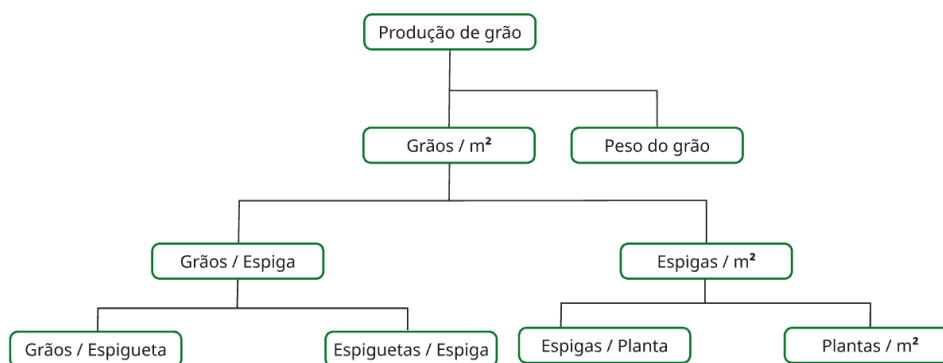


Figura 13: Representação dos componentes de produção do trigo
Fonte: (Adaptado de Pinheiro, 2025).

Estes componentes de rendimento vão-se formando em diferentes momentos do ciclo de desenvolvimento da planta (Slafer & Rawson, 1994), de acordo com a Figura 14, onde se relacionam os componentes da produção com a fase do ciclo em que são definidos.

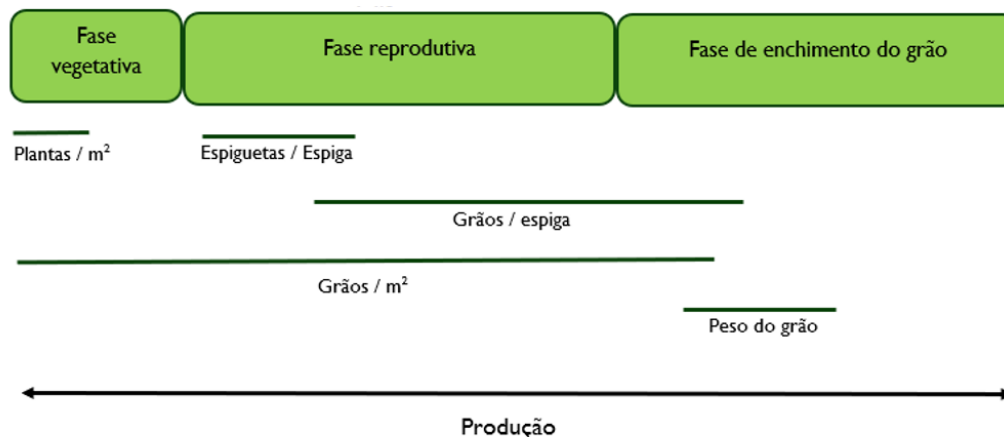


Figura 14: *Relação dos componentes de produção com a fase do ciclo de desenvolvimento do trigo em que são definidos*

Fonte: (Adaptado de Pinheiro, 2025 e Slafer & Rawson, 1994).

Dentro dos componentes do rendimento ocorrem variações devido às condições a que as plantas são sujeitas. A plasticidade dos componentes geralmente segue uma hierarquia, sendo que os componentes de formação mais precoce apresentam maior plasticidade do que os componentes mais tardios: Número de perfilho > Número de espigas > Número de grãos > Peso do grão (Benincasa et al., 2022).

O trigo usa algumas estratégias para obter produtividade de grãos, destacando-se os mecanismos compensatórios entre os componentes de produtividade. Embora a planta apresente estes mecanismos, o rendimento de grão de trigo acaba por ser muito dependente da produção de perfilhos, desde que as plantas estejam devidamente espaçadas entre si e que haja condições climáticas adequadas para estimular o perfilhamento (Valério et al., 2009).

A melhoria da produção tem sido ao longo do tempo o principal objetivo da domesticação e reprodução de culturas (Ding et al., 2026). O desenvolvimento de variedades com rendimentos de grãos elevados e estáveis é vital para uma produção sustentável do trigo (Mondal et al., 2021).

2.5.4. Estrutura do grão

O grão de trigo é constituído por 3 secções principais (Figura 15), química e estruturalmente distintas: o gérmen, também designado de embrião, localizado numa das extremidades do grão; o endosperma, que ocupa a maior parte do grão e é reserva de nutrientes para o desenvolvimento do embrião; e tegumentos que envolvem o grão de trigo e o protegem de quaisquer danos durante o período de latência (Khalid et al., 2023).

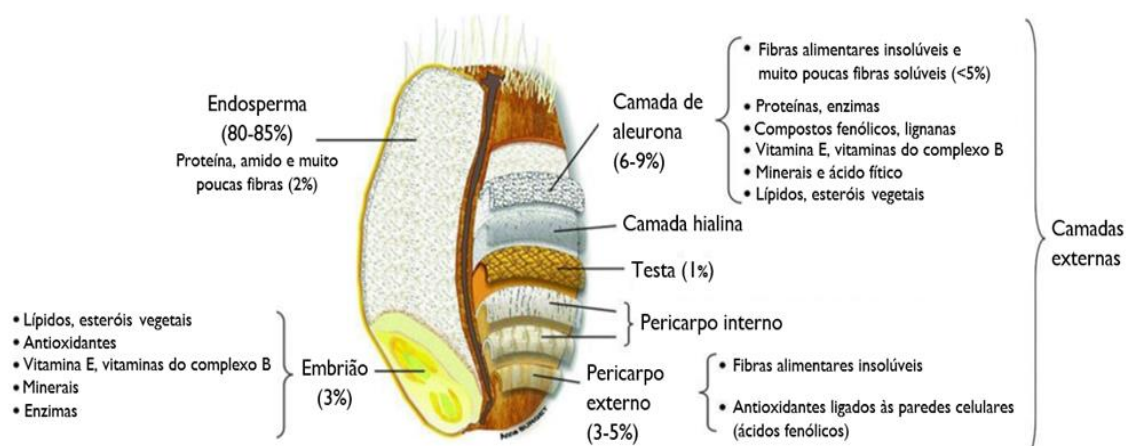


Figura 15: Estrutura de um grão de trigo e principais componentes de cada secção
Fonte: (Adaptada de Khalid et al., 2023).

Tendo em conta as funções de cada secção, existe uma diferença notável na composição química dos seus constituintes e uma variação importante no seu valor nutricional (Khalid et al., 2023). Os tegumentos da semente, também designados por farelo, representam cerca de 13-17 % do grão e são compostos por várias camadas ricas em fibra, minerais, algumas proteínas, hidratos de carbono e vitaminas do complexo B. A camada aleurónica é a mais interna e está preenchida por conteúdos ativos de células vegetais, contendo muitas enzimas e proteínas, enquanto as camadas mais externas são constituídas por células ocas inativas (Khalid et al., 2023). O endosperma representa cerca de 80-85 % do grão e caracteriza-se pelo seu elevado teor em amido. Também é constituído por proteínas e uma quantidade reduzida de lípidos, minerais e fibras. O gérmen ou embrião representa cerca de 2-3 % do grão e é rico em lípidos e proteínas, para além de minerais (Khalid et al., 2023). Quanto à forma, os grãos são normalmente elípticos, embora distintos tipos de trigo apresentem grãos com formas que variam entre

mais achatadas, alongadas, esguias e esféricas. A massa e o comprimento do grão encontram-se normalmente entre 35-50mg e 5-9mm respetivamente.

2.5.5. Composição química do grão

A composição química do grão de trigo é um fator importante que interfere com as características funcionais e tecnológicas do grão e acaba por definir a qualidade da farinha. Esta também é influenciada pela população microbiológica e propriedades estruturais do grão (Scheuer et al., 2011).

De modo geral as farinhas de trigo são constituídas por amido (70-75%), água (12%-14%), proteínas (8-16%) e outros constituintes que se apresentam em quantidades relativamente menores como polissacarídeos não amiláceos (2-3%), lípidos (2%) e minerais (1%) (Scheuer et al., 2011). Dentro da composição química destacam-se as proteínas pela sua importância na funcionalidade das farinhas. Estas estão divididas em proteínas solúveis (albuminas e globulinas) e proteínas de reserva (gliadinas e gluteninas) (Tian et al., 2021). As últimas são as mais importantes para a qualidade, pois são elas que formam o glúten quando as farinhas são hidratadas e amassadas, conferindo viscoelasticidade às massas. É graças ao glúten que as farinhas de trigo são apropriadas para a confeção de produtos panificáveis levedados.

2.5.6. Valor nutricional do grão

O trigo é um elemento vital na dieta diária. O seu consumo médio per capita e por dia é de 318 g, o que representa 83% do consumo recomendado de cereais. É uma fonte de calorias, proteínas, vitaminas e minerais. O seu conteúdo proteico é superior ao do arroz, sorgo e milho e quase equivalente ao de outros cereais. Em termos de composição proteica, é rico na maioria dos aminoácidos essenciais exceto lisina. Este aminoácido limitante é constituinte do farelo e do gérmen e durante o processo de moagem acaba por ser maioritariamente removido conjuntamente com outros constituintes (Khalid et al., 2023). É por isso que o valor biológico do trigo só é totalmente aproveitado se ele for consumido na forma integral.

O trigo só por si pode satisfazer a necessidade diária de vitaminas do complexo B como a niacina, a riboflavina e a tiamina ou de minerais como o ferro.

2.6. Utilizações do trigo mole

O trigo é um cereal usado tanto na alimentação humana como animal. Ao nível do consumo humano é considerado especial pois as características das suas farinhas são inigualáveis e permitem a formação de uma massa viscoelástica quando são misturadas com a água (Shevkani et al., 2024).

A partir da farinha de trigo mole pode obter-se uma grande diversidade de produtos, embora as características ideais das farinhas para cada finalidade variem consoante as propriedades de um trigo (Figura 16). Dois aspetos que afetam a finalidade de uma farinha são a dureza do grão e o teor de proteína (Bushuk, 1998; Shevkani et al., 2024). A dureza do grão é essencialmente uma característica de cariz genético que afeta a facilidade de moenda, a capacidade de absorção de água de uma farinha, a sua estabilidade e permeabilidade, e portanto, o seu comportamento durante o processamento (Shevkani et al., 2024). O teor de proteína é uma característica de natureza genética e forte influência ambiental. Cada utilização final de uma farinha requer uma determinada quantidade e qualidade proteica, isto é, não importa apenas a quantidade de proteínas, mas também a sua estrutura molecular que influencia as interações proteicas no processo de panificação (Bushuk, 1998).

De um modo geral, as farinhas de trigo mole com menor dureza (*soft*) apresentam menor teor de proteína e de amido danificado (Shevkani et al., 2024), menor desenvolvimento do glúten e uma maior dependência de açúcar e gordura para as suas propriedades funcionais (Bock, 2022). Estas características mostram-se desejáveis para a produção de bolachas e biscoitos. Já as farinhas de trigo mole com maior dureza (*hard*), associadas a maiores teores de amido danificado, bem como a maiores teores proteicos e glúten mais forte, são mais adequadas para panificação (Vicente et al., 2023 ; Shevkani et al., 2024).

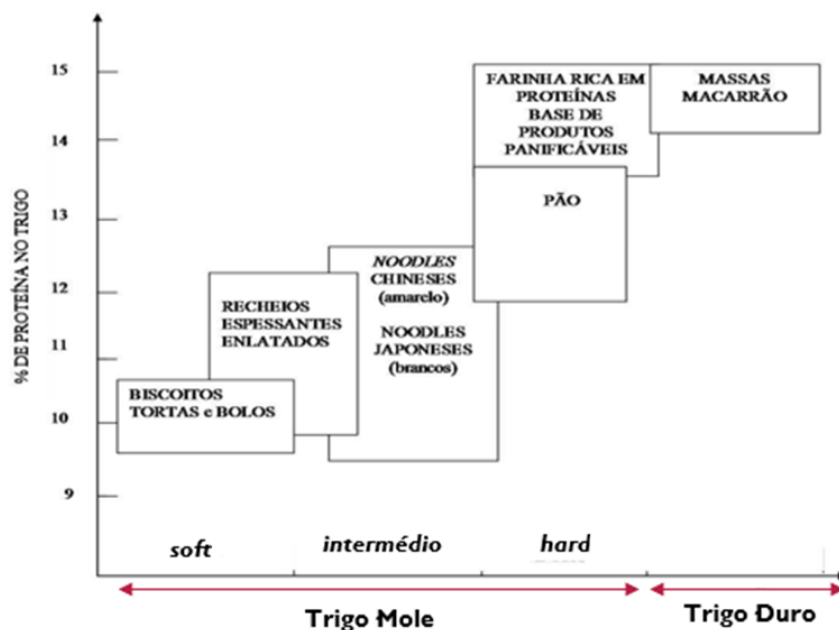


Figura 16: Principais utilizações do trigo em função do teor proteico e dureza do grão
 Fonte: (Adaptado de Scheuer et al., 2011).

2.7. Qualidade do trigo mole

2.7.1. Definição de qualidade

A qualidade tecnológica do trigo resulta de fatores genéticos e da interação desses fatores com o ambiente (clima, condições do solo, práticas culturais), assim como das operações de colheita, secagem, moagem e armazenamento. Este conceito pode exprimir diferentes significados conforme o segmento que o avalia (Belluco, 2014).

Segundo Bagulho (2020) o conceito de qualidade no trigo mole é muito abrangente e complexo já que reflete requisitos intrínsecos a toda uma cadeia de valor, e ainda devido ao facto de a qualidade não ser estática e ser sim definida em função das propriedades tecnológicas requeridas para a confeção de cada um dos produtos alimentares a que se destina: fabrico de bolachas, confeitaria, pão ou usos culinários. Pressupõe a avaliação de características físicas e químicas do grão, comportamento reológico das farinhas e

aspectos relacionados com a preferência dos consumidores, com relações complexas entre si (Kravchenko et al., 2023).

Apesar de não ser um conceito absoluto, tenta-se definir a qualidade do trigo através de um conjunto de parâmetros tecnológicos que são determinados ao nível do próprio grão, e que se vão relacionar com o rendimento em farinha, com a funcionalidade das farinhas ao longo do seu processamento e com diversas características que são exigidas a nível de produto final.

2.7.2. Testes para avaliar a qualidade

Com o intuito de avaliar a qualidade e as características dos grãos e das farinhas resultantes do trigo mole, são realizados testes físicos, químicos e tecnológicos (Bagulho 2020; Bock, 2022).

