



*INSTITUTO POLITÉCNICO de PORTALEGRE*



*ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA de ELVAS*

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Agricultura  
Sustentável

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE PRODUÇÃO DE TRIGO  
MOLE – INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE**

**JOÃO ANTÓNIO CHAMORRINHA COCO**

Orientadores:

FRANCISCO MONDRAGÃO RODRIGUES – Orientador Interno

ANA SOFIA VIEIRA DIAS DE ALMEIDA – Orientador Externo

ELVAS

2013

Este trabalho não contempla as críticas e correções sugeridas pelo Júri

Assinatura dos Membros do Júri:

---

(Presidente do Júri)

---

(Orientador Interno)

---

(Orientador Externo)

---

(Arguente)

---

(Vogal)

Classificação Final: \_\_\_\_\_

## Agradecimentos

Manifesto os meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram decisivamente para a realização desta dissertação, sendo lícito destacar:

O Professor Francisco Mondragão Rodrigues pela orientação do trabalho e preciosas sugestões na revisão do manuscrito;

A Doutora Ana Sofia Vieira Dias de Almeida, orientadora deste trabalho, pelos ensinamentos, estímulo e constante disponibilidade concedida para a realização desta dissertação;

O Investigador Auxiliar Benvindo Martins Maçãs, Diretor da Unidade Estratégica de Investigação e Serviços de Biotecnologia e Recursos Genéticos do INIAV que me possibilitou a realização deste trabalho na Estação de Melhoramento de Plantas, dando-me forte motivação;

A Doutora Ana Rita Pereira da Costa, pela ajuda inestimável, paciência e carinho constante durante o decorrer desta dissertação, por me ter sempre apoiado e incentivado;

O Investigador Auxiliar José Norberto Prates Coutinho, pela amizade, companheirismo e conselhos sempre úteis que é capaz de promover e partilhar;

Os meus colegas Conceição Gomes, Nuno Pinheiro, Armindo Costa e José Caldeira Pires pela valiosa contribuição em aspetos técnicos do trabalho.

As entidades e os responsáveis pela condução dos ensaios de Elvas e Mirandela e os funcionários do Departamento de Cereais da EMP que não nomeio, mas que de algum modo ajudaram, aqui fica a minha reconhecida gratidão;

Os meus familiares, pelo apoio e compreensão.



## Resumo

A irregularidade das condições ambientais que caracteriza o clima mediterrânico de Portugal condiciona a cultura do trigo mole (*Triticum aestivum* L.). Neste contexto, a resposta dos genótipos ao ambiente a que estão sujeitos e a respetiva interação genótipo x ambiente (G x E) constituem desafios relevantes nos programas de melhoramento genético, tanto na fase de seleção de material segregante como na de obtenção de novas variedades.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a adaptabilidade e estabilidade de produção de 15 genótipos de trigo mole, em dois ambientes distintos, Elvas e Mirandela, com base na análise de dados obtidos em ensaios de campo que decorreram entre 2000/01 e 2008/09.

A análise aos parâmetros fenológicos revelou uma maior duração do ciclo até ao espigamento e menor duração do período de enchimento do grão em Mirandela, comparativamente a Elvas.

A produção de grão média foi significativamente maior em Mirandela do que Elvas. Para os parâmetros massa do hectolitro e peso de mil grãos observou-se a mesma tendência mas com diferenças pouco acentuadas entre os dois locais.

Para avaliar a interação genótipo x ambiente e conseqüentemente a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos aplicou-se o método proposto por Finlay e Wilkinson (1963). A análise foi realizada com base nos coeficientes de regressão de cada genótipo em relação ao índice ambiental, para cada ano e em cada local, no período de 7 anos. Esta análise permitiu identificar os genótipos com melhor adaptabilidade geral e estabilidade de produção, destacando-se os genótipos EA15, EA1, EA3, EA2 e as variedades Eufrates e Jordão com produções médias acima do índice ambiental médio.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L.; interação genótipo x ambiente; ensaios multilocais; adaptabilidade; melhoramento genético; estabilidade de produção.

## Abstract

The irregularity of the climatic conditions which characterize the Mediterranean climate of Portugal affects cereal crop production, including wheat (*Triticum aestivum* L.). In this context, the genotypes response to the environment where they are cultivated and the interaction genotype x environment (G x E) comprise important challenges in plant breeding programs, during the selection process of segregating lines and to achieve new varieties.

This study aimed to evaluate the adaptability and grain yield stability of 15 wheat genotypes in two different environments in Portugal, Elvas and Mirandela. Data from field trials implemented in those two sites between 2000/01 and 2008/09 were compiled and analyzed.

The phenological data analysis showed that in Mirandela heading occurred later than in Elvas and, on the other hand duration of grain filling in Mirandela was shorter compared to Elvas.

The average grain yield was significantly higher in Mirandela. Test weight and thousand kernel weight showed the same trend that yield but with little sharp differences between the two sites.

To assess the genotype x environment interaction and hence the genotypes grain yield stability and adaptability, the method proposed by Finlay and Wilkinson (1963) was applied. The analysis was centred on coefficients regression of each genotype in relation to the environmental index for each environment (each year and each site during the period of 7 years). This analysis permitted to identify the genotypes with better adaptability and yield stability, namely EA15, EA1, EA3, EA2 and the varieties Eufrates and Jordão with average yields above average environmental index.

**keywords:** *Triticum aestivum* L.; genotype x environment interaction; multilocal trials; adaptability and grain yield stability; wheat breeding.

# Índice Geral

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE GERAL</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE QUADROS</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABREVIATURAS/ACRÔNIMOS</b> .....	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>5</b>
2.1 A PRODUÇÃO DE TRIGO NO MUNDO E EM PORTUGAL.....	5
2.1.1 <i>Progressos na produção mundial de trigo</i> .....	5
2.1.2 <i>Principais países produtores de trigo</i> .....	6
2.1.3 <i>A produção de trigo em Portugal</i> .....	7
2.2 INTERAÇÃO GENÓTIPO X AMBIENTE – G X E.....	12
2.3 ENSAIOS MULTILOCAIS DE ADAPTAÇÃO.....	15
2.3.1 <i>Importância</i> .....	15
2.3.2 <i>Rede de Ensaios de Adaptação de Trigo</i> .....	16
2.4 CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO TRIGO.....	19
2.4.1 <i>Principais fases e etapas do desenvolvimento fenológico</i> .....	19
2.4.2 <i>Os principais fatores ambientais que afetam a taxa de desenvolvimento do trigo</i> .....	24
2.4.3 <i>O ajustamento do ciclo de desenvolvimento do trigo ao ambiente mediterrâneo</i> .....	27
2.5 FATORES DETERMINANTES DA PRODUÇÃO.....	30
2.6 O MELHORAMENTO DO TRIGO EM PORTUGAL – PRINCIPAIS FASES.....	32
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
3.1 MATERIAL VEGETAL.....	37
3.2 LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	38
3.3 ANOS DE ENSAIOS.....	39
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	40
3.5 TÉCNICAS CULTURAIS.....	41
3.6 PARÂMETROS ANALISADOS.....	44
3.6.1 <i>Fenologia</i> .....	44
3.6.2 <i>Produção, massa do hectolitro e peso de mil grãos</i> .....	44
3.6.3 <i>Análise estatística dos dados</i> .....	45

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
4.1 DADOS CLIMÁTICOS REFERENTES AOS ANOS AGRÍCOLAS EM QUE DECORRERAM OS ENSAIOS EM ESTUDO.....	47
4.1.1 <i>O ambiente em Portugal</i> .....	47
4.1.2 <i>Dados climáticos de Elvas nos anos agrícolas 2000/2001 a 2008/2009</i> .....	49
4.1.3 <i>Dados climáticos de Mirandela nos anos agrícolas 2000/2001 a 2008/2009</i> .....	51
4.2 FENOLOGIA.....	53
4.3 PRODUÇÃO, MASSA DO HECTOLITRO E PESO DE MIL GRÃOS .....	58
4.3.1 <i>Produção</i> .....	58
4.3.2 <i>Massa do hectolitro</i> .....	67
4.3.3 <i>Peso de mil grãos</i> .....	71
4.4 ANÁLISE DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE.....	74
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>87</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>91</b>