Os testes físicos estão relacionados com a integridade do grão como acontece com o índice de queda que avalia se ocorreu pré-germinação do grão na espiga em anos de excessiva humidade durante a sua maturação ou com o rendimento em farinha como acontece com a presença de impurezas, o peso específico (também designado por massa do hectolitro) e o peso de mil grãos (Bagulho, 2009). O teor de impurezas afeta o preço, a qualidade do cereal e o nível de aceitação de um trigo. Este fator pode contribuir para a sua deterioração durante o armazenamento que normalmente ocorre devido a fatores ambientais (humidade e temperatura) e biológicos (insetos, fungos, ácaros e roedores) (Aviara et al., 2022; Jiang et al., 2025; Li & Zhu, 2024).

Os testes químicos pretendem avaliar a composição do grão, onde a humidade é importante para o armazenamento e processamento do grão, o teor proteico para a funcionalidade das farinhas e o teor de cinzas para a sua denominação final (tipo 55, 65, etc.).

Os testes tecnológicos pretendem fornecer informação acerca do desempenho de uma farinha. Neste grupo são considerados os testes indiretos como o teste de sedimentação SDS (usado em programas de melhoramento) ou o teste de sedimentação Zeleny (mais usado pela indústria) e os testes reológicos. Estes últimos pretendem avaliar o comportamento viscoelástico da massa ao longo da sua formação, desenvolvimento e

mistura com a água (farinógrafo), ou pretendem estudar a elasticidade da massa através da relação entre um esforço aplicado e a deformação produzida no ponto de rutura (alveógrafo).

Tendo em consideração a cadeia de valor associada à transformação de um trigo, os resultados obtidos nestes testes permitem fornecer informações importantes para o seu processamento e para estabelecer o seu valor comercial.

Segundo Amaral & Peske (2000) é fundamental recorrer a testes que permitam uma avaliação rápida e precisa do potencial de qualidade do grão, para que dessa forma os lotes de sementes com qualidade inferior sejam rapidamente identificados, diminuindo os custos de operação com estes lotes (Battisti et al., 2011.).

2.7.3. Especificações

Na Tabela 2 são apresentadas as principais especificações para cada uma das quatro classes de trigo mole comercialmente consideradas a nível nacional (Bagulho et al., 2020), definidas no âmbito da Lista de Variedades Recomendadas (LVR), uma iniciativa conjunta entre a investigação e a indústria portuguesa de cereais.

Tabela 2: Especificações utilizadas na definição das quatro classes de trigo mole comercialmente consideradas em Portugal

PARÂMETROS	CLASSES TRIGO-MOLE			
	Melhorador	Panificável Superior	Panificável Corrente	Bolacha
Humidade (%)	Max. 13	Max. 13	Max. 14	Max. 14
Índice Queda (s)	Min. 260	Min. 260	Min. 250	Min. 240
Peso Específico (kg/hl)	Min. 79	Min. 78	Min. 77	Min. 76
Proteína m.s. (%)	Min. 14	Min. 12,5	Min. 11	Min. 10
Alveograma W (E ⁴ J)	Min. 300	Min. 220	Min. 150	80-120
Alveograma P/L	0,5-1,0	0,5-1,2	0,5-1,0	0,3-0,5

Min – mínimo; Max – máximo

Fonte:(Bagulho et al., 2020).

Esses parâmetros incluem o teor de humidade que não deverá exceder 13-14%, o índice de queda que deverá ser superior a 240-260s para garantir que não há pré-germinação do grão, o peso específico que deverá ser superior a 76-79 kg/hl (consoante a classe), o teor de proteína cujo valor mínimo varia em função da classe e, por último, as propriedades alveográficas (W –energia de deformação e P/L -relação de equilíbrio entre tenacidade e extensibilidade).

Das várias especificações, destacam-se o ensaio alveográfico e o teor proteico como os mais determinantes do potencial tecnológico e de utilização do trigo mole (Bagulho et al., 2020). As classes com maior qualidade tecnológica (trigo melhorador e panificável superior) apresentam valores mais elevados de peso específico, teor proteico e energia de deformação alveográfica, já as classes de trigo para bolachas e panificável corrente são caracterizadas por valores inferiores destes parâmetros (Bagulho et al., 2020).

Portugal não tem condições edafoclimáticas para produzir trigos para o fabrico de bolachas, mas tem condições adequadas à produção de trigo panificável de qualidade superior, muito apreciado pela indústria nacional, que gostaria de aumentar o seu fornecimento de trigos de elevada qualidade num registo de proximidade.

3. Materiais e Métodos

3.1. Material vegetal

Como material vegetal deste trabalho, utilizou-se um ensaio de adaptação de trigo mole de 2ª época, constituído por 13 genótipos de trigo mole: 10 linhas avançadas do programa de melhoramento do INIAV-Elvas e 3 variedades comerciais que foram utilizadas como testemunhas, Roxo e Paiva, também elas obtidas pelo INIAV-Elvas, e Acorazado uma variedade espanhola que é considerada uma referência de qualidade. As linhas avançadas foram designadas de L1 a L10.

3.2. Métodos

3.2.1. Delineamento experimental e técnicas culturais

Os genótipos foram multiplicados em 2 locais: no INIAV-Elvas (38° 53' 19,6" N, 7° 08' 38,5" O) e no I.P. Beja (38° 02' 06,4" N, 7° 53' 08,5" O), em ensaios de campo com blocos completamente casualizados de 3 repetições, sem regadio. O tamanho de cada parcela foi de 9,6 m² (1,2 x 8 m). Na Tabela 3 resumem-se as principais técnicas/produtos utilizados nos dois ensaios.

Tabela 3: Características gerais dos ensaios de Elvas e Beja, produtos aplicados, a sua concentração e data de aplicação.

	Beja (Quinta da Saúde)	Elvas (INIAV)
Sementeira	23/12/2024 350 grãos/m ²	09/12/2024 350 grãos/m ²
Fertilização		
Fundo	23/12/2024 12-24-12 (36 UN/ha)	04/11/2024 22-6-6 (44 UN/ha)
Cobertura	20/02/2025 Nitromagnésio 27% (62 UN/ha)	16/01/2025 Nitromagnésio 27% (54 UN/ha)
Cobertura	26/03/2025 Nitromagnésio 27% (62 UN/ha)	25/02/2025 Nitromagnésio 27% (40 UN/ha)
Cobertura	09/04/2025 Nitromagnésio 27% (62 UN/ha)	-
Herbicida		
Pós-emergência	14/02/2025 Axial (0,75l/ha) + Mustang (0,75l/ha)	14/02/2025 Quelex (50g/ha)
Fungicida		
1ª aplicação	28/03/2025 Melvar (0,8 l/ha)+Trunfo (0,6 l/ha)	-
2ª aplicação	01/05/2025 Trunfo (1l/ha)	-
Debulha	08/07/2025	21/06/2025

3.2.2. Parâmetros fenológicos

As parcelas foram seguidas ao longo do seu desenvolvimento registrando-se a data de espigamento e a data de maturação fisiológica. A partir destas foram determinados o ciclo da cultura e o período de enchimento do grão.

3.2.2.1. Datas de espigamento e maturação fisiológica (Esp, MF)

A data de espigamento corresponde à data de aparecimento das primeiras espigas no talhão (Figura 17), enquanto a data de maturação fisiológica corresponde à data em que o grão atingiu a sua maturação final.



Figura 17: *Espigamento observado no campo.*
Fonte: Fotografia do autor (2026).

3.2.2.2. Ciclo e período de enchimento do grão (Ciclo, EG)

O ciclo é o número de dias que decorrem desde a sementeira até à data de maturação fisiológica. O período de enchimento do grão é o número de dias que decorrem desde a data de ântese (4 dias após a data de espigamento) até se atingir a maturação fisiológica.

3.2.3. Parâmetros agronómicos

3.2.3.1. Produção (Prod)

A produção foi estimada a partir do peso de grão colhido de cada parcela, convertido para uma base de 1 ha.

3.2.3.2. Massa de mil grãos (PMG)

O peso de mil grãos contribui para o rendimento e para a qualidade do grão pois afeta o rendimento de moagem.

Foi estimado a partir de um contador de grãos (Pfeuffer, Alemanha) e de uma balança de precisão Mettler PB5001 (Mettler Toledo, EUA), seguindo-se a norma ISO 520: 2010.

3.2.3.3. N° grãos/m² (Grãos/m²)

O número de grãos por m² foi estimado a partir da produção e do PMG, de acordo com a fórmula:

$$\text{Grãos/m}^2 = \text{Produção (kg/ha)} / \text{PMG (g)} \times 100$$

3.2.4. Parâmetros de qualidade

3.2.4.1. Preparação das amostras

Algumas determinações foram realizadas no grão após limpeza (determinações 3.2.4.2 e 3.2.4.3), outras foram realizadas no grão moído integralmente no moinho Cyclotec 1093 (Foss, Dinamarca) com crivo de 1 mm (determinação 3.2.4.4) ou moído no moinho Chopin CDI (Chopin Technologies, França) após condicionamento prévio da amostra a 16% de humidade e posterior moagem para obtenção de farinha refinada (determinações 3.2.4.5 e 3.2.4.6).

3.2.4.2. Massa do hectolitro (Hec)

A massa do hectolitro é uma medida da densidade do grão e é expressa em kg/hl. A sua determinação foi realizada num equipamento NIR Infratec 1241 (Foss, Dinamarca), acoplado com unidade de peso, seguindo-se a norma ISO 7971-3: 2019.

O valor deste parâmetro está muito associado ao rendimento final da farinha e é afetado por fatores como a presença de impurezas e a malformação dos grãos.

3.2.4.3. Teor de humidade e proteína do grão (H, Prot)

A determinação destes teores revela-se fundamental para avaliar a qualidade, processamento e armazenamento dos grãos.

Seguiu-se o método de espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), segundo a norma EN 15948: 2020. Trata-se de um método simples, rápido, não destrutivo e preciso (Liu et al., 2011), que permite de forma indireta estimar as concentrações de vários constituintes em amostras orgânicas a partir dos seus espectros NIR.

3.2.4.4. Teste de sedimentação (SDS)

Os testes de sedimentação são testes indiretos que se correlacionam com a força do glúten. São muito utilizados para fazer seleção de qualidade em programas de melhoramento, por serem de baixo custo, simples, rápidos e utilizarem uma pequena quantidade de amostra (Morris et al., 2007, S. Tian et al., 2021).

Usou-se o método de sedimentação SDS (Dick e Quick, 1983), que se baseia na medição do volume de sedimentação de uma suspensão acidificada de farinha de trigo, após mistura com uma solução de dodecil sulfato de sódio e ácido láctico. O volume de sedimento obtido reflete o comportamento da farinha e a capacidade agregativa das proteínas, sendo maior quanto maior for a qualidade panificável da farinha (Oelofse et al., 2010).

3.2.4.5. Ensaio alveográfico (W, P/L)

O alveógrafo mede as propriedades viscoelásticas de uma bolha de massa enquanto esta é insuflada com ar, num processo que tenta simular o crescimento das bolhas durante a fermentação e início da cozedura da massa (Jødal & Larsen, 2021).

As amostras foram testadas num alveógrafo Alveolab (Chopin Technologies, França) seguindo-se a norma ISO 27971:2023. Nesta metodologia ocorre a formação da massa por hidratação da farinha com uma solução de cloreto de sódio, extrusão de cinco porções de massa e posterior insuflação numa câmara em condições controladas. Na Figura 18 representa-se um alveograma com os principais parâmetros estimados:

-Tenacidade da massa (P): Pressão máxima necessária para insuflar a bolha de massa; mede a sua resistência à deformação.

-Extensibilidade da massa (L): Comprimento da curva desde o início da insuflação até à rutura da bolha; é uma medida de quanto a massa estica antes de romper.

-Relação de equilíbrio (P/L) É o rácio entre a tenacidade da massa e a sua extensibilidade; um P/L elevado configura uma massa resistente e pouco extensível, enquanto um P/L baixo é indicativo de uma massa fraca e extensível.

-Energia de deformação (W): Energia necessária para insuflar a bolha de massa até à rutura.

A energia de deformação W conjuntamente com a relação de equilíbrio P/L são os parâmetros mais utilizados na previsão do comportamento de uma farinha e usados nas suas especificações.

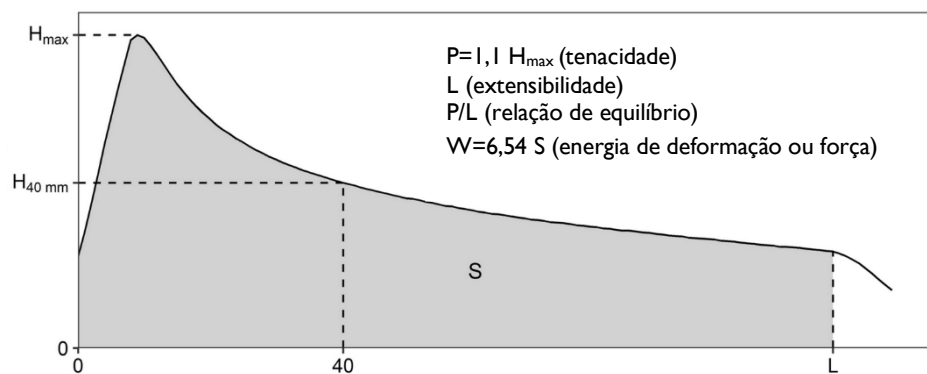


Figura 18: Alveograma com expressão dos principais parâmetros
Fonte: (Jødal & Larsen, 2021).

3.2.4.6. Ensaio farinográfico (Ab, Td, St, Enf, IQ)

Um farinógrafo é um equipamento usado para medir e registar a resistência oferecida por uma massa ao longo do processo de amassadura (Atwell, 2003). Regista a variação da consistência ao longo do tempo e constitui uma análise essencial para avaliação da qualidade de uma farinha.

As amostras foram testadas num micro-farinógrafo de 10 g (Brabender OHG Duisburg, Alemanha) seguindo-se a norma ISO 5530-1: 2026. Para cada amostra realizou-se um ensaio prévio de calibração que definiu a quantidade de água necessária para a farinha atingir a consistência padrão de 500 UF (unidades farinográficas) e só posteriormente se

realizou o ensaio propriamente dito com essa quantidade de água. Na Figura 19 representa-se um farinograma com os principais parâmetros estimados (Anton Paar, 2026):

- **Absorção da água (Ab):** Água adicionada à farinha para que atinja a consistência de 500 UF. É expressa em percentagem de peso da farinha.

- **Tempo de desenvolvimento (Td):** Período em minutos, desde o início da adição da água até ao momento em que a massa atinge a consistência de 500 UF.

- **Estabilidade da massa (St):** Intervalo temporal, em minutos, durante o qual a massa mantém a máxima consistência. Quanto mais elevado, maior tolerância à amassadura e à fermentação.

- **Grau de enfraquecimento (Enf):** Diferença em UF entre a consistência máxima e a consistência 10 minutos após o início da medição. Representa a degradação do glúten ao longo de um processo de amassadura prolongada.

- **Índice de qualidade (IQ):** Comprimento em milímetros, desde a adição de água até ao momento em que a curva diminui 30 UF em relação à consistência que atingiu no tempo de desenvolvimento. É um indicador único das características farinográficas da farinha.

Estas características são influenciadas pelas propriedades da própria farinha, como o teor de humidade, proteína, índice de queda e cinzas (Raj et al., 2024).

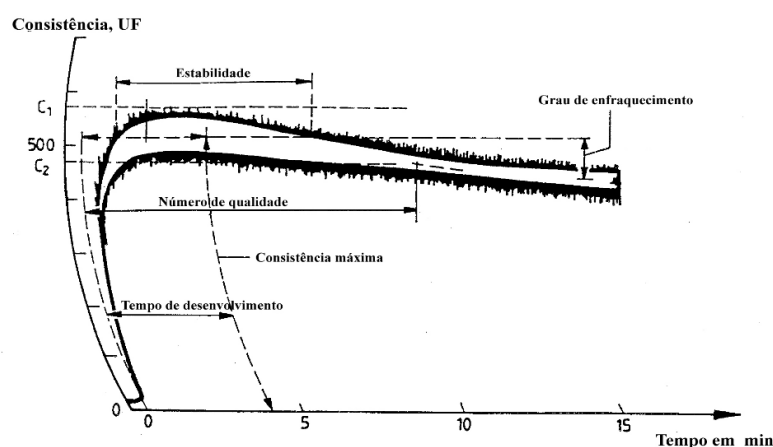


Figura 19: Farinograma com expressão dos principais parâmetros
Fonte: (Bagulho, 2009).

3.2.4.7. Análise estatística

A análise estatística dos resultados obtidos foi realizada com o software estatístico IBM SPSS Statistics 20 (IBM SPSS Statistics).

Realizaram-se análises de variância ANOVA com o procedimento General Linear Model Multivariate, para estudar a influência do ambiente (E), genótipo (G) e sua interação (GxE).

A comparação de médias das várias classes dentro de cada tratamento foi realizada através do Teste de Tukey, atribuindo-se diferentes letras às médias que diferiam para um nível de significância de 5 %.

4. Resultados e discussão

4.1. Clima

As Figuras 20 e 21 representam as temperaturas máximas e mínimas, bem como os valores de precipitação registados diariamente nos dois locais de ensaio (Quinta da Saúde-Beja e INIAV-Elvas), durante o período correspondente ao ciclo de desenvolvimento do trigo mole objeto de estudo.

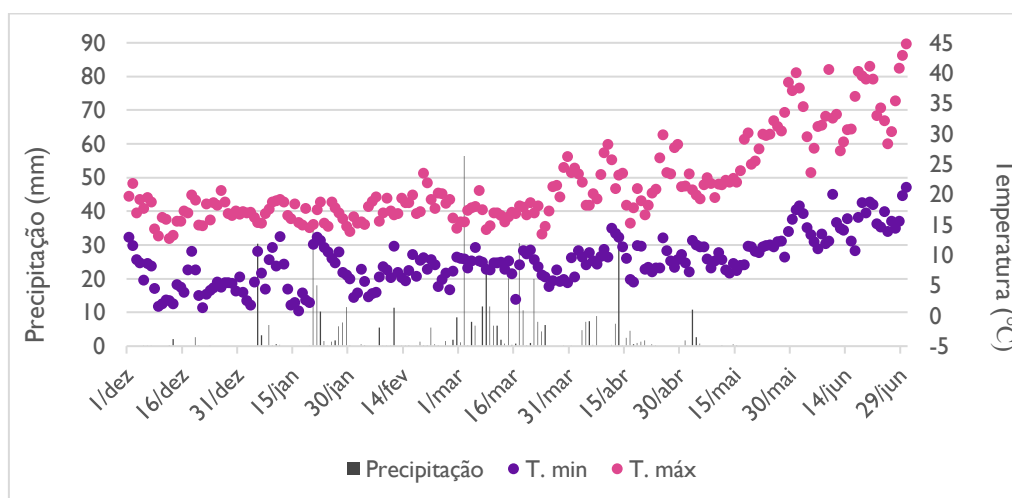


Figura 20: Temperaturas (máximas e mínimas) e precipitação registados em Beja em 2024/25.
Fonte: Dados fornecidos pela Estação meteorológica do IP. Beja.

Na Quinta da Saúde, em Beja (Figura 20), registaram-se 511 mm de precipitação entre dezembro e junho. No inverno (dez-fev), a precipitação totalizou 179 mm, com maior incidência em janeiro (135 mm) e apenas 6 mm em dezembro, mês da sementeira. Para favorecer a emergência, realizaram-se regas suplementares a 27 de dezembro (6,82 mm) e a 2 de janeiro (9 mm). A primavera (março-maio) foi húmida, tendo-se registado 332 mm de precipitação, concentrada sobretudo em março (233 mm), enquanto abril e maio apresentaram valores inferiores de 82 mm e 17 mm, respetivamente. Devido a esta irregularidade, realizaram-se 6 regas suplementares em maio que totalizaram 68 mm e foram definidas consoante os valores de humidade do solo registados por sondas capacitivas.

Relativamente à temperatura, os meses de inverno foram amenos não havendo ocorrência de valores negativos. A primavera foi também amena, em março a média de

temperaturas máximas foi de 18 °C, em abril foi de 22 °C e em maio foi de 26,4 °C, tendo-se verificado temperaturas máximas superiores a 25°C em praticamente toda a última quinzena do mês. Em abril fizeram-se sentir 7 dias com temperaturas máximas entre os 25°C e os 30°C. No início de junho registaram-se temperaturas máximas elevadas para o trigo ultrapassando de forma regular os 27°C acelerando assim a maturação fisiológica de todas as linhas.

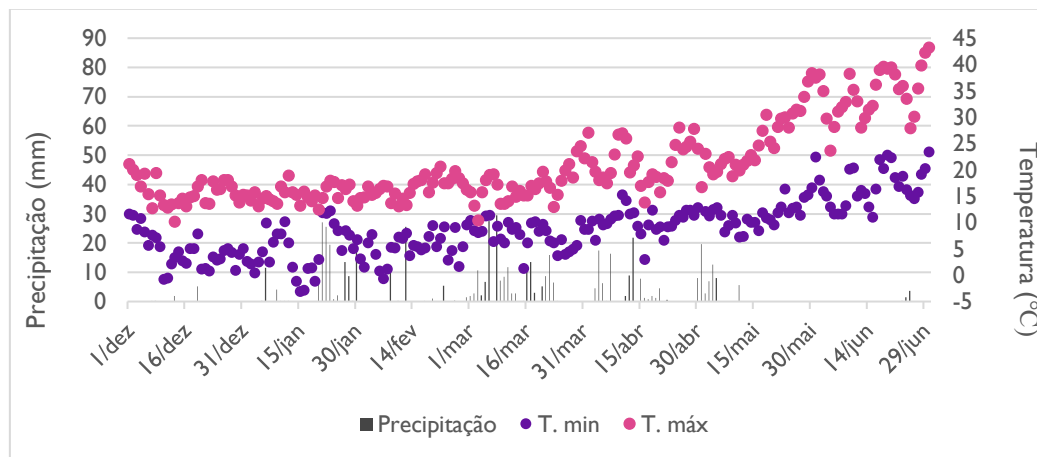


Figura 21: Temperaturas (máximas e mínimas) e precipitação registados em Elvas em 2024/25.
Fonte: Dados fornecidos pela Estação meteorológica do INIAV-Elvas.

No INIAV-Elvas (Figura 21), os valores de precipitação entre dezembro e junho foram de 537 mm. Durante o inverno (dez-fev) choveram 195 mm, tendo chovido de forma mais concentrada em janeiro (141mm) e de forma menos intensa em dezembro (8 mm) e fevereiro (46.2 mm). A primavera (março-maio) foi bastante húmida registando-se 337 mm de precipitação distribuídos pelo mês de março (178mm), abril (103 mm) e maio (56 mm). Neste ensaio não se efetuaram regas suplementares.

Quanto às temperaturas de inverno, em dezembro e janeiro registaram-se alguns dias com temperaturas mínimas a rondar ou abaixo de 0 °C, sendo a média de temperaturas mínimas de 4,9 °C em dezembro e janeiro, e de 5,3°C em fevereiro. A primavera foi amena, tendo-se registado valores médios mensais das temperaturas máximas de 17 °C em março, 21,5 °C em abril e 25,8 °C em maio. Em abril fizeram-se sentir 7 dias com temperaturas superiores a 25 °C sem que se atingisse os 30 °C. Em junho as temperaturas foram comparativamente ao mês anterior mais elevadas, não se tendo

registado um único dia com temperatura máxima inferior a 27°C o que acelerou a maturação fisiológica das linhas.

Comparando as condições climáticas dos dois ambientes verifica-se que não ocorreram grandes diferenças ao nível das temperaturas ocorridas, nem da precipitação total registada que foi ligeiramente superior em Elvas. No entanto, o ensaio de Beja foi realizado com algumas regas suplementares durante a primavera, que é o período mais crítico, que poderão ter sido benéficas para os componentes de produção. A rega serve como suplemento à precipitação, já que cobre a maior parte das necessidades hídricas totais. A eficiência destes cereais a utilizar a água de rega é muito elevada, o que leva a que reduzidos volumes levem a acréscimos de produtividade (Palminha, 2020).

4.2. Caracterização fenológica



Figura 22: Data de espigamento das linhas de trigo mole e das testemunhas usadas no ensaio em ambos os locais (Quinta da Saúde-Beja e INIAV-Elvas).

Como é possível observar na Figura 22, verificou-se que as linhas avaliadas no ensaio de Elvas entraram em espigamento mais cedo do que as linhas do ensaio de Beja, possivelmente devido ao facto deste ensaio ter sido semeado cerca de 15 dias antes do ensaio de Beja. Este comportamento foi comum a todas as linhas e testemunhas analisadas. Importa ainda salientar que a menor diferença nas datas de espigamento dos

dois locais ocorreu na linha L4, registando-se um intervalo de apenas 9 dias. Em contraste, a maior diferença observou-se na linha L2 com uma diferença de 20 dias entre as datas de espigamento dos dois locais.

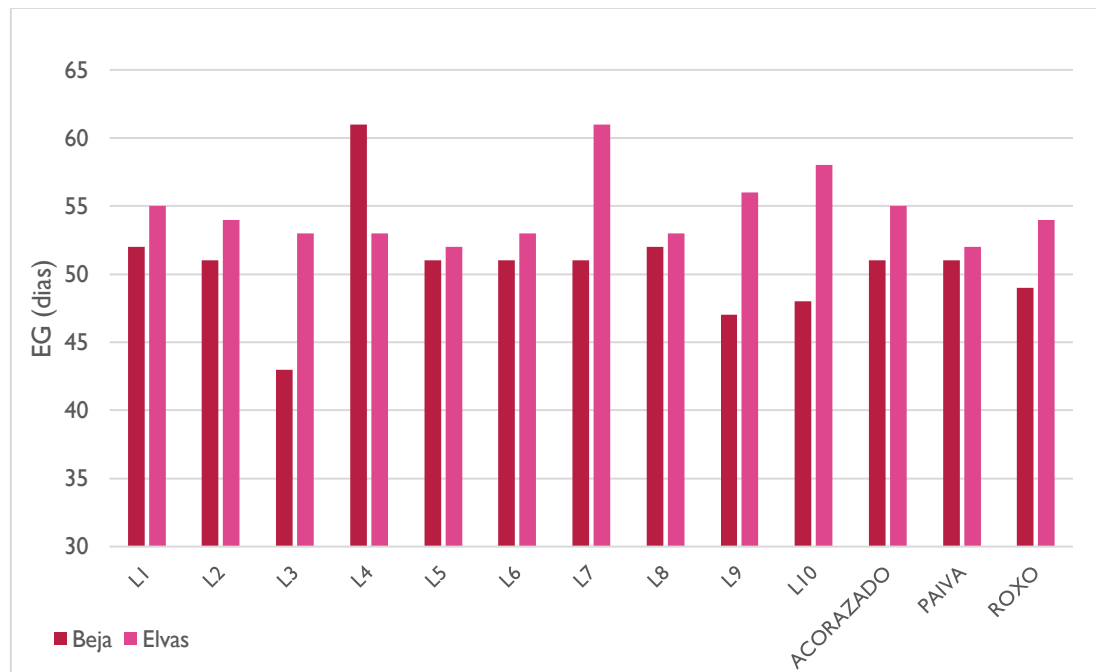


Figura 23: Período do enchimento do grão das linhas de trigo mole e das testemunhas usadas no ensaio em ambos os locais (Quinta da Saúde-Beja e INIAV-Elvas).

A figura 23 apresenta o período de enchimento do grão das várias linhas e testemunhas nos dois locais de ensaio. De um modo geral não se verificam diferenças muito acentuadas entre período de enchimento do grão de cada linha nos dois ensaios, com exceção das linhas L3, L7, L9 e L10 com uma diferença de cerca de 10 dias. O período de enchimento do grão foi ligeiramente superior ou mesmo superior em Elvas para quase todas as linhas, devido à data de sementeira ter sido antecipada em relação à do ensaio de Beja, e, de não terem ocorrido, de um modo geral, grandes diferenças na data de maturação fisiológica da maioria das linhas, já que as temperaturas começaram a subir na última quinzena de maio nos dois locais. A situação inverteu-se para a linha L4, pois possuiu pouca diferença entre as datas de espigamento dos dois locais e a maturação fisiológica ocorreu bastante mais tarde em Beja, originando um maior período de enchimento do grão.



Figura 24: Duração do ciclo para as linhas de trigo mole e as testemunhas usadas no ensaio em ambos os locais (Quinta da Saúde-Beja e INIAV-Elvas).

Na Figura 24 apresenta-se a duração do ciclo para todas as linhas nos dois locais de ensaio. Não ocorreram grandes diferenças entre os dois locais, com quatro linhas a apresentarem um alargamento do ciclo em cerca de 5-6 dias em Elvas (L3, L7, L9, L10), as quais também tinham evidenciado um alargamento do período de enchimento do grão neste local (Figura 23). As restantes evidenciaram diferenças menores de ciclo entre os dois locais (2-3 dias).