## Índice de Quadros

Quadro 3.1 – Código, designação do genótipo/variedade e genealogia do germoplasma em estudo incluído nos ensaios de adaptação de trigo mole (1ª época).....	37
Quadro 3.2 - Descrição dos locais onde foram instalados os ensaios.....	39
Quadro 3.3 - Técnicas culturais aplicadas nos ensaios realizados durante os sete anos em estudo, em Elvas e Mirandela.....	42
Quadro 4.1 – Dados fenológicos - número de dias ao espigamento (Esp) e período de enchimento do grão (EG) em dias - dos ensaios realizados em Elvas para os anos em estudo. ....	55
Quadro 4.2 – Dados fenológicos - número de dias ao espigamento (Esp.) e período de enchimento do grão (EG) em dias - dos ensaios realizados em Mirandela para os anos em estudo.....	56
Quadro 4.3 – Produção média (kg/ha) dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Elvas para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio (índice ambiental).....	59
Quadro 4.4 – Análise de variância fator único (ano). Significância da diferença entre as produções obtidas nos 7 anos em estudo, para cada genótipo em Elvas. * $p \leq 0,05$ ; ** $p \leq 0,01$ ; *** $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo..	60
Quadro 4.5 – Análise de variância fator único (genótipo). Significância da diferença entre as produções obtidas nos 15 genótipos em estudo, para cada ano, em Elvas. * $p \leq 0,05$ ; ** $p \leq 0,01$ ; ns-não significativo. ....	61
Quadro 4.6 – Anova fator duplo (genótipo e ano) da produção para os quinze genótipos nos sete anos de ensaio efetuados em Elvas. ** $p \leq 0,01$ ; *** $p \leq 0,001$ .....	61
Quadro 4.7 - Produção média (kg/ha) dos 15 genótipos de trigo mole em estudo nos ensaios instalados em Mirandela para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam a totalidade do ensaio (índice ambiental).....	62
Quadro 4.8 – Análise de variância fator único (ano). Significância da diferença entre as produções obtidas nos 7 anos em estudo para cada genótipo em Mirandela. * $p \leq 0,05$ ; ** $p \leq 0,01$ ; *** $p \leq 0,001$ .....	63
Quadro 4.9 – Análise de variância fator único (genótipo). Significância da diferença entre as produções obtidas nos 15 genótipos em estudo, para cada ano, em Mirandela. * $p \leq 0,05$ ; ** $p \leq 0,01$ ; *** $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.....	64
Quadro 4.10 – Anova fator duplo (genótipo e ano) da produção para os quinze genótipos nos sete anos de ensaio efetuados em Mirandela. *** $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.....	64
Quadro 4.11 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2000/2001. * $p \leq 0,05$ ; ** $p \leq 0,01$ . ....	65
Quadro 4.12 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2001/2002. * $p \leq 0,05$ ; *** $p \leq 0,001$ .....	65
Quadro 4.13 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2003/2004. *** $p \leq 0,001$ . ....	65
Quadro 4.14 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2004/2005. *** $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.....	66

Quadro 4.15 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2005/2006. ns-não significativo.....	66
Quadro 4.16 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2007/2008. *** $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.....	66
Quadro 4.17 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2008/2009. ** $p \leq 0,01$ ; *** $p \leq 0,001$ .....	66
Quadro 4.18 – Anova fatorial da produção para os fatores genótipo, ano e local. ** $p \leq 0,01$ ; *** $p \leq 0,001$ . .....	67
Quadro 4.19 - Massa hectolitro (kg/hl) média dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Elvas para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio. ....	68
Quadro 4.20 - Massa hectolitro (kg/hl) média dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Mirandela para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio. ....	69
Quadro 4.21 – Análise de variância fator único (ano). Significância da diferença entre as massas do hectolitro obtidas nos 7 anos em estudo para cada genótipo em Elvas. * $p \leq 0,05$ ; ** $p \leq 0,01$ ; *** $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.....	70
Quadro 4.22– Análise de variância fator único (genótipo). Significância da diferença entre as massas do hectolitro obtidas nos 15 genótipos em estudo para cada ano, em Elvas. ** $p \leq 0,01$ ; *** $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.....	71
Quadro 4.23– Anova fator duplo (genótipo e ano) da massa do hectolitro para os quinze genótipos nos sete anos de ensaio efetuados em Elvas. *** $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo. ....	71
Quadro 4.24 – Peso de mil grãos (g) médio dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Elvas para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio. ....	72
Quadro 4.25 - Peso de mil grãos (g) médio dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Mirandela para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio. ....	73
Quadro 4.26 - Relação da produção de grão de 15 genótipos de trigo mole com a produção média do local. Resultados da análise de regressão conjunta em 2 locais durante 7 anos.....	76

# Índice de Figuras

Figura 2.1 – Produção mundial de trigo no período 1985-2010. Fonte: FAOSTAT, 2012 (Disponível em <a href="http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor">http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor</a> ).	5
Figura 2.2 – Rendimentos de trigo: 24 países com produções de trigo superiores a 4 t/ha em 2010. Fonte: FAOSTAT 2012 (Disponível em <a href="http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor">http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor</a> ).	6
Figura 2.3 – Produção média de trigo nos principais países produtores. Fonte: FAOSTAT, 2012 (Disponível em <a href="http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor">http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor</a> ).	7
Figura 2.4 - Composição da produção agrícola portuguesa (preços base, milhões de euros, 2010). Fonte: INE	8
Figura 2.5 - Composição da produção de cereais em Portugal (milhões euros, 2010). Fonte: Eurostat, 2012.	8
Figura 2.6 - Evolução e análise comparativa das produções totais de trigo mole e trigo rijo. Fonte: Eurostat, 2012.	9
Figura 2.7 - Evolução e análise comparativa das superfícies cultivadas com trigo mole e trigo rijo em Portugal. Fonte: Eurostat, 2012.	10
Figura 2.8 - Evolução e análise comparativa das produções unitárias de trigo mole e trigo rijo em Portugal. Fonte: Eurostat, 2012.	10
Figura 2.9 – Tipos de interações do genótipo com o ambiente (G x E). Fonte: Squilassi, 2003.	14
Figura 2.10 - Diagrama esquemático do ciclo de vida do trigo. O diagrama mostra os estádios de sementeira (Se), emergência (Em), iniciação floral (IF), iniciação do primeiro “double ridge” – aresta dupla (DR), iniciação da espiguetta terminal (ET), espigamento (Esp), ântese (Ânt), início do período do enchimento do grão (IEG), maturação fisiológica (MF) e colheita (CL). As caixas representam os períodos de diferenciação ou crescimento de alguns órgãos durante as fases vegetativa, reprodutiva ou enchimento do grão (IPF- iniciação dos primórdios florais; MPF-morte dos primórdios florais). As linhas representam os momentos no tempo em que os diferentes componentes da produção são produzidos. Adaptado de Slafer e Rawson (1994).	24
Figura 2.11 - Sequência da formação dos componentes que resultam na produção final de grão. (Adaptado de Gomes, 1999).	31
Figura 3.1 - Casualização dos ensaios de adaptação de trigo mole (1ª época). Os números de 1 a 60 correspondem ao número do talhão e de (1) a (30) correspondem ao genótipo.	40
Figura 4.1 - Distribuição dos ambientes mediterrânicos no mundo. (Fonte: Wikipedia, 2012).	48
Figura 4.2 - Precipitação de inverno (outubro a fevereiro) e de primavera (março a junho), em Elvas no período de 2000/2001 a 2008/2009. As linhas horizontais indicam a média da precipitação do período normal 1971-2000.	50
Figura 4.3 - Temperatura média das máximas dos meses de março a julho em Elvas para o período de 2001 a 2009.	51
Figura 4.4 - Precipitação de inverno (outubro a fevereiro) e de primavera (março a junho) em Mirandela para o período de 2000/2001 a 2008/2009 As linhas horizontais indicam a média da precipitação do período normal climatológico 1951-1980.	52

<i>Figura 4.5 - Temperatura média das máximas dos meses de março a julho em Mirandela para o período de 2001 a 2009.</i>	53
<i>Figura 4.6 - Média das temperaturas máximas durante o período de enchimento do grão (EG) em Elvas e Mirandela e diferença entre o número de dias do mesmo período entre Elvas (período mais longo) e Mirandela.</i>	54
<i>Figura 4.7 - Comparação entre os valores médios do número de dias da sementeira ao espigamento e do período de enchimento do grão (EG) em cada local (Elvas e Mirandela) para os anos em estudo.</i>	57
<i>Figura 4.8 - Regressão da interceção (a) dos genótipos em 2 locais e para 7 anos com o potencial de produção dos genótipos no ambiente de maior produção (Mirandela 2001/02).</i>	77
<i>Figura 4.9 - Produção média dos ensaios (índice ambiental) para as diferentes combinações local/ano (ambiente agroclimático) em estudo. E01 a E09 indica Elvas 2000/2001 a Elvas 2008/2009 e M01 a M09 indica Mirandela 2000/2001 a Mirandela 2008/2009.</i>	78
<i>Figura 4.10 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA15 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	79
<i>Figura 4.11 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA1 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	79
<i>Figura 4.12 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual da variedade Jordão e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	80
<i>Figura 4.13 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA2 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	80
<i>Figura 4.14 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual da variedade Eufrates e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	81
<i>Figura 4.15 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA8 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	82
<i>Figura 4.16 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA9 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	82
<i>Figura 4.17 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA12 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	83
<i>Figura 4.18 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual da variedade Sever e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	83
<i>Figura 4.19 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA7 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	84
<i>Figura 4.20 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA5 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	84
<i>Figura 4.21 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA10 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	85
<i>Figura 4.22 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA14 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.</i>	85

*Figura 4.23 – Interpretação da representação gráfica dos coeficientes de regressão em função da produção média dos genótipos. Os genótipos foram agrupados em I e II. Os critérios considerados para a constituição dos grupos estão descritos no texto abaixo.*\_\_\_\_\_86

## Abreviaturas/Acrónimos

CE – Comunidade Europeia

CEE – Comunidade Económica Europeia

CIMMYT – *Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo*

CNV – Catálogo Nacional de Variedades

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

C.V. – Coeficiente de variação

d.m.s. – Diferença mínima significativa

DR – *Double ridge* (aresta dupla)

DRAP Norte – Direção Regional de Agricultura e Pescas do Norte

EG – Enchimento do grão

EMP – Estação de Melhoramento de Plantas

ET – Espigueta terminal

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FAOSTAT – *FAO Statistical Database*

G x E – Genótipo x Ambiente

gl – Graus de liberdade

GS – *Growth Stage*

INE – Instituto Nacional de Estatística

INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

MF – Maturação fisiológica

MQ – Média de quadrados

MSTAT – *Microcomputer Statistical Program*

OSU – *Oregon State University*

PAC – Política Agrícola Comum

PMG – Peso de mil grãos

REA – Rede de Ensaio de Adaptação

SAU – Superfície Agrícola Utilizável

SIAM – *Scenarios, Impacts and Adaptation Measures*

SQ – Soma de quadrados



## 1. Introdução

O trigo, a par com o arroz e o milho, é uma das três culturas mais importantes no mundo, em termos de área de cultivo e de produção total. É uma cultura versátil, sendo cultivada em todos os continentes, com um amplo número de cultivares adaptadas às condições locais. As propriedades únicas do glúten e das proteínas de reserva do grão permitem o processamento numa série de alimentos, incluindo variados tipos de pão e massas, bolos e biscoitos.

A adaptação do trigo a determinado ambiente depende da interação entre as características genéticas das variedades e o ambiente resultando num conjunto complexo de combinações morfológicas e fisiológicas.

O grande objetivo do melhoramento genético do trigo inserido num contexto de sistema agrícola sustentável é a seleção de variedades que se ajustem perfeitamente ao ambiente, com vista a alcançar-se o maior nível de produtividade possível e simultaneamente garantir regularidade e estabilidade na produção interanual. Em ambientes difíceis, como o ambiente mediterrânico que ocorre em Portugal, a regularidade de produção de uma variedade de trigo em diferentes locais e durante vários anos torna-se uma prioridade a alcançar relativamente à sua superioridade produtiva anual.

As zonas do mediterrâneo, influenciadas por um tipo de clima extremamente irregular no que diz respeito à quantidade e distribuição da precipitação, e ainda à ocorrência de períodos com elevadas temperaturas em fases fulcrais do desenvolvimento do trigo, como sendo o enchimento do grão, não são de todo, as mais indicadas para a produção de cereais.

No entanto, a falta de alternativas a esta cultura, que é essencial para a manutenção dos sistemas agrícolas aconselha o seu estudo de forma a identificar variedades melhor ajustadas às condições edafoclimáticas.

Nas regiões sob influência mediterrânica, a repetibilidade dos ensaios durante vários anos e em diferentes locais, com vista à obtenção de representatividade das condições edafoclimáticas prevalecentes, é absolutamente necessária, de modo a se alcançarem resultados satisfatórios.

Como atividade multidisciplinar, o melhoramento de plantas integra diversas especialidades como forma de otimização da obtenção de novas variedades. Por tal, o melhorador deve integrar diferentes áreas científicas de forma a compreender o conjunto de fatores genéticos, morfológicos, fisiológicos e ambientais que concorrem para a otimização da resposta resultante da interação genótipo x ambiente e que se pretende que se expresse no aumento e previsibilidade das produções.

O conhecimento da resposta dos genótipos aos elementos que caracterizam o ambiente é uma forma de entender e identificar quais as características morfofisiológicas mais importantes relacionadas com a produção e a regularidade de produção, possibilitando uma consciente manipulação genética e eficaz gestão da variabilidade produzida.

O objetivo principal deste trabalho é a compreensão da interação entre os genótipos e o ambiente, com vista à otimização do processo de seleção, inerente ao Programa de Melhoramento desenvolvido pela Estação de Melhoramento de Plantas (EMP), unidade operativa do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV), situada em Elvas, no sentido de obter variedades de trigo mais regulares. Para identificar a existência de interação G x E é essencial testar os genótipos em ensaios multilocais. Nesse contexto, estudou-se o comportamento de um conjunto comum de linhas e variedades de trigo mole de ciclo facultativo ou alternativo (trigos de 1ª época), incluídas em ensaios multilocais e plurianuais (designados ao longo do presente trabalho como “ensaios de adaptação”) instalados durante um período de tempo comum.

Para a elaboração do presente trabalho, procedeu-se a uma análise e avaliação prévias da totalidade dos dados disponíveis desde que a responsabilidade da organização da rede de ensaios de adaptação, a nível nacional, foi atribuída ao grupo de trabalho dos Cereais da EMP. Como resultado desta análise, optou-se pelo estudo de um conjunto de dados que incluem (i) dois locais; Elvas (EMP) e Mirandela, sendo os mesmos representativos de situações ambientais distintas, particularmente no que diz respeito ao solo e clima; (ii) 7 anos de ensaios que decorreram entre 2000/01 e 2008/09 e (iii) 15 genótipos de trigo mole (*Triticum aestivum* L.).

A análise do conjunto de dados referidos centrou-se nos seguintes parâmetros: fenologia (data de espigamento, data da maturação, período do enchimento do grão), produção de grão, massa do hectolitro e peso de mil grãos.

A interação genótipo x ambiente foi estudada através de análise estatística, recorrendo à análise de regressão conjunta (Finlay e Wilkinson, 1963).

Este estudo confirmou a existência de variabilidade e potencial genético de produção no germoplasma que é desenvolvido pelo Programa Nacional de Melhoramento e que é selecionado para integrar os ensaios da Rede de Ensaio de Adaptação.



## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 A produção de trigo no Mundo e em Portugal

#### 2.1.1 Progressos na produção mundial de trigo

O trigo é uma das culturas mais importantes a nível mundial (terceira cultura com maior significado em produção superado apenas pelo arroz e pelo milho) (Fischer e Edmeades, 2010), tendo atingido em 2011 uma produção global de 676 milhões de toneladas, representando um aumento de 3,4% em relação a 2010 (FAO - Crop Prospects and Food Situation Report, 2012).

A Figura 2.1 representa o progresso nas produções entre 1985 e 2010. Admite-se que este aumento das produções ao longo do período apresentado se deva, em grande parte, ao melhoramento genético responsável pela obtenção de novas variedades. Os aumentos sustentados nas produtividades resultaram adicionalmente de alterações nas regiões produtoras e devem-se, possivelmente, à utilização da rega, à maior intensificação cultural (*inputs*) e ao uso de tecnologias e de itinerários técnicos adequados. Todos estes fatores devem ser considerados no sentido de encontrar respostas que justifiquem esta tendência de aumento das produções no período mencionado.

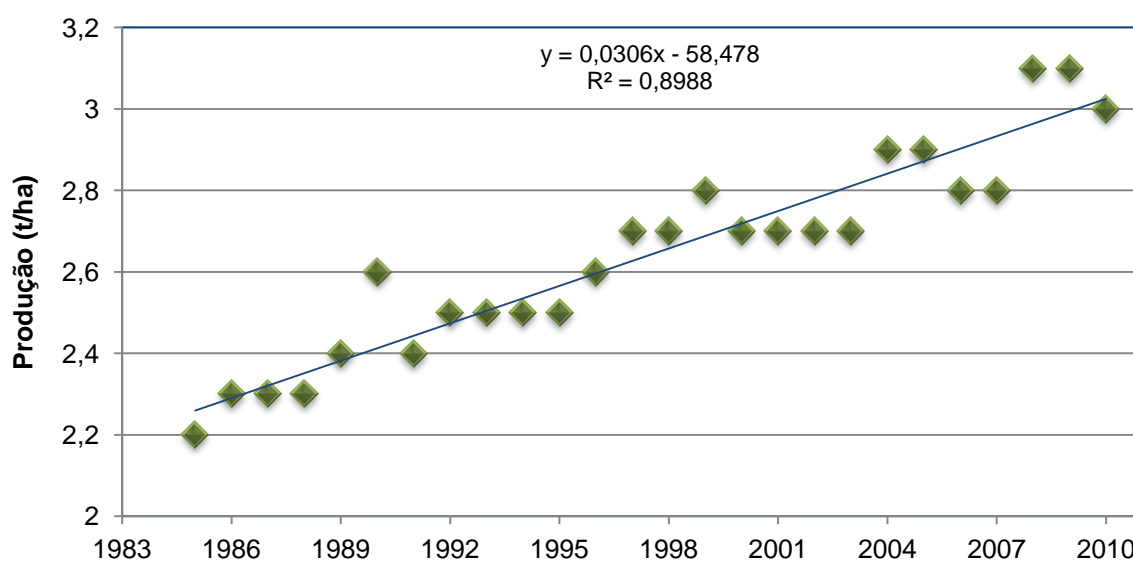


Figura 2.1 – Produção mundial de trigo no período 1985-2010. Fonte: FAOSTAT, 2012 (Disponível em <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor>).