4.3. Caracterização agronómica

4.3.1. PMG, Grãos/m² e Prod

Da análise de variância aos parâmetros massa de mil grãos (PMG), número de grãos por m² (Grãos/m²) e produção (Prod) (Tabela 4), verificou-se que o fator ambiente foi o que mais afetou de forma significativa ($p < 0,001$) os parâmetros estudados PMG (67,56***), Grãos/m² (65,28***), Prod (123,89***). Este foi seguido do fator genótipo, que apresentou um efeito também muito significativo para os três parâmetros, destacando-

se no PMG (26,09***). De acordo com Tan et al. (2024) a hereditariedade do PMG é estável, com valores considerados moderados a elevados (0,6 e 0,8) e sempre superiores aos valores de herdabilidade da produtividade global. Estes autores também afirmam que este parâmetro tem uma importância fulcral na determinação da produtividade do trigo, sendo influenciado pelo comprimento, espessura, largura do grão, área superficial e taxa e duração de enchimento do grão.

Em relação à interação GxE, esta foi significativa sobretudo para o parâmetro PMG, seguida da Prod e com menor relevância para o número de grãos/m². Ghafor et al. (2024), ao estudarem a influência do genótipo, do ambiente e do itinerário técnico em vários cultivares de trigo mole, obtiveram interações significativas genótipo-ambiente. Enfatizando o papel da localização e da gestão da cultura na determinação tanto do rendimento como da qualidade do grão.

A escolha da variedade tem um grande impacto no parâmetro PMG e menor no número Grãos/m² e Prod, e, as condições ambientais e o itinerário técnico (que neste trabalho está implícito no ambiente) influenciaram de forma considerável o desempenho dos genótipos, fazendo com que eles não se comportem da mesma forma em cada ambiente, o que significa que um genótipo que é melhor num ambiente pode não ser tão bom noutro.

Tabela 4: *Análise de variância (valor de F e grau de significância) da massa de mil grãos (PMG), número de grãos/m² (Grãos/m²), e produção (Prod) em função dos fatores estudados: genótipo, ambiente e sua interação.*

	g.l.	PMG	Grãos/m ²	Prod
Modelo	25	17,04***	7,04***	11,21***
G	12	26,09***	7,25***	10,12***
E	1	67,56***	65,28***	123,89***
GxE	12	3,77***	1,96*	2,90**

ns: não significativo; *, **, ***: significativo a 5%, 1%, 0,1% respetivamente; N=78.

Os valores médios dos parâmetros por local foram superiores em Beja (Tabela 5), o que demonstra que as condições ambientais e agronómicas desse ensaio foram mais favoráveis ao desenvolvimento e à produtividade das linhas em estudo. É de destacar a

maior disponibilidade de água das regas suplementares realizadas em Beja, principalmente durante o período crítico da primavera, e, a maior adubação realizada neste ensaio (138 UN/ha de azoto no ensaio de Elvas vs 222 UN/ha no ensaio de Beja).

No entanto, a interação Genótipo x Ambiente foi estatisticamente significativa (Tabela 4), indicando que o comportamento dos genótipos não foi estável entre os dois ambientes em que se realizaram os ensaios. Este resultado justifica então uma análise do efeito desta interação, apresentada na Tabela 5.

Tabela 5: Valores médios para os parâmetros agrónomicos testados, influenciados pela interação GxE. Letras diferentes indicam diferenças significativas da combinação GxE de acordo com o teste de Tukey (test ($p \leq 0.05$)).

Genótipos	PMG (g)		Grãos/m ²		Prod (Kg/ha)	
	Beja	Elvas	Beja	Elvas	Beja	Elvas
L1	46,0 b-d	45,2 b-e	15995 a-c	13065 b-e	7360 a-c	5909 b-e
L2	48,7 ab	48,9 ab	13432 b-e	12553 b-e	6573 b-d	6138 b-e
L3	46,6 bc	46,1 bc	12765 b-e	10046 e	5948 b-e	4633 de
L4	43,6 c-g	37,9 h	13161 b-e	12302 b-e	5672 b-e	4655 de
L5	47,2 bc	46,0 b-d	16323 ab	11780 b-e	7698 ab	5425 c-e
L6	52,2 a	48,3 ab	12702 b-e	9624 e	6631 b-d	4654 de
L7	45,6 b-d	45,2 b-e	14407 a-e	11112 c-e	6563 b-d	5029 de
L8	46,6 bc	43,6 c-g	18591 a	14260 a-e	8667 a	6192 b-e
L9	46,6 bc	40,3 f-h	18786 a	13624 b-e	8745 a	5492 c-e
L10	48,1 ab	47,4 bc	15246 a-d	13139 b-e	7354 a-c	6233 b-e
ACORAZADO	43,4 c-g	39,4 gh	10942 de	12073 b-e	4677 de	4763 de
PAIVA	45,9 b-d	41,8 d-h	15926 a-c	12133 b-e	7308 a-c	5071 de
ROXO	43,7 c-f	41,2 e-h	14386 a-e	10309 e	6245 b-e	4246 e
Média	46,5 A	44,0 B	14820 A	12001 B	6880 A	5264 B

No parâmetro PMG é possível verificar que a maioria dos genótipos apresentou médias sem diferenças significativas entre si, havendo apesar disso alguma variabilidade. Apenas as linhas L4 e L9 apresentaram resultados significativamente diferentes de um local para o outro, com L4 a registar 43,6 g em Beja e 37,9 g em Elvas, e, L9 a registar 46,6 g em Beja e 40,3 g em Elvas. A linha L6 apresentou o valor médio mais elevado de PMG nos dois ambientes (52,2 g em Beja e 48,3 g em Elvas) sendo o melhor desempenho conjuntamente com L2 em Elvas (48,9 g). O facto desta linha ter maior PMG nos dois

locais revela a sua superioridade genética para este parâmetro. As linhas com desempenho mais reduzido neste parâmetro foram as testemunhas Acorazado (43,4 g), Roxo (43,7 g) e a linha L4 (43,6 g) em Beja. Já em Elvas foi a linha L4 (37,9 g), embora as duas testemunhas referidas anteriormente e a linha L8 também tenham tido valores reduzidos e semelhantes aos de Beja.

No número de grãos/m² os genótipos na sua generalidade não apresentaram diferenças significativas entre os dois locais, com exceção da linha L9, que registou em Beja 18786 grãos/m² e em Elvas 13624 grãos/m². Os valores mais elevados foram registados em Beja nesta mesma linha L9 e na linha L8, embora não significativamente diferentes de L1, L5, L7, L10, Paiva e Roxo e da linha L8 de Elvas. Já os valores mais reduzidos dos dois ensaios ocorreram em Elvas nas linhas L3, L6 e Roxo, embora sem diferenças significativas em relação à maioria dos restantes valores. Estes resultados mostram que as linhas podem ter maior capacidade de formação de grãos em condições ambientais mais favoráveis, dependendo da sua genética.

Segundo Bredemeier & Mundstock (2001) nas fases iniciais da cultura, o azoto presente no solo (proveniente da adubação) é essencial para potencializar o número de espiguetas por espiga e, conseqüentemente, potencializar o número de grãos por espiga, refletindo-se num crescimento do número de grãos/m². É também crítico para definir o número de colmos por unidade de área (Busatto, 2025). Antes do espigamento (até final de março) o ensaio de Beja levou mais cerca de 22 UN adubo que o ensaio de Elvas, o que possivelmente terá beneficiado um maior número de grãos/m² em Beja.

A produção foi o parâmetro com mais diferenças significativas de genótipos entre os dois locais, ocorrendo nas linhas L5, L8, L9 e na testemunha Paiva. Os maiores valores foram observados nas linhas L8 (8667 kg/ha) e L9 (8745 kg/ha) em Beja, mas sem diferenças significativas em relação a L1, L5, L10 e testemunha Paiva do mesmo ensaio. As linhas L8 e L9 tiveram melhores valores de produção devido ao maior número de grãos/m² e valores de PMG médios, o que evidencia a importância deste componente da produção. Estes resultados vão de encontro aos obtidos por Calado et al. (2007), que estudaram a produção e seus componentes em 15 genótipos de trigo mole durante quatro anos na região do Alentejo, e concluíram que, em condições mediterrânicas, a formação das espigas (principalmente as produtivas) e em consequência, o número de grãos por unidade de área, são de entre todos os componentes os mais determinantes

para a produção. Já Tan et al. (2024) afirmam uma importância fulcral do PMG na determinação da produtividade do trigo conjuntamente com o número de grãos/espiga e número de espigas/planta.

Segundo Fischer (2001) o progresso no rendimento do trigo tem sido conseguido à custa do aumento do nº de grãos/m², podendo verificar-se esta tendência neste trabalho já que algumas linhas avançadas possuíram maiores valores de número de grãos/m² que as testemunhas mais antigas.

Em Elvas nenhuma linha se destacou em produção, pois foram todas estatisticamente semelhantes entre si e em relação às linhas L3, L4, e testemunhas Acorazado e Roxo do ensaio de Beja. Os maiores valores de produção registados em Beja terão beneficiado das regas suplementares e adubação, tal como foi referido anteriormente.

A existência de efeito significativo da interação genótipo x ambiente sobre as linhas estudadas (Tabelas 4 e 5) confirmou que o comportamento dos genótipos não foi uniforme nos dois locais, verificando-se que algumas linhas apresentaram maior estabilidade entre ambientes enquanto outras tiveram melhor adaptação num local específico.

O melhoramento genético é um processo muito demorado e exigente sendo necessárias 10 ou mais gerações antes do registo de uma nova variedade, durante as quais se tentam reunir num único genótipo um grande conjunto de características favoráveis, como a produtividade, qualidade tecnológica, a resistência a stress bióticos e a adaptação a condições ambientais que estão constantemente a variar (Maçãs et al., 2024). Esta última característica representa o maior desafio, já que, segundo Kang (2020), a interação entre a cultura e o ambiente é o que dita em grande parte a variação de cada característica, o que faz com que a estabilidade da cultura seja a propriedade mais difícil de se garantir. Tsenov et al. (2023) afirmam que cada índice qualitativo ou quantitativo responde de forma específica ao ambiente, o que é corroborado por Maçãs et al. (2024), onde a variedade Paiva apresentou produtividade elevada em quase todos os ambientes testados e os seus parâmetros de qualidade variaram consideravelmente entre ambientes. Contrariamente, a Valbona testada nos mesmos ambientes, sofreu as mesmas pressões externas e apresentou resultados distintos. Estas diferentes respostas do mesmo genótipo e entre diferentes genótipos são o maior desafio dos programas de melhoramento. Este cenário vê-se agravado pelas alterações climáticas, cada vez mais

acentuadas, que fazem com que condições de temperatura e precipitação sejam cada vez mais extremas e imprevisíveis, com implicações para os programas de melhoramento, que terão de elevar a resiliência das novas variedades assim como a sua estabilidade, tão importante como a produtividade (Maças et al., 2024).

4.4. Caracterização de qualidade

A análise de variância dos parâmetros de qualidade encontra-se representada nas Tabelas 6 e 7, tendo sido considerados os parâmetros: massa do hectolitro, teor proteico, volume de sedimentação SDS, parâmetros do alveógrafo (W, P/L) e farinógrafo (Ab, Td, St, Enf, IQ). A qualidade do grão é representada por dezenas de indicadores ou índices, e, grande parte dos estudos realizados abordam a determinação de alterações específicas devido aos ambientes em estudo (Kaplan et al., 2020; Tóth et al., 2022; Tsenov et al., 2023).

4.4.1. Hec, Prot e SDS

Como se pode constatar o fator ambiente foi o que mais afetou de forma significativa os parâmetros Hec (238,50***) e Prot (386,76***) apresentados na Tabela 6, seguido do fator genótipo que apresentou um efeito também altamente significativo ($p < 0,001$), mas muito menor Hec (49,22***) e Prot (18,07***). Para o SDS, o genótipo (33,50***) e o ambiente (35,48***) foram igualmente importantes para explicar a variação deste parâmetro. Em relação à interação GxE, esta apresenta alta significância para o parâmetro Hec ($p < 0,001$) e SDS ($p < 0,01$), não sendo significativa para o teor proteico.

Estes valores de significância de valor proteico vão de encontro a resultados obtidos por Surma et al. (2012), que verificaram que o fator ambiente foi a causa de 56,7% da variação total do teor de proteína, seguida pelo genótipo, que contribuiu apenas com 24,1% e da interação GxE que apresentou uma menor contribuição para a variação total (10,6%).

De forma semelhante, no presente trabalho, o ambiente foi o fator mais determinante para a variação do teor proteico, mas a interação GxE não foi significativa, ou seja, o ambiente determinou o nível geral de proteína em cada local, afetando todas as linhas de forma semelhante, enquanto que a própria genética dos genótipos influenciou as diferenças entre linhas dentro de cada local de ensaio.

Tabela 6: Análise de variância da massa do hectolitro (Hec), teor proteico (Prot), e volume sedimentação SDS (SDS) em função dos fatores estudados: genótipo, ambiente e sua interação.

	g.l.	Hec	Prot	SDS
Modelo	25	36,95***	24,56***	19,19***
G	12	49,22***	18,07***	33,50***
E	1	238,50***	386,76***	35,48***
GxE	12	7,88***	0,86 ^{ns}	3,53**

ns: não significativo; *, **, ***: significativo a 5%, 1%, 0,1% respectivamente; N=78.

Para os parâmetros Hec e SDS observou-se interação significativa entre o genótipo e o ambiente havendo a necessidade de recorrer à comparação das médias da interação, e por isso, na Tabela 7, letras diferentes representam diferenças significativas entre cada combinação genótipo-ambiente para estes dois parâmetros, de acordo com o teste de Tukey. Para a proteína, a interação não foi significativa e por isso apresenta-se na Tabela 7 a comparação de médias dos genótipos dentro de cada ambiente, de acordo com o teste de Tukey: para Beja usaram-se as letras A a E, e para Elvas, usaram-se as letras M a Q.

Tabela 7: Valores médios para os parâmetros de qualidade Hec, Prot, SDS. Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas da combinação GxE no caso dos parâmetros em que esta foi significativa. Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas dentro de cada ambiente, no caso da proteína em que a interação não foi significativa (de acordo com o teste de Tukey para $p \leq 0.05$).