## 2.1.2 Principais países produtores de trigo

Quando se considera o período compreendido entre 2000 e 2010, verifica-se que, nos principais países produtores, os níveis de produção de trigo oscilam, de forma irregular, excetuando a China, país onde sempre se tem verificado aumentos na produção.

A maior parte das flutuações nas produções destes países está primordialmente relacionada com constrangimentos abióticos, principalmente no caso da Austrália, onde o impacto climático é mais evidente na produção média obtida. A FAO (2012) estima um aumento na produção de trigo em todo o mundo, sustentado principalmente pelo incremento no rendimento verificado na maioria dos países indicados nas Figura 2.2 e Figura 2.3.

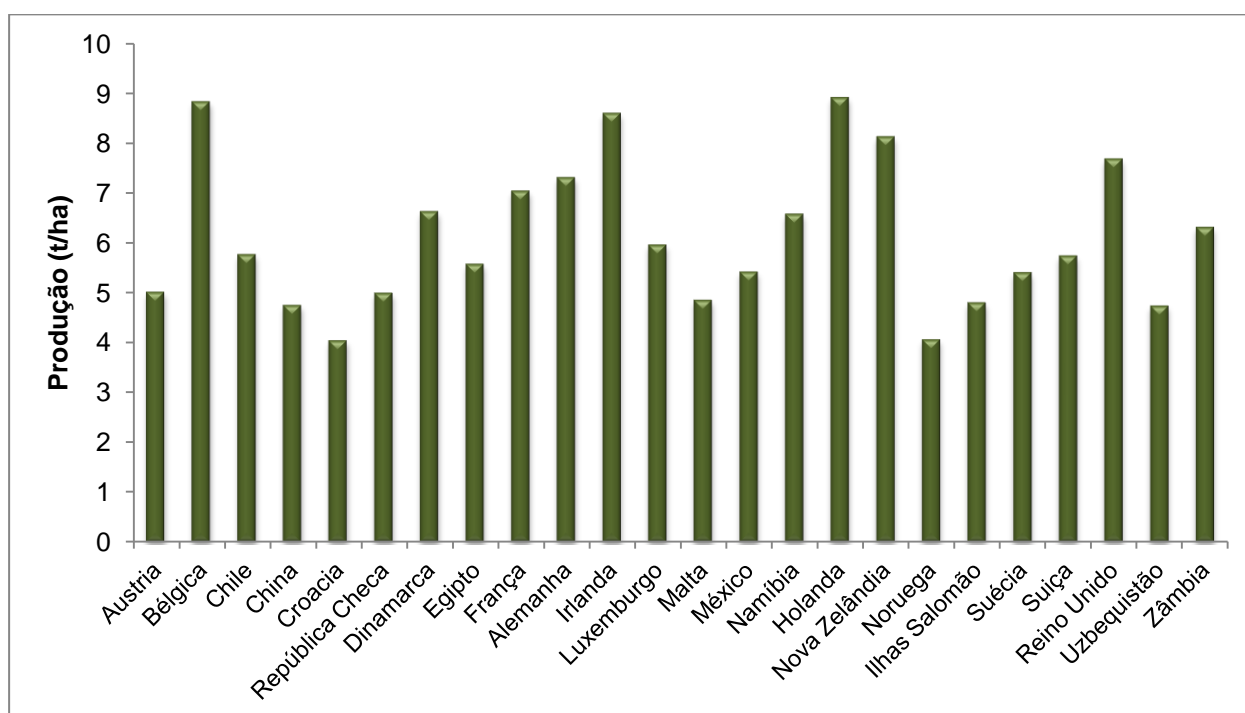


Figura 2.2 – Rendimentos de trigo: 24 países com produções de trigo superiores a 4 t/ha em 2010.

Fonte: FAOSTAT 2012 (Disponível em <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor>).

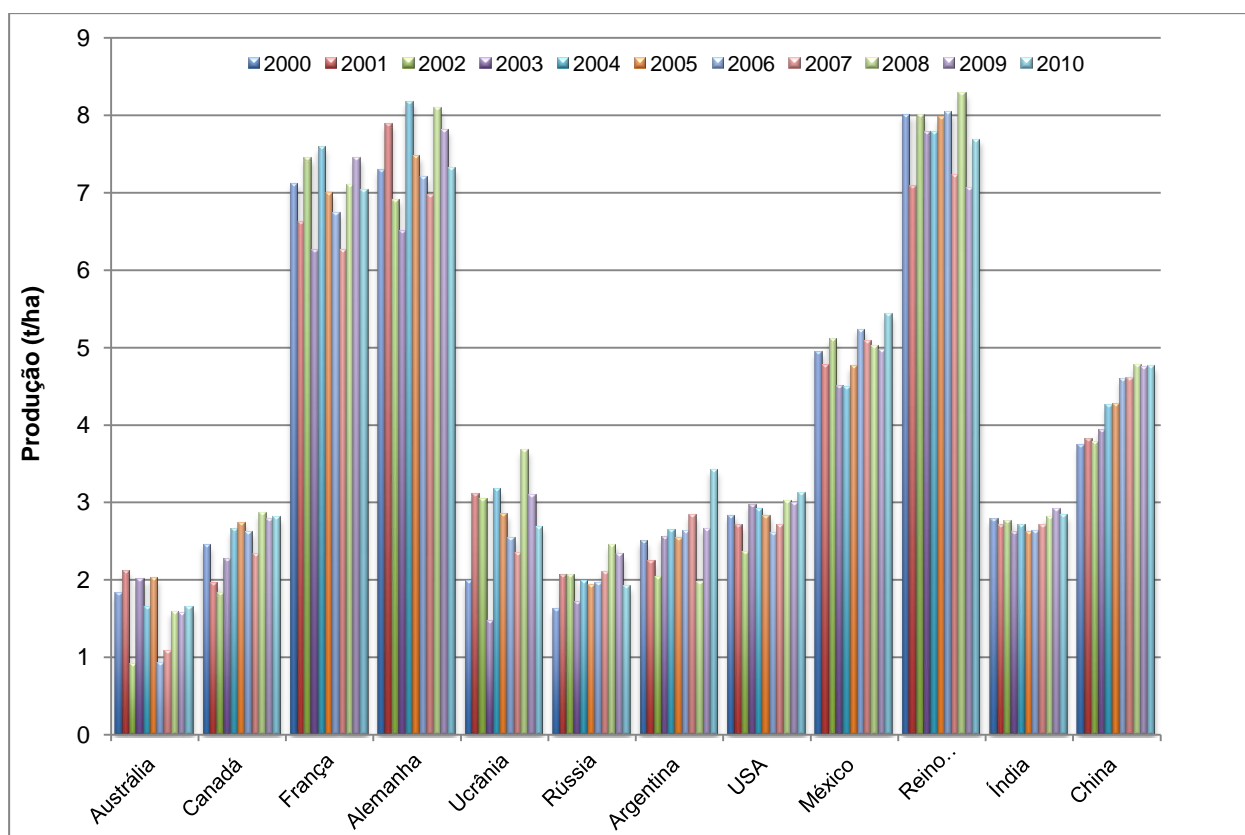


Figura 2.3 – Produção média de trigo nos principais países produtores. Fonte: FAOSTAT, 2012 (Disponível em <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor>).

### 2.1.3 A produção de trigo em Portugal

Os cereais fazem parte dos produtos vegetais que mais contribuem para o valor total da produção agrícola em Portugal, juntamente com os produtos hortícolas (17%), os frutos (14%) e o vinho (17%). A nível nacional representavam, em 2010, cerca de 4% da produção agrícola total (Figura 2.4), correspondendo o trigo a cerca de 5% do valor da produção cerealífera (Figura 2.5).

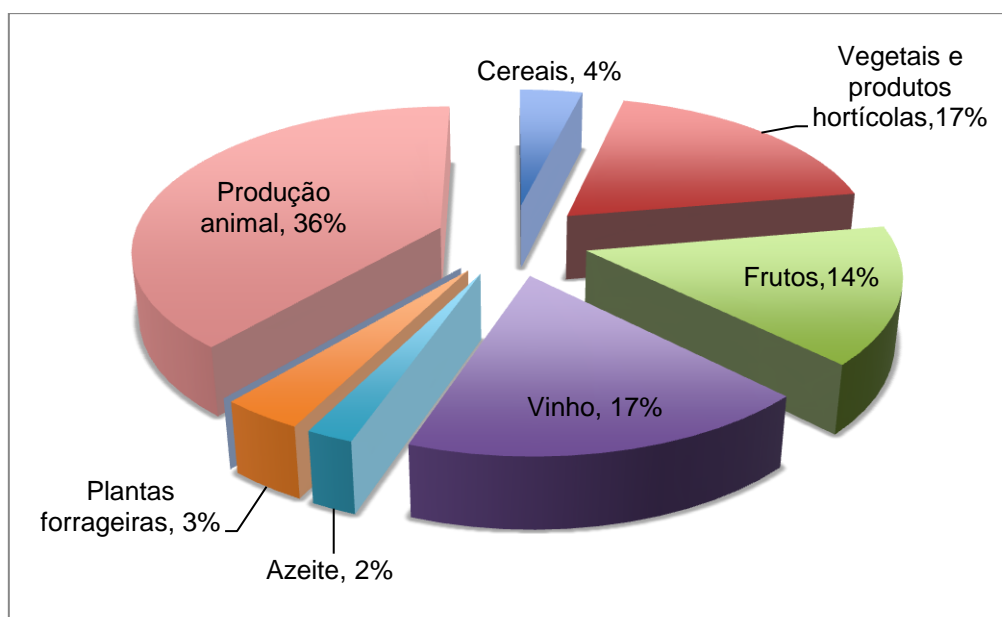


Figura 2.4 - Composição da produção agrícola portuguesa (preços base, milhões de euros, 2010).

Fonte: INE

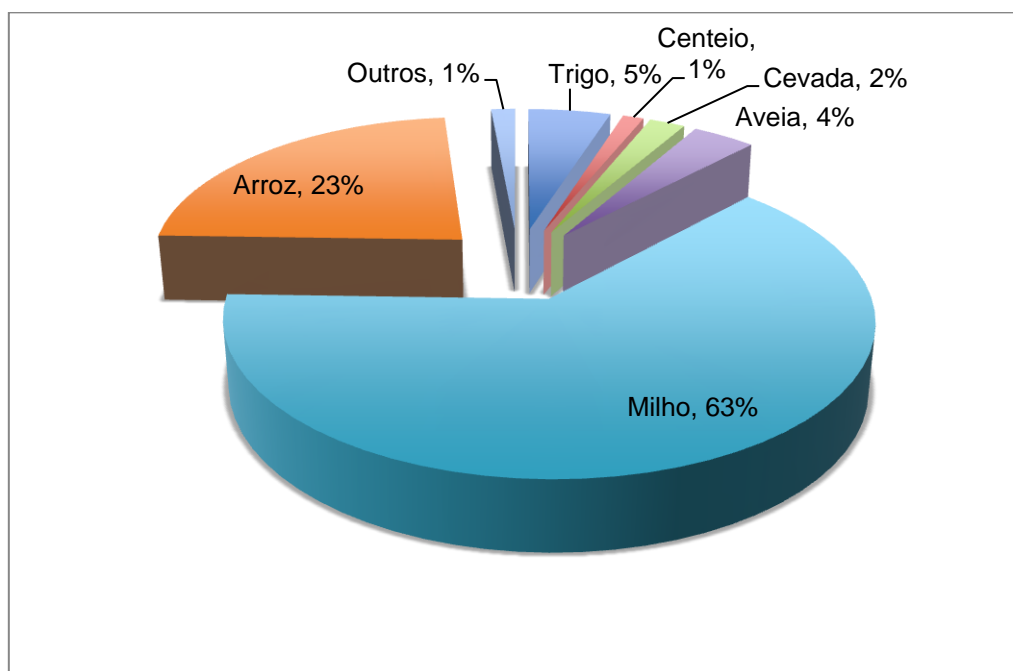


Figura 2.5 - Composição da produção de cereais em Portugal (milhões euros, 2010). Fonte: Eurostat, 2012.

À semelhança do que acontece noutras regiões de clima mediterrânico, a disponibilidade de trigo (mole e rijo) em Portugal, ao longo do tempo, tem-se caracterizado por cíclicos períodos de escassez, onde as situações de fome são ultrapassadas com o recurso a volumosas importações (Oliveira-Marques, 1971). A

cultura dos cereais, afetada por condições edáficas difíceis e ainda submetida a práticas culturais deficientes, tem-se caracterizado por rendimentos baixos e variáveis encontrando no clima uma forte condicionante (Bagulho, 1988). Apesar destes constrangimentos os cereais têm uma significativa importância social e económica para os portugueses. Fornecem-lhes matéria-prima para o seu principal alimento, o pão, e ao mesmo tempo representam uma atividade primordial para a maioria dos agricultores com explorações agrícolas onde a produção de cereais se efetua em conjunto com a produção pecuária em regime extensivo, permitindo o aproveitamento das palhas e restolhos.

As variações interanuais da produção total de trigo mole e de trigo rijo, em Portugal, nos últimos 13 anos, traduzem uma marcada falta de regularidade (Figura 2.6).

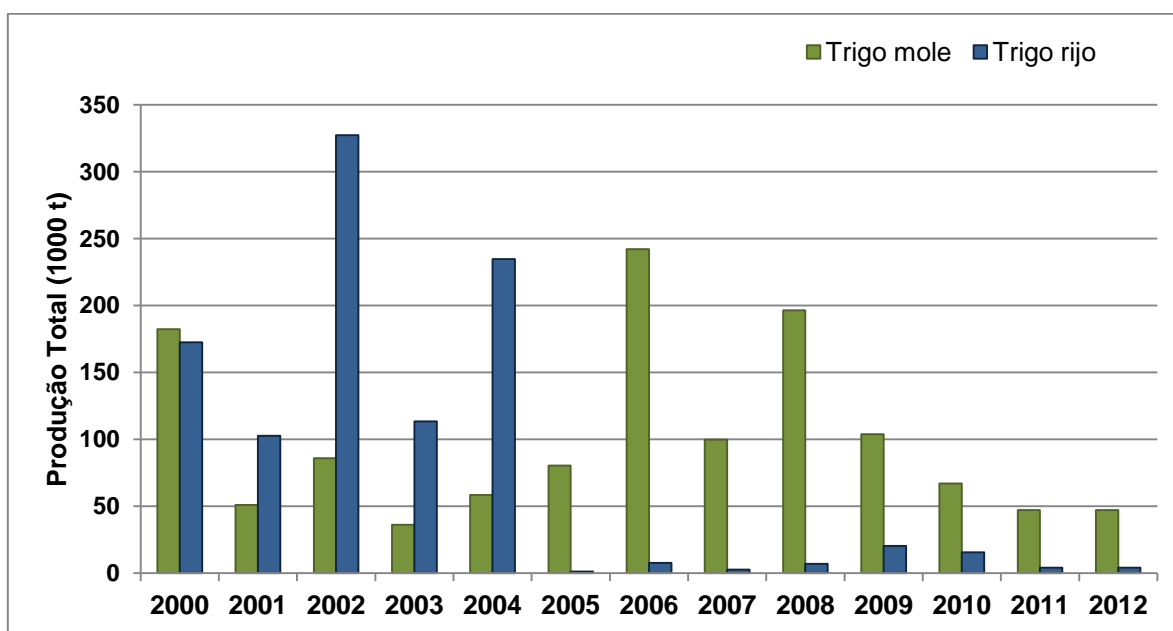


Figura 2.6 - Evolução e análise comparativa das produções totais de trigo mole e trigo rijo. Fonte: Eurostat, 2012.

Para este cenário de irregularidade contribuíram a variação nas superfícies cultivadas com trigo mole e trigo rijo (Figura 2.7) resultado das políticas de apoios, assim como a oscilação observada nas produções unitárias destes cereais (Figura 2.8), induzida pelas erráticas condições climáticas interanuais.