Genótipos	Hec (kg/hl)		Prot (%)		SDS (mm)	
	Beja	Elvas	Beja	Elvas	Beja	Elvas
L1	84,03 a-d	82,80 f-i	13,0 B-E	11,0 PQ	60,0 b-d	46,0 g-k
L2	83,83 b-f	83,23 d-h	13,9 AB	11,9 M-P	52,8 c-i	42,5 i-k
L3	85,10 a	83,57 c-g	13,6 A-D	12,1 M-O	51,5 d-i	57,0 c-f
L4	83,20 d-i	79,90 l	13,4 B-D	12,0 M-O	49,0 e-k	40,5 jk
L5	84,00 a-e	83,03 d-i	13,3 B-D	11,4 N-Q	48,5 e-k	44,5 h-k
L6	82,10 i-k	81,43 k	13,6 A-D	12,2 MN	58,0 b-e	54,5 c-h
L7	82,70 g-j	82,20 h-k	13,2 B-D	11,4 N-Q	63,5 a-c	55,5 c-g
L8	85,03 a	83,57 c-g	12,6 C-E	11,2 O-Q	39,5 k	39,0 k
L9	83,43 c-g	81,37 k	12,0 E	10,5 Q	46,5 f-k	40,5 jk
L10	83,23 d-h	81,60 jk	12,6 DE	11,2 O-Q	50,8 d-j	43,5 i-k
ACORAZADO	83,43 c-g	82,90 e-i	14,6 A	12,8 M	73,0 a	68,5 ab
PAIVA	84,43 a-c	83,57 c-g	13,8 A-C	11,8 M-P	51,0 d-j	50,5 d-j
ROXO	84,90 ab	84,37 a-c	13,7 A-D	12,4 MN	50,5 d-j	52,0 d-i
Média	83,80 A	82,58 B	13,3 A	11,7 B	53,4 A	48,8 B

O resultado do teste de Tukey (Tabela 7) realizado aos parâmetros Hec, Prot e SDS mostrou que, a média geral dos três parâmetros no ensaio de Beja foi superior à média do ensaio de Elvas, apesar de não terem uma grande discrepância.

No parâmetro Hec ocorreram diferenças significativas de um local para o outro em cerca de metade das linhas: L1, L3, L4, L8, L9 e L10 apresentaram valores mais elevados em Beja do que Elvas, e os genótipos com valores mais elevados em Beja foram a L3 (85,10 Kg/hl) e a L8 (85,03 Kg/hl), destacando-se a L3 porque também teve bom desempenho em Elvas. As linhas com valores mais baixos em Beja foram a L6 (82,10 Kg/hl) e L7 (82,70 Kg/hl), sendo significativamente semelhantes às linhas L4, L9, L10 e à testemunha Acorazado. Em Elvas o maior valor registado foi na testemunha Roxo (84,37 Kg/hl) mas não significativamente diferente dos valores de L3, L8 e da testemunha Paiva. O menor valor apresentado neste local foi na linha L4 (79,90 Kg/hl) sendo este o pior desempenho entre os dois ambientes. A média dos valores de hectolitro foi superior em Beja, o que sugere um papel mais benéfico deste ambiente. Em primeiro lugar, o ensaio de Beja beneficiou de regas suplementares na época crítica da primavera, ao contrário do de Elvas, que terão feito toda a diferença. Além disso, em Beja foi aplicada

uma quantidade superior de fertilizante nitrogenado comparativamente a Elvas (um total de 84 UN/ha de diferença) que deverá ter favorecido a mobilização de fotoassimilados para o grão e a massa do hectolitro. Segundo Svečnjak et al. (2007) a utilização de fertilizantes com menor teor de N origina uma diminuição significativa na massa do hectolitro quando comparada com maiores níveis de N. A aplicação de fungicidas em Beja também pode ter contribuído para este aumento nas linhas mais suscetíveis a doenças. Varga et al. (2007) verificaram um aumento do hectolitro após a aplicação de fungicida, principalmente nas cultivares suscetíveis a doenças e que levaram uma elevada dose de azoto, o que pode ter acontecido em Beja. A totalidade das linhas, em ambos os locais, cumpriram os parâmetros mínimos de massa do hectolitro estabelecidos pelas especificações industriais para todas as classes de trigo mole, apresentando um desempenho adequado para a indústria (Bagulho et al., 2020).

No teor proteico, o fator ambiente foi o mais preponderante e todas as linhas apresentaram maior proteína em Beja do que em Elvas (Tabela 7). Segundo Varga et al., (2007) além do maior ou menor potencial genético intrínseco que as cultivares possuem para acumular proteínas, os valores deste parâmetro também são bastante influenciados por fatores ambientais. Trevisan et al. (2022) e os autores por eles citados relatam que a adubação nitrogenada influencia a composição proteica do grão e a sua qualidade, desempenhando um papel importante na formação dos aminoácidos. Também Rossmann et al. (2019), demonstraram que uma fertilização mais fracionada e tardia influencia positivamente o teor de proteína do grão comparativamente a uma adubação mais precoce. Esta constatação vai de encontro aos ensaios aqui apresentados, pois em Beja, foram efetuadas duas fertilizações mais tardias (a 26/03 e 09/04) que não foram realizadas em Elvas e deverão ter influenciado a acumulação de proteína no grão. Outro fator que pode contribuir para explicar os resultados obtidos é a temperatura. O stress térmico sofrido no fim do mês de maio pelas cultivares de Beja pode ter influenciado e aumentado o teor de proteína não tendo o mesmo efeito em Elvas pois o enchimento do grão já tinha terminado antes das temperaturas começarem a subir na última quinzena do mês. Mahdavi et al. (2022) e Han et al. (2025) documentaram este efeito de aumento do teor proteico com o stress térmico durante a fase reprodutiva.

A genética das linhas também influenciou o teor proteico, ocorrendo diferenças entre linhas dentro de cada local de ensaio e destacando-se as testemunhas Acorazado e Roxo com estabilidade desta característica nos dois ambientes, já que foram as que

apresentaram maiores valores de proteínas no grão em ambos os locais. A linha L2 também apresentou um valor elevado, mas apenas no ensaio de Beja, evidenciando uma boa capacidade de acumulação de proteína no grão neste ambiente.

A maioria dos valores do ensaio de Beja enquadram-se na classe panificável superior, destacando-se o Acorazado que atinge um valor enquadrado na classe melhoradora (14,6 %) e pela negativa a linha L9 que desce à classe panificável corrente (12,0 %). Em Elvas constata-se uma situação completamente distinta onde a maioria dos genótipos se enquadraram na classe panificável corrente, com o Acorazado a alcançar a classe de panificável superior (12,8%).

O volume de sedimentação SDS foi o parâmetro que menos apresentou diferenças significativas entre ambientes, verificando-se somente na LI, onde se registou 60,0 mm em Beja e 46,0 mm em Elvas. Relativamente aos locais, o valor mais elevado em Beja foi registado na testemunha Acorazado (73,0 mm), sendo este também o melhor desempenho em Elvas (68,5 mm). Por outro lado, o valor mais reduzido no ensaio de Beja foi observado no genótipo L8 (39,5 mm), sendo o pior desempenho em Elvas (39,0 mm). Os melhores resultados na generalidade das linhas foram obtidos em Beja, podendo ser atribuídos à maior adubação. Zecevic et al. (2010) constataram que o aumento do teor de azoto origina um incremento dos volumes de sedimentação SDS. O volume de sedimentação SDS reflete a qualidade da força do glúten, mas pode ser influenciado pelos valores do teor de proteína (Silva et al., 2019) o que também pode ter acontecido neste trabalho. As temperaturas mais elevadas sentidas durante o enchimento do grão em Beja também poderão ter influenciado positivamente o volume de sedimentação SDS. Esse efeito já teria sido observado por outros autores (Tahir et al., 2006; Mahdavi et al., 2022), ao compararem o efeito da temperatura elevada e moderada durante o enchimento do grão neste e noutros parâmetros de qualidade.

4.4.2. Alveógrafo

Os parâmetros reológicos refletem o comportamento da massa (alveógrafo e farinógrafo). Da análise de variância dos parâmetros do alveógrafo (Tabela 8), verifica-se que a sua variação foi influenciada pelo genótipo, ambiente e a sua interação. O fator genótipo foi o que mais afetou a energia de deformação W (115,76***) e a relação de

equilíbrio P/L (39,26***), tendo um efeito altamente significativo sobre estes parâmetros. O fator ambiente também exerceu uma influência altamente significativa no parâmetro W (46,13***), não sendo, porém, significativa para a relação P/L (2,84^{ns}) enquanto fator isolado. Diversos autores referem a influência do genótipo, do ambiente e da sua interação GxE nestes parâmetros (Kaya et al., 2015, Mariani et al., 1995, Yannam et al., 2023 e Tsenov et al., 2023), mas nem todos os estudos obtiveram maior importância do fator genótipo. Kaya et al. (2015) ao estudarem 18 genótipos num ensaio com irrigação realizado na Turquia durante oito anos, obtiveram uma maior preponderância do ambiente na determinação dos parâmetros alveográficos. A influência do genótipo é devida ao tipo de proteínas presentes em cada genótipo, enquanto o ambiente condiciona a quantidade que é expressa (Zhang et al., 2024) e o equilíbrio entre os grupos de proteínas (Bagulho et al., 2020, Han et al., 2025), influenciando, assim, as características das massas obtidas.

A relação genótipo x ambiente foi altamente significativa para ambos os parâmetros (Tabela 8), pelo que os genótipos não tiveram o mesmo comportamento no ensaio alveográfico dos dois ambientes em estudo.

Tabela 8: Análise de variância dos parâmetros do alveógrafo (W, P/L) em função dos fatores estudados: genótipo, ambiente e sua interação.

	g.l.	W	P/L
Modelo	25	63,90***	23,70***
G	12	115,76***	39,26***
E	1	46,13***	2,84 ^{ns}
GxE	12	13,51***	9,89***

ns: não significativo; *, **, ***: significativo a 5%, 1%, 0,1% respetivamente; N=78.

A análise mais detalhada dos parâmetros W e P/L (Tabela 9) mostra que, ao contrário do que se observou nos restantes parâmetros avaliados até ao momento, o valor médio de W do ensaio de Elvas foi superior ao valor médio do ensaio de Beja, enquanto os valores médios da relação de equilíbrio P/L nos dois ensaios não foram significativamente diferentes.

Tabela 9: Valores médios para os parâmetros de qualidade alveográficos testados, influenciados pela interação GxE. Letras diferentes indicam diferenças significativas da combinação GxE de acordo com o teste de Tukey (test ($p \leq 0.05$))

Genótipos	W (kg/hl)		P/L	
	Beja	Elvas	Beja	Elvas
L1	204 d-i	182 f-k	2,07 b-g	2,62 bc
L2	107 no	160 i-m	1,63 d-k	0,80 k
L3	168 h-m	254 cd	2,50 bc	1,96 b-h
L4	123 l-o	153 j-o	2,13 b-f	2,27 b-e
L5	158 i-n	174 g-l	1,20 h-k	1,50 e-k
L6	214 d-h	231 d-f	2,46 b-d	2,50 bc
L7	222 d-g	240 c-e	2,12 b-g	1,87 c-i
L8	140 k-o	159 i-m	2,76 b	4,27 a
L9	105 o	120 m-o	1,01 jk	1,26 g-k
L10	142 k-o	168 h-m	1,39 f-k	1,05 i-k
ACORAZADO	346 b	433 a	1,84 c-j	1,57 e-k
PAIVA	290 c	194 e-j	2,07 b-g	0,78 k
ROXO	167 h-m	244 c-e	1,56 e-k	0,96 k
Média	183 B	208 A	1,90 A	1,80 A

A interação significativa no parâmetro W foi devida às linhas L2, L3 e às três testemunhas deste estudo que apresentaram comportamento distinto nos dois locais. Todas, exceto o Paiva, tiveram maiores valores de W em Elvas. Como os teores proteicos foram maiores em Beja, estes resultados terão de ser explicados pelo equilíbrio entre os diversos grupos de proteínas do glúten que terá sido mais favorável para a força da massa no ensaio de Elvas. A ausência de regas de apoio e a sementeira mais precoce deste ensaio, terão acelerado o ciclo, e, as temperaturas mais elevadas do mês de maio já apanharam os genótipos em fase de maturação fisiológica, não afetando o equilíbrio entre os grupos de proteínas do glúten, como aconteceu em Beja. Segundo Han et al. (2025) o aquecimento durante o dia geralmente aumenta o teor de proteínas enquanto reduz a acumulação de amido, no entanto, temperaturas acima de 30 °C diminuem parâmetros-chave da qualidade das proteínas (percentagem de UPP, ou seja, de proteínas poliméricas não extraíveis; relação gluteninas/gliadinas; relação gluteninas HMW/LMW). O aquecimento noturno melhora a qualidade das proteínas, mas compromete o teor de amido e o potencial de rendimento.

Em Beja, o valor mais elevado foi registado na testemunha Acorazado (346 kg/hl), enquanto o valor mais reduzido foi observado na Linha L9 (105 Kg/hl), embora estatisticamente semelhante às linhas L2, L4, L8 e L10. Em Elvas, os resultados obtidos foram semelhantes, com a testemunha Acorazado a destacar-se novamente com o melhor resultado (433 Kg/hl) e a linha L9 com o valor mais reduzido (120 Kg/hl), mas não significativamente diferente das mesmas linhas de Beja. Estes resultados põem em evidência a importância do genótipo para a definição deste parâmetro.

Relativamente à relação de equilíbrio P/L (entre a tenacidade e extensibilidade da massa), apenas a linha L8 se comportou de modo diferente nos dois locais, registando-se 2,76 em Beja e 4,27 em Elvas, sendo esta a linha mais desequilibrada em ambos os locais, o que deve estar relacionado com o seu reduzido teor proteico e principalmente com a genética desta variedade. Apesar de apresentar os piores valores, estes não foram significativamente diferentes dos de outras linhas (L1, L3, L4, L6, L7, Paiva) em Beja. Neste local, o valor mais reduzido e equilibrado ocorreu no genótipo L9 (1,01), mas estatisticamente semelhante às linhas L2, L5, L10 e Roxo. Em Elvas os valores equilibrados enquadrados na gama de P/L que se pretende 0,5 – 1,2 foram observados nas testemunhas Paiva (0,78), Roxo (0,96), e, nas linhas L2 (0,80), L9 (1,26), L10 (1,05).

Os valores de P/L foram de um modo geral desequilibrados, ou seja, as massas foram demasiado tenazes e pouco extensíveis, o que não é desejável para panificação. Estes resultados foram fruto das condições climáticas que se verificaram nos dois ensaios enquanto as proteínas do glúten estavam a ser sintetizadas no grão. Os valores de P considerados padrão para panificação andam por volta dos 60-80 mm, muito boa qualidade entre 80-100 mm e trigos extrafortes acima de 100 mm de acordo com Hadnađev et al. (2011). Neste trabalho, os valores de P (dados não apresentados) estiveram entre 56 e 152 mm em Beja e entre 69 e 167 mm em Elvas, variando entre valores padrão e extrafortes. Também ocorreu uma grande variação no parâmetro L (dados não apresentados), entre 27 e 113 mm em Elvas e 36 e 100 mm em Beja, com muitos valores abaixo de 100 mm que terão contribuído para valores de P/L desequilibrados, já que segundo Hadnađev et al. (2011), apenas as farinhas com valores de L acima de 100 mm são consideradas boas para panificação.

4.4.3. Farinógrafo

A análise de variância aos parâmetros do farinógrafo (Ab, Td, St, Enf e IQ) é apresentada na Tabela 10. Os três fatores genótipo, ambiente e sua interação afetaram significativamente todos os parâmetros do farinógrafo, exceto o índice de qualidade IQ, pois o ambiente não foi significativo para este parâmetro enquanto fator isolado. A capacidade de absorção das farinhas Ab, o tempo de desenvolvimento Td e a estabilidade St das massas mostraram ser mais influenciados pelo ambiente (com valores de F de 112,04***, 67,77***, 104,38***, respectivamente) do que pelo genótipo (com valores de F de 55,86***, 25,37***, 47,22***, respectivamente), embora este também tenha sido muito significativo. Já o enfraquecimento Enf e o índice de qualidade IQ mostraram ser mais influenciados pelo genótipo (com valores de F de 72,66*** e 43,60***, respectivamente) do que pelo ambiente (34,64*** e ns, respectivamente). Denčić et al. (2011) num estudo que realizaram com 140 genótipos na Sérvia obtiveram maior influência ambiental nos parâmetros Ab e Td e IQ, enquanto Sahin et al. (2019) obtiveram uma maior influência do genótipo e ausência de influência ambiental na variação de IQ num estudo em que compararam o mesmo ensaio entre diferentes ambientes com diferentes condições de irrigação (sequeiro vs regadio).

Tabela 10: Análise de variância dos parâmetros do farinógrafo (Ab, Td, St, Enf) em função dos fatores estudados: genótipo, ambiente e sua interação.

	g.l.	Ab	Td	St	Enf	IQ
Modelo	25	37,17***	19,28***	35,67***	47,76***	30,26***
G	12	55,86***	25,37***	47,22***	72,66***	43,60***
E	1	112,04***	67,77***	104,38***	34,64***	0,80 ^{ns}
GxE	12	12,25***	9,14***	18,38***	23,95***	19,37***

ns: não significativo; *, **, ***: significativo a 5%, 1%, 0,1% respectivamente; N=78.

Como a interação GxE foi significativa para todos os parâmetros farinográficos, na Tabela 11 comparam-se estes valores médios.

Tabela 11: Valores médios para os parâmetros de qualidade farinográficos testados, influenciados pela interação GxE. Letras diferentes indicam diferenças significativas da combinação GxE de acordo com o teste de Tukey (test ($p \leq 0.05$))

Genótipos	Ab (%)		Td (min)		St (min)		Enf (UF)		IQ	
	Beja	Elvas	Beja	Elvas	Beja	Elvas	Beja	Elvas	Beja	Elvas
L1	68,1 a-c	61,0 g-l	4,9 c-g	3,7 d-j	4,3 f-k	5,4 c-h	102 c-g	96 d-h	61 d-f	58 d-h
L2	60,9 h-m	59,0 j-n	3,5 e-j	2,0 i-k	3,2 k	3,7 i-k	117 a-d	112 b-e	44 h-i	41 i
L3	65,6 b-f	63,2 f-i	5,6 b-d	5,1 c-f	5,0 e-i	5,6 b-g	68 i-l	77 h-l	72 b-d	69 b-d
L4	65,6 c-f	67,9 a-c	4,4 c-g	4,4 c-g	3,3 j-k	4,2 g-k	140 a	121 a-c	52 f-i	63 c-f
L5	64,2 d-h	62,0 g-k	4,1 c-h	1,8 jk	3,3 j-k	5,1 d-i	119 a-d	118 a-d	50 f-i	58 d-h
L6	70,3 a	61,7 g-k	4,2 c-h	3,6 e-j	4,1 g-k	5,6 b-g	126 ab	106 b-f	53 e-i	60 d-g
L7	67,3 a-d	63,3 e-i	5,7 a-c	3,2 f-k	5,7 b-f	6,8 bc	76 h-l	66 j-l	77 bc	68 b-d
L8	64,3 d-g	62,1 g-k	4,2 c-h	3,8 c-i	4,0 h-k	5,6 b-g	125 a-c	90 e-i	51 f-i	67 b-e
L9	58,8 k-n	58,3 l-n	2,4 h-k	2,0 i-k	4,2 g-k	5,4 c-h	124 a-c	85 f-j	52 e-i	61 d-f
L10	56,6 n	57,6 mn	3,1 g-k	1,4 k	5,1 d-i	4,7 f-j	96 d-h	79 g-k	59 d-h	46 g-i
ACORAZADO	69,0 ab	66,6 b-e	5,4 b-e	7,3 ab	6,2 b-e	11,1 a	57 k-m	21 n	80 b	107 a
PAIVA	67,0 a-d	62,3 f-j	7,6 a	3,1 g-k	6,9 b	4,4 f-k	37 mn	114 b-d	96 a	53 e-i
ROXO	61,0 g-l	60,6 i-m	5,2 c-e	4,3 c-h	4,8 e-i	6,6 b-d	83 f-j	53 lm	64 c-f	72 b-d
Média	64,5 A	62,0 B	4,6 A	3,5 B	4,6 B	5,7 A	98 A	88 B	62 A	63 A

Os valores médios de Ab, Td e Enf foram mais elevados no ensaio de Beja do que no ensaio de Elvas, os dois primeiros possivelmente devido ao maior teor proteico, enquanto que para o enfraquecimento terá sido mais determinante o equilíbrio entre os diversos grupos de proteínas do glúten, que foram mais prejudiciais para a força da massa em Beja, como se verificou no parâmetro W do alveógrafo. Para a St a situação inverteu-se e os valores foram mais elevados em Elvas, porque este parâmetro deve ser mais dependente do equilíbrio entre os diversos grupos de proteínas do glúten tal como o Enf, Pode-se constatar que Elvas favoreceu a reologia da massa (maior estabilidade, menor enfraquecimento e IQ superior) e Beja o teor proteico e consequentemente a absorção de água, mas prejudicou a reologia da massa (menor estabilidade, maior enfraquecimento e IQ inferior), sugerindo massas menos tolerantes ao processamento de amassadura mecânico.

Para a Ab ocorreram diferenças significativas entre locais nas linhas L1, L6, L7 e Paiva, com maiores valores em Beja. O maior valor foi registado na linha L6 de Beja (70,3 %), mas não significativamente distinto das absorções das linhas L1, L7, Acorazado e Paiva do mesmo ensaio. O menor valor foi registado na linha L10 de Beja (56,6 %) e Elvas (57,6 %), mas não significativamente diferente da linha L9 de Beja (58,8 %) e Elvas (58,3 %). Em Elvas a maior capacidade de absorção foi obtida na linha L4 (67,9 %) e na testemunha Acorazado (66,6 %). Os maiores valores de capacidade de absorção do ensaio de Beja devem-se principalmente à influência do maior teor proteico. Esta relação positiva entre a absorção de água, o teor de proteínas e o amido danificado foi referida por Watanabe (2014). A forte influência ambiental neste parâmetro também se deve ao facto de as proteínas do grão serem significativamente influenciadas pelas condições climáticas e maior adubação realizada neste ensaio, como se referiu anteriormente. Como o teste farinográfico foi realizado em condições standardizadas, os parâmetros do ensaio como temperatura, moagem e velocidade de mistura foram constantes e não influenciaram os resultados.

Para o Td ocorreram diferenças significativas entre os dois locais nas linhas L5, L7 e Paiva. O maior valor ocorreu na testemunha Paiva de Beja (7,6 min), embora estatisticamente semelhante ao valor da linha L7 do mesmo ensaio (5,7 min) e da testemunha Acorazado do ensaio de Elvas (7,3 min). O menor valor de tempo de desenvolvimento foi registado na linha L10 do ensaio de Elvas (1,4 min), mas sem diferenças significativas em relação às linhas L2, L5, L7, L9 do mesmo ensaio e às linhas

L9 e L10 do ensaio de Beja. A tendência para maiores valores de Td no ensaio de Beja poderá estar relacionada com o maior teor proteico deste ensaio. Dewan et al. (2024) num estudo com 11 variedades de trigo, atribuíram o aumento do Td ao aumento da percentagem de gluteninas nessas linhas. A mesma situação pode ter ocorrido no presente trabalho, em que o maior teor proteico de Beja pode estar associado a um aumento na proporção de gluteninas/gliadinas. Barak et al. (2013) verificou esta mesma relação entre gluteninas/gliadinas e o tempo de desenvolvimento da massa. Já An et al. (2024) verificou que a aplicação de azoto aumenta o teor de gliadinas em 9,1 % a 30,5 % e de gluteninas em 12,9 % a 45,4 %, em comparação com a não aplicação de azoto.

Para a estabilidade (St) observam-se diferenças significativas entre locais em cinco genótipos: as linhas L5 e L8 e as três testemunhas. O melhor desempenho foi obtido na testemunha Acorazado do ensaio de Elvas (11,1 min), que também foi um dos maiores valores de estabilidade do ensaio de Beja (6,2 min), juntamente com outras linhas do mesmo ensaio, nomeadamente Paiva (6,9 min) e L7 (5,7 min). Os piores desempenhos verificaram-se nas L1, L2, L4, L5, L6, L8 e L9 de Beja e nas linhas L2, L4 e testemunha Paiva de Elvas, que não apresentaram diferenças significativas entre si.

Observaram-se cinco genótipos com valores estatisticamente distintos entre locais, no que diz respeito ao grau de enfraquecimento (Enf): L8, L9 e as três testemunhas. Como os melhores valores de Enf correspondem aos valores mais baixos, as linhas com melhor desempenho neste parâmetro foram as testemunhas Acorazado em ambos os locais (21 UF em Elvas e 57 UF em Beja), Paiva em Beja (37 UF) e Roxo em Elvas (53 UF). Os piores desempenhos foram obtidos nas linhas L2, L4, L5, L6, L8 e L9 do ensaio de Elvas e L4, L5 em Beja.

Por último, no índice de qualidade (IQ), verificaram-se diferenças significativas entre locais na linha L8 e nas três testemunhas avaliadas. Os valores mais elevados foram obtidos na variedade Acorazado em Elvas (107) e Paiva em Beja (96), enquanto que os menores valores ocorreram nas linhas L2, L10 e Paiva do ensaio de Elvas e L2, L4, L5, L6, L8 e L9 do ensaio de Beja.

Os três últimos parâmetros descritos St, Enf e IQ estão altamente correlacionados entre si de acordo com Singh et al., (2024) (coeficientes de correlação de Pearson $> 0,8$ para $p \leq 0,01$), sendo as correlações entre St e IQ positivas e destes dois parâmetros com o Enf negativas. Os genótipos que apresentaram diferenças entre os dois ambientes foram

de um modo geral melhores em Elvas devido ao equilíbrio entre os diversos grupos de proteínas do glúten que terá sido favorecido neste ambiente, como se explicou anteriormente.

5. Conclusões

Os resultados obtidos ao longo deste trabalho permitiram compreender a importância das condições edafoclimáticas, das práticas culturais e do genótipo na determinação da produção e qualidade do trigo mole. Constatou-se que, de uma maneira geral, todos os fatores estudados (ambiente, genótipo e sua interação genótipo x ambiente) afetaram significativamente os parâmetros analisados. Relativamente aos parâmetros agronômicos (PMG, Grãos/m² e Prod), o ambiente foi o fator com maior importância, assim como para os parâmetros de qualidade (Hec, Prot e SDS), com a ressalva de que, no SDS, o genótipo demonstrou peso idêntico. Quanto aos parâmetros de qualidade do alveógrafo (W, P/L), concluiu-se que a genética das linhas é o fator mais determinante na variação destes parâmetros. Já no farinógrafo, verificou-se maior importância do fator ambiente para os parâmetros Ab, Td e St e maior influência do genótipo para os parâmetros Enf e IQ.

No que respeita à produção, as linhas que mais se destacaram foram as linhas L8 e L9 de Beja, tendo ambas obtido valores superiores aos restantes genótipos e de um modo geral superiores às testemunhas do ensaio. Estas linhas registaram valores médios de PMG e um elevado número de grãos/m². O ambiente de Elvas não permitiu a verdadeira expressão do potencial produtivo, não se tendo destacado estatisticamente nenhum genótipo.

Na qualidade, a testemunha Acorazado em Beja demonstrou melhor desempenho a nível de Hec, Prot e SDS registando melhores valores em Prot e SDS e valor muito próximo da média do ensaio no Hec. Esta conclusão era expectável, dado que esta testemunha foi precisamente selecionada devido a ser uma referência em termos de qualidade. Nas linhas, a L3 de Beja foi a melhor e mais consistente em termos de qualidade para estes parâmetros, apresentando valores elevados de Hec, Prot e de SDS próximos da média do ensaio.

No alveógrafo obtiveram-se valores de P/L muito desequilibrados para praticamente todas as linhas em ambos os locais de ensaio. Considerando os valores de energia de deformação (W), a testemunha Acorazado em Elvas obteve melhor desempenho neste parâmetro, porque ao ser uma testemunha pouco produtiva conseguiu acumular mais proteína (glúten) o que se refletiu no W. Nas linhas, a L7 de Elvas apresentou o melhor

resultado para ambos os parâmetros, com valor de W elevado e um P/L menos desequilibrado e relativamente próximo da média do ensaio. No farinógrafo, a testemunha Acorazado em Elvas voltou a registar o melhor desempenho, apresentando valores elevados de Ab, Td, St, IQ e valores reduzidos de Enf. Nas linhas, a L7 foi novamente uma das que mais se destacou, com bons valores de Ab, Td, St, Enf e IQ.