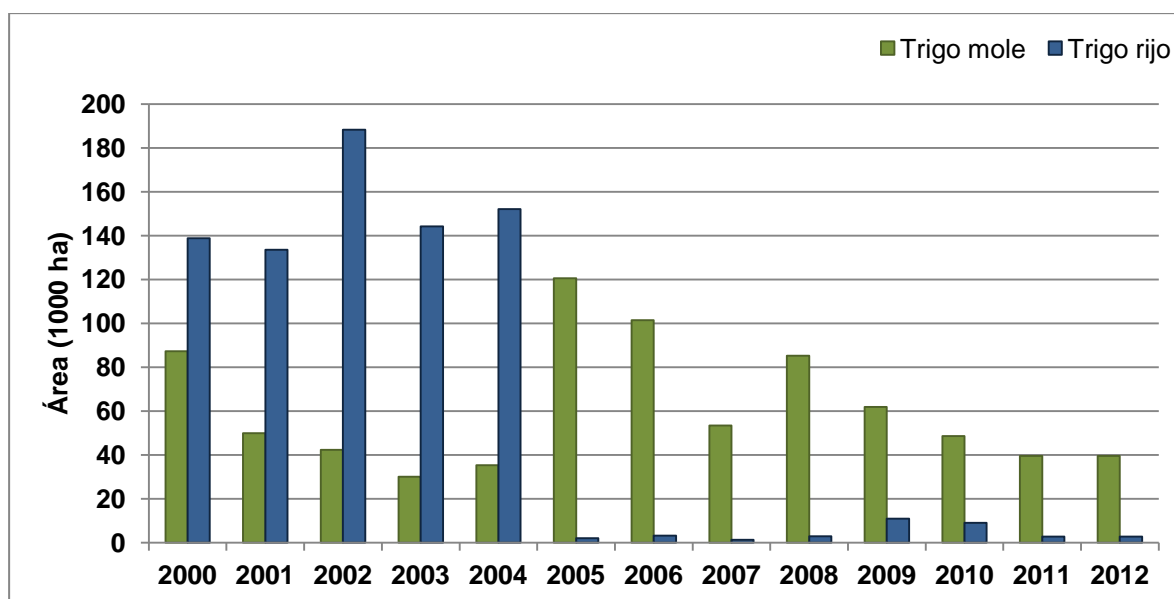


Figura 2.7 - Evolução e análise comparativa das superfícies cultivadas com trigo mole e trigo rijo em Portugal. Fonte: Eurostat, 2012.

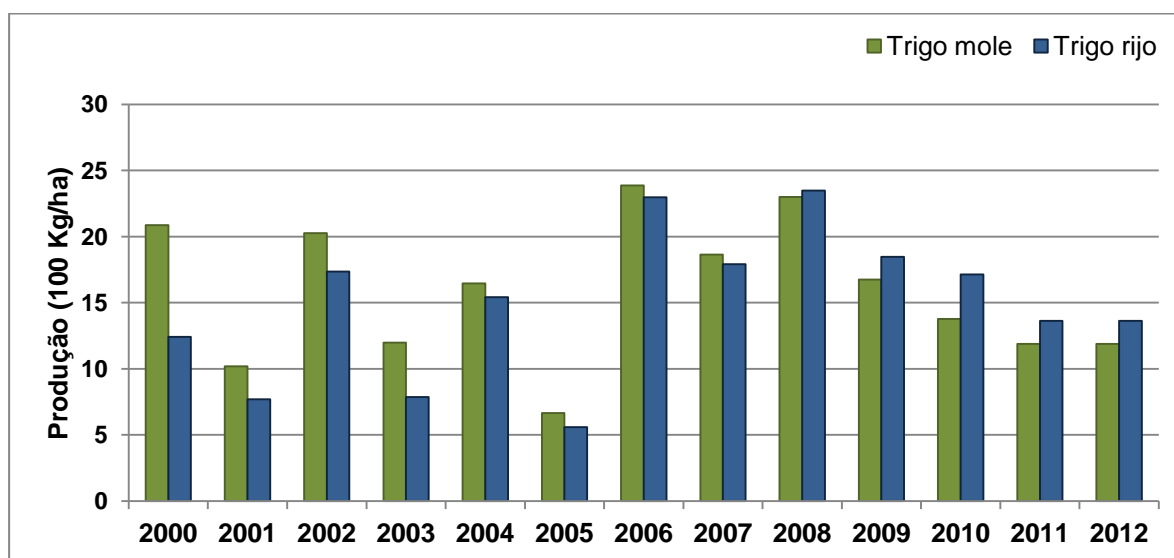


Figura 2.8 - Evolução e análise comparativa das produções unitárias de trigo mole e trigo rijo em Portugal. Fonte: Eurostat, 2012.

A este quadro de irregularidade constante acresce ainda a diminuição ocorrida na área cerealífera portuguesa. A área cultivada com trigo decresceu cerca de 43% nos últimos 10 anos (menos 86.500 ha). Para esta tendência terá contribuído a diminuição acentuada que se observou na superfície de trigo rijo, a partir de 2005. No entanto, esta foi em parte compensada pelo marcado aumento na superfície de trigo mole (Figura 2.7). O trigo rijo que tinha sido contemplado na reforma da Política

Agrícola Comum de 1992, com uma ajuda específica à superfície, foi a espécie mais penalizada em Portugal, Espanha, Itália e Grécia, com o fim das ajudas diretas aos produtores, no âmbito da reforma da PAC de 2003 (Regulamento CE Nº 1782/2003).

No entanto, apesar da diminuição da área, o trigo continua a ser uma das culturas de maior importância na agricultura portuguesa, ocupando 3% do total da área de terra arável portuguesa (Eurostat, 2012). Em 2011, a área cultivada com trigo apresentou, a nível nacional, o terceiro maior valor dos cereais, 40.044 ha (Figura 2.7), tendo correspondido a esta área uma produção de cerca de 54.500 toneladas.

A importância desta cultura foi reconhecida no âmbito do projeto SIAM I (Santos *et al.*, 2002), uma vez que o trigo foi uma das duas culturas escolhidas para avaliar os impactos da mudança climática no sector agrícola. Neste contexto, considera-se que uma das principais medidas adaptativas para combater/anular os impactos negativos da mudança climática (aumento da temperatura média, diminuição da precipitação), consiste na seleção e melhoramento de variedades melhor adaptadas a climas quentes e secos (Hossain *et al.*, 2012).

O Alentejo é a região portuguesa predominante no que diz respeito à produção de trigo: cerca de 80% da área nacional cultivada com este cereal encontra-se no Alentejo (Eurostat, 2012). Ribatejo e Trás-os-Montes são as outras regiões do País onde esta cultura assume grande importância. Na chamada “Terra Quente Transmontana” o trigo continua a ser uma das principais culturas, pois para a maioria dos agricultores dessa zona constitui uma valiosa fonte de receitas, apesar das baixas produções obtidas. A maior área de cultivo é dedicada à variedade regional “Barbela”, bem adaptada e possuidora de características tecnológicas muito apreciadas pela indústria agro- alimentar local.

Apesar das condições climáticas serem limitantes para a cultura, o que está patente nos baixos níveis de produtividade alcançados e na irregularidade da produção (Figura 2.6), tem-se observado, ao longo dos anos, uma quase ausência de culturas alternativas aos cereais, economicamente viáveis, principalmente para os sistemas extensivos da região do Alentejo.

## 2.2 Interação Genótipo x Ambiente – G x E

A interação entre o genótipo e o ambiente (interação genótipo x ambiente ou interação G x E) pode ser definida como o efeito diferencial dos ambientes sobre os genótipos (Cargnin *et al*, 2006), resultando assim da resposta diferencial dos genótipos à variação ambiental.

A interação G x E é um grande desafio para os melhoradores de plantas, pois, aquando da sua existência, é possível que o melhor genótipo num determinado ambiente não o seja num outro diferente. Este aspeto tem influência positiva no processo de seleção e dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade (Cruz e Regazzi, 1997). Yamamoto, (2006), salienta igualmente a grande importância da interação G x E para os melhoradores no desenvolvimento de novas cultivares, pois a ordem dos genótipos numa série de ambientes pode diferir estatisticamente, criando problemas para a seleção de plantas.

Na atividade de melhoramento de plantas testam-se muitos genótipos em ambientes diversificados (rede de ensaios), o que significa que se espera a ocorrência de interação G x E.

A avaliação dos genótipos sob condições ambientais variadas representa, de modo geral, a fase mais cara e trabalhosa de um programa de melhoramento. Assim, a dimensão de um programa fica limitado pela capacidade de avaliação experimental do germoplasma (Chaves, 2001). Para este autor, qualquer ganho em eficiência nesta fase representa um ganho em todo o processo. Entender a interação entre os genótipos e os diversos ambientes poderá contribuir para o aproveitamento dos seus efeitos benéficos, assim como para encontrar alternativas para os seus efeitos indesejáveis.

Sabendo-se que a constituição genética de um indivíduo não muda de um ambiente para outro (a menos que este ambiente induza uma mutação), qualquer alteração no fenótipo, para um dado genótipo, pode ser atribuída a efeitos ambientais e ainda ao efeito do ambiente na sua expressão génica (Interação G x E) (Squilassi, 2003).