Estes resultados sugerem que as condições climáticas sentidas a sul de Portugal oferecem condições adequadas para a produção de trigo de qualidade, mas existe uma grande imprevisibilidade nas características obtidas pelos genótipos em termos de produtividade e qualidade, o que dificulta o trabalho do melhoramento e exige a análise de vários anos para se conseguir estabilidade nestas características. De forma geral o estudo demonstra como é difícil conciliar, numa mesma variedade, todos os requisitos da indústria com valores de produção adequados. Para além disso por mais que o melhoramento consiga identificar os genótipos superiores, o local e o itinerário técnico têm uma enorme influência nos resultados obtidos.

6. Bibliografia

- Amaral, A.S. & Peske, S.T. (2000). Testes para avaliação rápida da qualidade fisiológica de sementes de trigo. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.6 n.1, p.12-15. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/CAST/article/view/298/293>.
- An, H.-Y., Han, J.-J., He, Q.-N., Zhu, Y.-L., Wu, P., Wang, Y.-C., Gao, Z.-Q., Du, T.-Q., & Xue, J.-F. (2024) Influence of nitrogen application rate on wheat grain protein content and composition in China: A meta- analysis. *Agronomy* 14(6), 1164. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy14061164>
- Anpromis (n.d.) Área de culturas arvenses em Portugal continental (2018 a 2024). Acedido a 03/06/2026, disponível em: <https://www.anpromis.pt/dados-estatisticos.html>
- Anton Paar (2026). Brabender farinograph: absorption and dough mixing analyzer. Disponível em: anton-paar.com/?elD=documentsDownload&document=72834&L=0
- Associação Portuguesa de Nutrição (2023). Cereais e pseudocereais: Da seara ao prato. Disponível em: [Ebook_Cereais_e_Pseudocereais_versao_final_.pdf](#)
- Atwell, W.A. (2003). Overview of flour testing. *Cereal Foods World*, 48(5), 252–256. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/289131338_Overview_of_flour_testing
- Aviara, N.A., Liberty, J.T., Olatunbosun, O.S., Shoyombo, H.A. & Oyeniyi, S.K. (2022). Potential application of hyperspectral imaging in food grain quality inspection, evaluation and control during bulk storage. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100288>
- Bagulho, A.S. (2009). Efeito das proteínas de reserva e das associadas ao amido e aos lípidos nas propriedades reológicas de farinhas de trigo mole. Tese de doutoramento, 264p. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/entities/publication/99239dd7-1b26-4603-8e77-fe2ed679b0ee>
- Bagulho, A.S., Costa, R., Pinheiro, N., Gomes, C., Almeida, A.S., Moreira, J., Coco, J., Costa, A., Coutinho, J. & Maças, B. (2020). Qualidade do trigo-mole: dependência dos fatores genéticos e ambientais. *Vida Rural*, fev 2020: 28-30. Disponível em: https://www.inia.pt/images/publicacoes/2020/Qualidade_do_trigo-mole.pdf
- Bagulho, A.S., Moreira, J., Costa, R., Pinheiro, N., Gomes, C., Almeida, A.S., Costa, A., Coutinho, J., Dôres, J., Costa, N., Rosa, E., Patanita, M. & Maças, B. (2022). Fatores que influenciam a vitreosidade do trigo-duro num ambiente mediterrânico. *Vida Rural*, mar 2022: 76-82. Disponível em: <https://inia.pt/divulgacao-mobile/publicacoes/publicacoes-bd/fatores-que-influenciam-a-vitreosidade-do-trigo-duro-num-ambiente-mediterranico>
- Barak, S., Mudgil, D., & Khatkar, B. S. (2013). Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *Food Science and Technology*, 51 (1), 211-217. Disponível em: [10.1016/j.lwt.2012.09.011](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.09.011)
- Barradas, M. T., Bagulho, F. & Maças, B. (1996). Referências do melhoramento do trigo panificável em Portugal. *Melhoramento* 34: 5-21.

- Bartolini, F. & Coderoni, S. (2025). Reflections and new directions: An editorial retrospective and the launch of our new Policy Paper section. *Bio-Based and Applied Economics*, 14(2), 3–4. Disponível em: <https://doi.org/10.36253/bae-18640>
- Battisti, R., Somavilla, L., Busanello, C. & Schwerz, L. (2011). Eficiência do uso da massa hectolitro como teste rápido de vigor de semente de trigo (*Triticum aestivum*). *Agricultural and Food Sciences* 18(1):125-135. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/275961031_Eficiencia_do_uso_da_massa_hectolitro_como_teste_rapido_de_vigor_de_semente_de_trigo_Triticum_aestivum
- Belluco, B. (2014). Distribuição de desoxinivalenol nas frações de trigo obtidas no processo de moagem. Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 97p. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2014.tde-11112014-152023>
- Benincasa, P., Reale, L., Cerri, M., Tedeschini, E., Tosti, G., Falcinelli, B. & Rosati, A. (2022). Nitrogen fertilization levels and timing affect the plasticity of yield components in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, 289, 108734. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108734>
- Bock, J. E. (2022). Chapter 7—Using the Farinograph for soft wheat products. In J. E. Bock & C. Don (Eds.), *The Farinograph Handbook* (Fourth Edition), Woodhead Publishing pp. 91–97. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819546-8.00003-0>
- Bredemeier, C.;Mundstock, C.M. (2001) Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, v. 25, p.317-323. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/r7czHCYwYFF7TWgdBnJTbfm/?format=html&lang=pt>
- Busatto, C. A. (2025), Adubação mineral e orgânica no trigo: desempenho agrônomo e qualitativo. p.36 Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/36113>
- Bushuk, W. (1998). Wheat breeding for end-product use. *Euphytica*, 100(1), 137–145. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1018368316547>.
- Calado, J. M. G, Basch, G., & Carvalho, M. (2007). Componentes da produção de grãos em genótipos de trigo mole nas condições mediterrânicas. *Revista de ciências agrárias*, p1-2 Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/download/15573/12770/>
- Canadian Food Inspection Agency (2026). The biology of *Triticum aestivum* L. (wheat). Acedido a 30/03/2026, disponível em: <https://inspection.canada.ca/en/plant-varieties/plants-novel-traits/applicants/directive-94-08/biology-documents/triticum-aestivum#b0>
- Carmo, M. & Domingos, T. (2021). Agricultural Expansion, Soil Degradation, and Fertilization in Portugal, 1873–1960: From History to Soil and Back Again. *Social Science History*, 45(4), 705–732. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/ssh.2021.28>
- Celestina, C., Hunt, J., Brown, H., Huth, N., Andreucci, M., Hochman, Z., Bloomfield, M., Porker, K., McCallum, M., Harris, F., Matthews, M., Biddulph, B., Al Yaseri, G., Nicol, D., Hyles, J., Wang, E., Zheng, B., Zhao, Z. & Kohout, M. (2023). Scales of development for wheat and barley specific to either single culms or a population of culms. *European Journal of Agronomy*, 147, 126824. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126824>

- Comissão Europeia (2026). Cereals production. Acedido a 25/03/2026, disponível em: <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DashboardCereals/CerealsProduction.html>
- Consulair, (n.d.). A short guide to invest in agriculture in Portugal. Disponível em: https://www.vda.pt/xms/files/vl/Eventos/2017/Consulair_Guia_Investidor.pdf
- Dang, H., Sun, R., She, W., Hou, S., Li, X., Chu, H., Wang, T., Huang, T., Huang, Q., Siddique, K.H.M. & Wang, Z. (2024). Updating soil organic carbon for wheat production with high yield and grain protein. *Field Crops Research*, 317, 109549. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109549>
- Denčić, S., Mladenov, N., & Kobiljski, B. (2011). Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. *International Journal of Plant Production*, 5(1), 71-82. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285877966_Effects_of_genotype_and_environment_on_breadmaking_quality_in_wheat
- Dewan A., Chhikara, N., & Khatkar, B. S. (2024). Evaluating dough and gluten strength in wheat varieties: A combined qualitative and quantitative approach. *Agricultural Research Journal*, 61(3), 420-431. Disponível em: [10.5958/2395-146X.2024.00054.5](https://doi.org/10.5958/2395-146X.2024.00054.5)
- Dick, J.W. & Quick, J.S. (1983). A Modified Screening Test for Rapid Estimation of Gluten Strength in Early-Generation Durum Wheat Breeding Lines. *Cereal Chem* 60: 315 - 318. Disponível em: <https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1983/Documents/CC1983a113.html>
- Ding, Y., Zhang, Y., Zhang, T., Zhao, D., Yang, Y., Wang, K., Zheng, Z., Wang, C., Li, Y., Mao, R., Ye, Y., Li, M., Li, Y., Qin, Y., Liu, X., Guo, L., Cui, Y., Zhang, X., & Zhang, H. (2026). Research progress on spike development of wheat. *Plant Science*, 362. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112847>
- EMBRAPA, (2021). Tecnologia de Alimentos: Trigo. Acedido a 10/03/2026, disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/tecnologia-de-alimentos/processos/grupos-de-alimentos/cereais-e-graos/trigo>
- EN-15948: 2020 (2020) Cereals - Determination of moisture and protein - Method using Near-Infrared Spectroscopy in whole kernels, 12p. Acedido a 20/04/2026.
- Eurostat (2026). Wheat and spelt by area, production and humidity. Acedido a 30/03/2026, disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tag00047/default/table?lang=en>
- FAO (2026a). Situación alimentaria mundial. Acedido a 25/03/2026, disponível em: <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- FAO (2026b). Land & Water. Acedido a 01/03/2026, disponível em: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/wheat/en/>
- Fischer, R.A. (2001) - Selection traits for improving yield potential. In: Reynolds, M.P.; OrtizMonasterio, J.I. & McNab, A. (Eds.). *Application of Physiology in Wheat Breeding*, D. F.:

- CIMMYT, México, pp.148-159. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/download/15573/12770/>
- Garutti, M., Nevola, G., Mazzeo, R., Cucciniello, L., Totaro, F., Bertuzzi, C. A., Caccialanza, R., Pedrazzoli, P. & Puglisi, F. (2022). The Impact of Cereal Grain Composition on the Health and Disease Outcomes. *Frontiers in Nutrition*, 9, 888974. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.888974>
- Ghafoor, A. Z., Ceglińska, A., Karim, H., Wijata, M., Sobczński, G., Derejko, A., Studnicki, M., Rozbicki, J., & Cacack-Pietrzak, G. (2024). Influence of genotype, environment, and crop management on the yield and bread-making quality in spring wheat cultivars. *Agriculture*, 14(12), 2131. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/12/2131>
- Giles, R.J. (2004). The origins of *Triticum aestivum* L. Tese de Doutoramento, University of Manchester - Institute of Science and Technology, 211p. Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/3bb6bc2999743ffcdb55f12c5c69a850/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- GPP - Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (2020). Análise setorial: Cereais. Acedido a 25/03/2026, disponível em: https://www.gpp.pt/images/PEPAC/Consultaalargada16Nov2020_revisao/Indice_analissectorial_Cereais.pdf
- GPP - Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (2025). Estratégia + Cereais: Aumento da produção sustentável de cereais em Portugal 2025-2030. Acedido a 11/03/2026, disponível em: <https://www.gpp.pt/index.php/noticias/estrategia-cereais-aumento-da-producao-sustentavel-de-cereais-em-portugal-2025-2030>
- GPP - Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral (2026). Trigo. Informações sobre Produtos. GlobalAgriMar. Acedido a 25/03/2026, disponível em: <https://www.gpp.pt/index.php/produtos/produtos>
- Hadnađev, D., Pojić, M. Hadnađev, M., Torbica, A. 2011. The Role of Empirical Rheology in Flour Quality Control. In I. Akyar (Ed.), *Wide Spectra of Quality Control*, pp. 336-360, IntechOpen. Disponível em: DOI: 10.5772/24148
- Han, P., Wang, Y., & Sun, H. (2025). Impact of temperature stresses on wheat quality: A focus on starch and protein composition. *Foods*, 13(13), 2178. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/13/2178>
- Healthgrain Forum (n.d.). Healthy cereal foods for consumers. Acedido a 25/02/2026, disponível em: <https://healthgrain.org/>.
- INE- Instituto Nacional de Estatística (2026). Boletim mensal agricultura e pescas: Breve síntese sobre a evolução da produção e dos preços na agricultura e pescas. Acedido a 12/03/2026, disponível em: Portal INE - Publicação 16471040, https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOEstipo=ea&PUBLICACOEScoleccion=107700&selTab=tab0&xlang=pt
- INE - Instituto Nacional de Estatística (2026a). Boletim mensal agricultura e pescas: Breve síntese sobre a evolução da produção e dos preços na agricultura e pescas. Acedido a 10/03/2026, disponível em: Portal INE - Publicação 441601616,

https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOEstipo=ea&PUBLICACOEScoleccion=107700&selTab=tab0&xlang=pt

INE - Instituto Nacional de Estatística (2026b). Base de dados: Consumo humano de cereais per capita (Kg/hab.), por espécie de cereais, anual. Acedido a 10/03/2026, disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0000181&contexto=bd&selTab=tab2

INE - Instituto Nacional de Estatística (2026c). Estatísticas agrícolas: A economia do trigo. Acedido a 25/03/2026, disponível em: https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=562257405&att_display=n&att_download=y

INFOSOLO - Base de dados de perfis de solos de Portugal (2025). Acedido a 05/04/2026, disponível em: <https://projects.inia.pt/infosolo/>

INIAV - Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (n.d.). Missão e atribuições. Acedido a 30/03/2026, disponível em: https://www.inia.pt/content_page/pt/inia/missao-e-atribuicoes

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2026). Acedido a 15/03/2026, disponível em: <https://WWW.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima>

ISO 520: 2010 (2010) - Cereals and pulses — Determination of the mass of 1 000 grains, 10p. Acedido a 20/04/2026.

ISO 5530-1: 2017 (2017) Wheat flour — Physical characteristics of doughs — Part 1: Determination of rheological properties using an farinograph, 32p. Acedido a 26/04/2026.

ISO 7971-2: 2015 (2015) Cereals — Determination of bulk density, called mass per hectolitre — Part 3: Routine method, 18p. Acedido a 20/04/2026.