Os caracteres qualitativos também estão sujeitos às alterações provocadas pelo ambiente. Um caso interessante ocorre com o trigo mole, que possui um gene para resistência ao frio localizado no cromossoma 5A. Sujeito a temperaturas negativas

da ordem dos  $-10^{\circ}\text{C}$  apresenta resistência dominante, mas com o decréscimo de temperatura, o sentido da dominância inverte-se e, sob temperaturas mais baixas ( $-14^{\circ}\text{C}$ ), a sensibilidade ao frio torna-se dominante (Sutka e Snape, 1989).

Os caracteres quantitativos apresentam uma distribuição contínua do fenótipo devido ao controlo poligénico e/ou efeito ambiental. Para estes caracteres, torna-se ainda mais evidente o efeito do ambiente no fenótipo final. Assim, quanto maior for a influência do ambiente, pior se torna o fenótipo como um indicador do genótipo.

Num determinado ambiente (E), a manifestação fenotípica é o resultado da ação do genótipo (G) sob influência do meio. Entretanto, quando se considera uma série de ambientes, como é o caso dos ensaios experimentais dos programas de melhoramento, deteta-se, além dos efeitos genéticos e ambientais, um efeito adicional, proporcionado pela interação destes (G x E). As causas da interação têm sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo testado. (Cruz e Regazzi, 1997). Pode, assim escrever-se:

$F = G + E$ ; na ausência de interação;

$F = G + E + GE$ ; em presença de interação G x E.

O distinto comportamento que uma linha avançada apresenta nas diferentes regiões em que se semeia é conhecido como interação genótipo x ambiente. O estudo dessa interação faz parte da avaliação do potencial do genótipo e tem um padrão definido para cada um. Assim, a apresentação da média geral de determinada linha ou variedade em todos os locais não corresponde ao seu potencial real.

Do ponto de vista evolutivo, a interação G x E torna-se importante na manutenção da variabilidade genética e na adaptação de espécies. A compreensão dos fatores genéticos associados à evolução e à ecologia podem ser utilizados no melhoramento de plantas, uma vez que a seleção é um ponto comum a estas áreas (seleção natural para evolução/ecologia e seleção artificial para melhoramento) (Kang, 1998).

Na Figura 2.9 estão representados genótipos distintos (A - E), submetidos a dois ambientes distintos (1 e 2), para avaliação de uma variável mensurável qualquer.

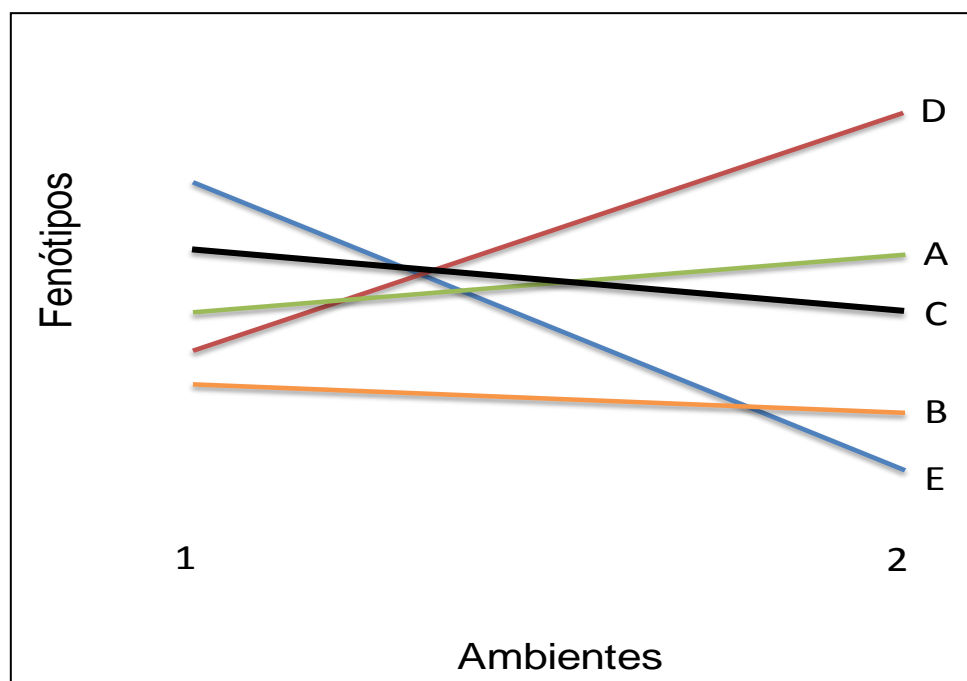


Figura 2.9 – Tipos de interações do genótipo com o ambiente (G x E). Fonte: Squilassi, 2003.

Podem ser observadas três situações:

**a)** Ausência de interação, pois a mudança nas condições ambientais não alterou o comportamento relativo dos genótipos (B e C).

**b)** Nas outras duas situações, a alteração no ambiente resultou em resposta diferenciada dos genótipos, evidenciando a ocorrência de interação G x E, que pode ser classificada como:

**b.1)** Interação Simples ou Quantitativa, onde há alteração no comportamento dos genótipos (A e B ou B e D), mas o ordenamento destes nos diferentes ambientes permanece inalterado, ou seja, um genótipo que era superior no ambiente 1 permanece superior no ambiente 2. Este tipo de interação indica que as populações são geneticamente heterogêneas e os ambientes homogêneos, ou vice-versa.

**b.2)** Interação Cruzada ou Qualitativa, na qual há uma resposta diferenciada das populações (ou genótipos) a diferentes ambientes, havendo uma mudança na classificação destas (C e D, A e C ou B e E).

Obviamente, as situações a e b.1 indicam que uma população (ou genótipo) é melhor adaptada aos dois ambientes de teste. Assim, uma seleção baseada na média de ambientes beneficiará sempre o melhor genótipo. Na situação b.1,

segundo Chaves *et al.*, (1989), a manifestação da interação é consequência, apenas, da conceituação aditiva do fenómeno e poderia ser explicada, por exemplo, pela ação multiplicativa dos ambientes sobre os genótipos. Na situação b.2, utilizar a média dos ambientes como indicador de seleção não é suficiente e poderá induzir a erros, levando à escolha de genótipos mal adaptados a uma situação particular.

Como em qualquer área do conhecimento, na interação G x E também é fundamental conhecer a fundo as suas causas e consequências, para com isso poder minimizar os prejuízos e maximizar o uso de recursos e o retorno ao agricultor, considerando-se ainda os impactos socioeconómico e ambiental que a atividade agrícola apresenta.

## **2.3 Ensaio Multilocais de Adaptação**

### **2.3.1 Importância**

Pode definir-se adaptação como sendo a capacidade de um genótipo em apresentar produções elevadas e estáveis em múltiplos ambientes.

A comparação de diferentes genótipos em diversos locais permite identificar aqueles que se manifestam superiores no que concerne à adaptação.

Os estudos de adaptação de variedades constituem, em todo o mundo, um importante ponto de apoio para a eficaz distribuição aos agricultores de germoplasma cada vez mais produtivo. O conhecimento adequado das novas variedades implica a realização de experimentação diversificada onde a relação genótipo x ambiente constitui um fator essencial de análise.

A variedade constitui um dos principais fatores responsável pelas produções cerealíferas, a par da agronomia e do ambiente. Regulada por complexos mecanismos de natureza genética, a produtividade é ainda fortemente influenciada pelas condições ambientais. A escolha correta da variedade é extremamente importante para o agricultor, com marcada influência no resultado económico da cultura. Daí que, estudos de adaptação, bem implantados e corretamente interpretados, sejam cada vez mais indispensáveis à cerealicultura nacional. A

experimentação em diferentes locais possibilita, ao mesmo tempo informação valiosa sobre outros acidentes das culturas, em particular sobre doenças e pragas.

### **2.3.2 Rede de Ensaios de Adaptação de Trigo**

A enorme variação ecológica (edafoclimática), dominante em Portugal, torna indispensável que o estudo da adaptabilidade das variedades de trigo se realize no espaço e no tempo, de forma: (i) a abranger as principais regiões produtoras e (ii) a funcionar como critério último e decisivo da seleção. Nas atividades ligadas à obtenção e desenvolvimento de novo germoplasma de trigo da EMP inclui-se este tipo de estudos de adaptação ao ambiente.

A informação adquirida dos resultados recolhidos anualmente com a Rede de Ensaios de Adaptação (REA) tem contribuído significativamente para a compreensão do comportamento dos genótipos e para a definição de qual o melhor padrão de variedade para as condições agro-edafo-climáticas do País.