Jiang, Y., Jiang, M., Abbas, T., Ge, H., Wen, X. & Chen, H. (2025). Detection of wheat impurities using terahertz imaging technology and deep learning. LWT, 229. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.118201>

Jødal, A.S., & Larsen, K.L. (2021). Investigation of the relationships between the alveograph parameters. Scientific Reports, 11(1), 5349. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84959-3>

Kang, M. S. (2020) Genotype- Environment Interaction and Stability Analyses: An update. (2nd ed., pp.140-161. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781789240214.0140>

Kaplan Evlice, A., Pehlivan, A., Sanal, T., Salantur, A., Gokhan, K., Gulcin, D., Boyaci, I.H., Hamit, K. 2020. Utilization potential of glutograph in wheat breeding programs and the influence of genotype and environment on bread wheat quality. Cereal Chemistry 97: 634–641. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/cche.10279>

Kaya, Y.,& Sahin, M. (2015). Non-parametric stability analyses of dough properties in wheat. Food Science and Technology, 35(3), 509-515. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6642>

- Khalid, A., Hameed, A. & Tahir, M.F. (2023). Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1053196. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1053196>
- Kravchenko, N., Podgorny, S., Ignatieva, N. & Chernova, V. (2023). Variability and interrelation of the main breeding traits of the winter soft wheat quality. *E3S Web of Conferences*, 413, 01011. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341301011>
- Li, F., Zhao, A., Cui, C., Dong, J., Gao, X., Rustgi, S. & Yang, M. (2022). Chapter Two—Progress in genetic studies of traits related to the nutritional value of wheat. In D.L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy Vol. 176*, pp. 35–113. Academic Press. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.07.002>
- Li, P. & Zhu, C. (2024). Ro-YOLOv5: One new detector for Impurity in wheat based on Circular Smooth Label. *Crop Protection*, 184. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106806>
- Liu, H., Sun, L., Liu, M., Qian, H., Wang, L., Dai, C. & Su, P. (2011). Determination of zeleny subsidence value of wheat based on near infrared transmittance spectroscopy. *ICAE - Proc: Int. Conf. New Technol. Agric. Eng.*, 952–957. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICAE.2011.5943946>
- Maças, B., Costa, R., Gomes, C., Bagulho, A. S., Pinheiro, N., Moreira, J., Costa, A., Patanita, M., Dores, J., & Rodrigo, S. (2024). Breeding in bread-making wheat varieties for Mediterranean climate: the need to get resilient varieties. *Frontiers in Nutrition*, 11. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2024.1393076/full>
- Mahdavi, S., Arzani, A., Mirmohammady Maibody, S. A. M., & Kadivar, M. (2022). Grain and flour quality of wheat genotypes grown under heat stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(10), Article 102417. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X22003333?pes=vor&utm_source=scopus&getft_integrator=scopus
- Mao, H., Jiang, C., Tang, C., Nie, X., Du, L., Liu, Y., Cheng, P., Wu, Y., Liu, H., Kang, Z. & Wang, X. (2023). Wheat adaptation to environmental stresses under climate change: Molecular basis and genetic improvement. *Special Issue on Climate Change and Food Security: Plant Science Roles*, 16(10), 1564–1589. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2023.09.001>
- Mariani, B.M., D'Egidio, M.G., Novaro, P. 1995. Durum wheat quality evaluation: influence of genotype and environment. *Cereal Chemistry* 72(2): 194-197. Disponível em: https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1995/Documents/72_194.pdf
- Miller, T.D. (1999). Growth stages of wheat: Identification and understanding improve crop management. *Texas A&M AgriLife Extension*. Disponível em: <http://agrilife.org/yoakumterryipm/files/2013/03/Wheat-Growth.pdf>
- Mondal, S., Sallam, A., Sehgal, D., Sukumaran, S., Farhad, M., Krishnan, J.N., Kumar, U. & Biswal, A. (2021). Advances in breeding for abiotic stress tolerance in wheat. In *Genomic Des. For Abiotic Stress Resist. Cereal Crop*. (pp. 71–103). Springer International Publishing. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-75875-2_2

- Moreira, J. (2023). Concentração dos elementos minerais no trigo (*Triticum durum*): sua implicação no rendimento em sêmolas e qualidade das massas alimentícias. Tese de doutoramento 148p. Disponível em: <https://run.unl.pt/entities/publication/aflad0b6-d66b-4e0a-83ca-f8e6a8611484>
- Morris, C.F., Paszczynska, B., Bettge, A.D. & King, G.E. (2007). A critical examination of the sodium dodecyl sulfate (SDS) sedimentation test for wheat meals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(4), 607–615. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740>
- Observatório de Preços Agroalimentar (2026). Acedido a 25/02/2026, disponível em: <https://observatorioagroalimentar.gov.pt/setor/trigo/>
- Oelofse, R.M., Labuschagne, M.T., van Deventer, C.S. (2010). Influencing factors of sodium dodecyl sulfate sedimentation in bread wheat. *Journal of Cereal Science*, 52(1): 96-99. Disponível em: [10.1016/j.jcs.2010.03.010](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.010)
- Pal, M. & Molnár, J. (2021). Growing Importance of Cereals in Nutrition and Healthy Life. *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5(2), 275–277. Disponível em: <https://doi.org/10.26855/ijfsa.2021.06.010>
- Palminha, T. J. S. (2020). Estratégias de rega na cultura do trigo mole (*Triticum aestivum* L.)9 cv. 'Antequera' em ambiente Mediterrânico no baixo Alentejo: efeito sobre a qualidade tecnológica do grão. p.29 Dissertação de Mestrado em Agronomia Instituto Politécnico de Beja. Disponível em: <https://repositorio.ipbeja.pt/entities/publication/4445a1ec-3be3-434f-a3d2-331d7975f450>
- Panciu, B.I. & Barbu, G.L. (2025). Economic and Nutritional Importance of Cereals and Cereal Based Products in Romania. *Economic Insights – Trends and Challenges*, 14(1):131-145. Disponível em: <https://doi.org/10.51865/EITC.2025.01.09>
- Pinheiro, N., Costa, R., Bagulho, A.S., Almeida, A.S., Gomes, C., Coutinho, J., Costa, A. Moreira, J. & Maças, B. (2021). Importância das hibridações no programa de melhoramento de cereais do INIAV-ELVAS. *Vida Rural*, fev 2020: 28-30. Disponível em: <https://iniav.pt/divulgacao-mobile/publicacoes/publicacoes-bd/importancia-das-hibridacoes-no-programa-de-melhoramento-de-cereais-do-iniav-elvas>
- Pinheiro, N. (2025). Culturas arvenses: Fenologia, componentes da produção e hábitos de crescimento (Apresentação em PowerPoint). Aula ministrada na Escola Superior de Biociências de Elvas, Instituto de Portalegre.
- Raj, A.S., Badgujar, C.M., Lollato, R., Prasad, P.V. & Siliveru, K. (2024). Predicting rheological properties of wheat dough from flour properties using NIR coupled with artificial neural network. *Journal of the ASABE*, 67(4), 1023–1035. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/ja.15851>
- Ransom, J.K., Endres, G.J. & Schatz, B.G. (2007). Sustainable improvement of wheat yield potential: The role of crop management. *Journal of Agricultural Science*, 145(1), 55–61. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S002185960600668X>
- Rossmann, A., Buchner, P., Savill, G.P., Hawkesford, M.J., Scherf, K.A., Mühling, K.H. 2019. Foliar N application at anthesis alters grain protein composition and enhances baking quality in

- winter wheat only under a low N fertiliser regimen. *European Journal of Agronomy* 109: 125909. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.04.004>
- Sahin, M., Gocmen Akcacak, A., Aydogan, S., Hamzaoglu, S., & Demir, B. (2019). Evaluation of grain yield, some quality traits and farinograph parameters in bread wheat genotypes grown in irrigated and rainfed. *Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Sciences*, 7(3), 119-123. Disponível em: [DOI: 10.22194/JGIASS/7.867](https://doi.org/10.22194/JGIASS/7.867)
- Scheuer, P.M., Francisco, A., Miranda, M.Z. & Limberger, V.M. (2011). Trigo: características e utilização na panificação. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 13(2), 211–222. Disponível em: <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v13n2p211-222>
- Shaheen, A., Li, Z., Yang, Y., Xie, J., Zhu, L., Li, C., Nie, F., Wang, M., Wang, Y., Rasheed, A., Li, H., Zhou, Y. & Song, C.-P. (2025). Genetic regulation of wheat plant architecture and future prospects for its improvement. *New Crops*, 2, 100048. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ncrops.2024.100048>
- Shevkani, K., Katyal, M. & Singh, N. (2024). A comparative review of protein and starch characteristics and end-use quality of soft and hard wheat. *Food Chemistry Advances*, 4, 100613. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100613>
- Silva, R. R., Zucareli, C., Fonseca, I.C.B., Riede, C.R., & Gazola, D. (2019). Nitrogen management, cultivars and growing environments on wheat grain quality. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(11), 826-832. Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/85073533636>
- Singh, S. K., Singhal, S., Jaiswal, P., Basu, U., Sahi, A. N., & Mahendru, A. (2024). Identification of indian wheat varieties suitable for different end-use applications based on physico- chemical and rheological characteristics. *Foods*, 13(7), 1125. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/7/1125>
- Slafer, G. A., Savin, R., & Sadras, V. O. (2014). Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Research*, 157, 71–83. Scopus. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.12.004>
- Slafer, G., & Rawson, H. (1994). Sensitivity of Wheat Phasic Development to Major Environmental Factors: A Re-Examination of Some Assumptions Made by Physiologists and Modellers. *Functional Plant Biology*, 21(4), 393. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/PP9940393>
- Surma, M., Adamski, T., Banaszak, Z., Kaczmarek, Z., KSurma, M., Adamski, T., Banaszak, Z., Kaczmarek, Z., Kuczyńska, H., Majcher, M., Ługowska, B., Obuchowski, W., Salmanowicz, B., & Krystkowiak, K. (2012). Effect of Genotype, Environment and Their Interaction on Quality Parameters of Wheat Breeding Lines of Diverse Grain Hardness. *Plant Production Science*, 15(3), 192–203. Disponível em: <https://doi.org/10.1626/pps.15.192>
- Svečnjak, Z., Bujan, M., Vedrina Dragojevic, I., Vitali, D., & Čebušnik, A. (2007). Nitrogen and phosphorus content, hectoliter weight and yield variations of wheat grain as affected by cropping intensity. *Agriculture Conspectus Scientificus*. Disponível em: <https://acs.agr.hr/en/issues/article/335>

- Tahir, I., Nakata, N., Ali, A.M., Mustafa, H.M., Saad, A.S.I., Takata, K., Ishikawa, N., Abdalla, O.S., 2006. Genotypic and temperature effects on wheat grain yield and quality in a hot irrigated environment. *Plant Breeding* 125: 323-330. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2006.01236.x>
- Tan, C., Guo, X., Dong, H., Li, M., Chen, Q., Cheng, M., Pu, Z., Yuan, Z., & Wang, J. (2024). Meta-QTL mapping for wheat thousand kernel weight. *Frontiers in plant science*, 15, 1499055. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1499055>
- Tian, S., Zhang, M., Li, J., Wen, S., Bi, C., Zhao, H., Wei, C., Chen, Z., Yu, J., Shi, X., Liang, R., Xie, C., Li, B., Sun, Q., Zhang, Y. & You, M. (2021). Identification and validation of stable quantitative trait loci for SDS-sedimentation volume in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 12, 747775. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.747775>
- Tian, X., Wang, Z., Liu, W. & Zhao, Y. (2026). Harness the wild: Progress and perspectives in wheat genetic improvement. *Journal of Genetics and Genomics*, 53(1), 1–15. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2025.05.010>
- Tóth, V., Láng, L., Vida, G., Mikó, P., Rakszegi, M. 2022. Characterization of the protein and carbohydrate related quality traits of a large set of spelt wheat genotypes. *Foods* 11(14), 2061. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods11142061>
- Trevisan, S., Salimi Khorshidi, A., & Scanlon, M. G. (2022). Relationship between nitrogen functionality and wheat flour dough rheology: Extensional and shear approaches. *Food Research International*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996922011073>
- Tsenov, N., Gubatov, T., & Yanchev, I. (2023). Environmental influence on grain quality stability of common wheat cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture*, 110(1), p1-2. Disponível em: https://www.zemdirbyste-agriculture.lt/wp-content/uploads/2023/05/110_1_str7.pdf
- USDA - United States Department of Agriculture (2026). Production - Wheat. Acedido a 18/03/2026, disponível em- <https://www.fas.usda.gov/data/production/0410000>
- Valério, I.P., De Carvalho, F.I.F., Oliveira, A.C., Benin, G., Maia, L.C., Silva, J.A.G., Schmidt, D.M. & da Silveira, G. (2009). Factors related to tiller formation and development in wheat. *Semina: Ciências Agrárias*, 30 (SUPPL. 1), 1207–1218. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n4sup1p1207>
- Varga, B., Svečnjak, Z., Jurković, Z., & Pospiši, M. (2007). Quality responses of winter wheat cultivars to nitrogen and fungicide applications in Croatia. *Acta Agronomica Hungarica*, 55(1). Disponível em: <https://www.scopus.com/pages/publications/34247874593>
- Vicente, R., Costa, R., Katamadze, A., Pinheiro, N., Vergara-Díaz, O., Bagulho, A.S, Yoldi-Achalandabaso, A., Reis, J., Costa, A., Moreira, J. & Maças, B. (2023). Produção de trigo em Portugal: Implementação de novas ferramentas de fenotipagem multiescala em estudos retrospectivos para apoiar o melhoramento. *Vida Rural*, dez 2023: 68-76. Disponível em: <https://www.inia.pt/divulgacao/publicacoes-bd/producao-de-trigo-em-portugal-implementacao-de-novas-ferramentas-de-fenotipagem-multiescala-em-estudos-retrospectivos-para-apoiar-o-melhoramento>

Watanabe, É. (2014). Influência das proteínas formadoras do glúten na qualidade tecnológica da farinha de trigo para panificação. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12470/3/LD_COALM_2014_2_06.pdf

Yannam, V.R.R., Lopes, M., Guzman, C., Soriano, J.M. (2023) Uncovering the genetic basis for quality traits in the Mediterranean old wheat germplasm and phenotypic and genomic prediction assessment by cross-validation test. *Front. Plant Sci.* 14:1127357. Disponível em: [doi: 10.3389/fpls.2023.1127357](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1127357)

Zecevic, V., Knezevic, D., Boskovic, J., Micanovic, D., & Dozet, G. (2010). Effect of nitrogen fertilization on winter wheat quality. *Cereal Research Communications*, 38 (2), 243-249. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/jCmZ3s6MW78TdLbKgYwcTy/?lang=en>

Zhang, P., Song, G., Ibba, M. I., Wang, H., & Ren, R (2024). *Dough properties and baking quality of near isogenic lines with single HMW-GS null at Glu-A1, GluB1 and Glu-D1 loci in soft wheat*. *LWT*, 213, 117084. Disponível em: [10.1016/j.lwt.2024.117084](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.117084)