A extrema irregularidade que caracteriza o clima do tipo mediterrânico imprime a estas regiões características de especificidade muito marcadas. Essa especificidade determina a adoção de estratégias de melhoramento que acentuem o carácter ambiental local as quais conduzirão necessariamente, à obtenção de genótipos bem adaptados, que apresentem um bom grau de estabilidade, capaz de fazer frente às constantes alterações ambientais. Daí que o conceito de estabilidade tenha grande importância nas alterações de produção observadas nos materiais melhor adaptados. Neste caso, a adaptação e a estabilidade determinam-se com base na produção de grão, massa do hectolitro e peso de mil grãos. No entanto, os dados recolhidos, além de fornecerem informação sobre os parâmetros acima referidos, que permitirão avaliar estes materiais para possível inscrição no Catálogo Nacional de Variedades (CNV), permitem igualmente a obtenção de conhecimentos que servirão para a orientação do programa de melhoramento genético realizado na EMP.

Com efeito, podemos dizer que os resultados obtidos nos ensaios multilocais têm dois grandes objetivos:

- Avaliar a estabilidade ou regularidade de produção dos diferentes genótipos em estudo, de modo a identificar novas linhas a propor para inscrição como variedades ao CNV.
- Fornecer informação que oriente a estratégia de melhoramento e seleção de novas linhas adaptadas à especificidade ambiental da zona cerealífera portuguesa.

A Rede de Ensaios de Adaptação engloba ensaios de trigo mole de ciclo mais longo (1ª época) e de ciclo mais curto (2ª época), trigo rijo, triticales de ciclo mais longo (1ª época) e de ciclo mais curto (2ª época), cevadas dísticas e hexásticas e aveias.

O conjunto de linhas que constitui os ensaios de trigo mole de 1ª época consta de germoplasma de ciclo alternativo com ligeira necessidade de vernalização e/ou com resposta ao fotoperíodo, sendo por isso, adequado a sementeiras desde o final de outubro a princípios de novembro. Os ensaios de triticales de 1ª época referem-se a materiais com dupla aptidão – grão e forragem, isto é, com crescimento inicial rápido e boa capacidade para recrescimento após pastoreio de inverno e o mesmo transformado em grão e palha para satisfazer necessidades de verão, ou simplesmente pastoreado em zonas declivosas ou de maior densidade de arvoredo. Todos os restantes ensaios reúnem, maioritariamente, genótipos com hábito de primavera.

As diferentes linhas que se incluem nesta rede, são selecionadas de entre aquelas que apresentam melhor comportamento nos ensaios conduzidos em Elvas. São mantidas pelo menos dois anos em ensaios onde são comparadas com testemunhas, as quais são variedades bem conhecidas e divulgadas na cerealicultura nacional.

Todos os anos se realizam vários ensaios de adaptação de norte a sul do país, abrangendo, sobretudo, as zonas onde a cultura dos cereais é preponderante. Em outubro/novembro são distribuídos cerca de 50 ensaios para 12/14 locais distintos.

A preparação e o envio da semente e do esquema dos ensaios são da responsabilidade da EMP. Procura-se que a data de sementeira corresponda ao período mais adequado para cada espécie e hábito de crescimento. Juntamente

com as sementes é enviado um protocolo onde se presta informação sobre questões relacionadas com os materiais e a metodologia, nomeadamente, número de modalidades e de repetições, dimensão dos talhões, densidade e processo de sementeira, fertilizações, origem da semente, distribuição no terreno (casualização), genealogia, pedigree e origem das linhas em estudo.

Cabe ao grupo de trabalho de Cereais da EMP reunir, compilar e interpretar estatisticamente os resultados, incidindo nos seguintes parâmetros de avaliação: produção de grão (kg/ha); massa do hectolitro (kg/hl); peso de mil grãos (g); vitreosidade (%), no trigo rijo; rendimento à calibragem (%), na cevada; produção de biomassa (kg/ha), no tritcale com interesse forrageiro. Os resultados são apresentados num relatório, no qual se indica, por ensaio e para cada parâmetro estudado, a média do genótipo, a média geral do ensaio, o coeficiente de variação (C.V.) e a diferença mínima significativa (d.m.s.). São igualmente apresentados os registos fitopatológicos recolhidos nos ensaios onde as doenças e pragas tiveram maior incidência.

Os resultados de cada ano complementam os de anos anteriores, constituindo uma vasta e significativa fonte de informação sobre o germoplasma em estudo. Tal facto, observa-se para todos os cereais em processo de melhoramento na EMP, visando a sua divulgação.

Desde 1956/57 que a EMP colabora com alguns organismos (oficiais) regionais de agricultura e privados, no sentido de avaliar o comportamento de trigos moles e rijos, tritcales, cevadas e aveias nas principais zonas cerealíferas do País. Essa colaboração tem sido sempre prestada por esses organismos com grande disponibilidade e interesse. Apesar do enorme volume de dificuldades que anualmente ocorrem, consequência sobretudo de carências de ordem financeira, de recursos humanos e de equipamento, tem-se conseguido obter um valioso conjunto de dados de grande utilidade para agricultores, técnicos e melhoradores.

## **2.4 Crescimento e desenvolvimento do trigo**

### **2.4.1 Principais fases e etapas do desenvolvimento fenológico**

O desenvolvimento de uma planta traduz uma sequência de eventos fenológicos controlados por fatores externos, determinando mudanças na morfologia e/ou na função de alguns órgãos (Landsberg, 1977).

A diferenciação dos diferentes órgãos da planta define as várias etapas do desenvolvimento do trigo. O desenvolvimento da planta de trigo corresponde a vários estádios ou fases, durante os quais são sequencialmente aferidos os componentes da produção. Estas fases podem ser definidas com base em mudanças morfológicas internas ou externas. A duração de cada fase do desenvolvimento e o número de primórdios iniciados dependem essencialmente de fatores genéticos (genótipo), ambientais (temperatura e comprimento do dia) e agronômicos (data de sementeira, adubação, etc.). Vários constrangimentos ambientais podem encurtar a duração das fases de crescimento do trigo, particularmente o *stress* térmico, mas também a escassez hídrica ou a salinidade.

Para caracterizar o desenvolvimento do trigo podem utilizar-se várias escalas (ou códigos) de desenvolvimento, os quais descrevem as fases de crescimento visíveis, sem que seja necessário dissecar a planta. Entre estas encontram-se: a escala de Haun (Haun, 1973), amplamente utilizada na definição das diferentes etapas do crescimento vegetativo; a escala de Feekes (Large, 1954) e a escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974) que também fornecem uma boa descrição para a fase vegetativa e reprodutiva.

A escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974) é a mais detalhada e fácil de usar. Descreve a totalidade dos estádios do ciclo de crescimento do trigo, incorporando características que não são consideradas noutras escalas. É baseada num código decimal, o qual revela vários aspetos do desenvolvimento da planta. O primeiro dígito, com valores de 0 (germinação) a 9 (maturação), refere-se à fase principal do crescimento e o segundo dígito, igualmente com valores de 0 a 9, revela mais detalhe para cada um dos principais estádios de crescimento, correspondendo a posição 5 ao valor médio. Os números das folhas, por exemplo, têm códigos

decimais de 11 a 19 e os filhos do colmo principal de 21 a 29. Os códigos decimais são precedidos das letras GS que provém de *Growth Stage*.

Os estádios morfológicos permitem uma identificação não destrutiva do progresso do desenvolvimento, mas não fornecem informação sobre a sequência e o momento temporal dos eventos, que ocorrem nos ápices da parte aérea, onde o crescimento ocorre na realidade.

Os eventos do desenvolvimento do trigo largamente reconhecidos como fulcrais são a germinação, a emergência, a iniciação floral ou aresta dupla (Acevedo *et al.*, 2002), a espiguetas terminal (primeiro nó ou início do alongamento do caule – encanamento), o aparecimento da folha bandeira (início da fase de emborrachamento), o espigamento, a ântese e a maturação fisiológica (Fischer, 1980). Estas etapas fenológicas podem ser agrupadas em três fases principais do ciclo de desenvolvimento e crescimento do trigo: a fase vegetativa, da germinação à iniciação floral; a fase reprodutiva, da iniciação floral à ântese; e a fase do enchimento do grão, da ântese à maturação fisiológica.

A fase vegetativa, que se estende entre a germinação e o início da diferenciação das espiguetas, compreende as fases GS 0 - GS 2 da escala de Zadoks. Neste período, ocorre o afilhamento com o crescimento de colmos secundários ou filhos, a partir das axilas das folhas do colmo principal. O número potencial de filhos varia com o genótipo e, em particular, entre os diferentes tipos de hábito de crescimento (inverno ou primavera). A diferenciação dos filhos e o seu aparecimento termina, geralmente, antes do início do alongamento do caule, ou seja, do início do encanamento (Baker e Gallagher, 1983).

Nem todos os filhos produzem espigas, e muitos destes perecem antes da ântese (Gallagher e Biscoe, 1978). O número de filhos produtivos depende do genótipo e do ambiente, sendo ainda influenciado pela densidade de sementeira. O afilhamento tem uma acentuada importância agronómica, podendo compensar (parcial ou totalmente) as diferenças no número de plantas após o estabelecimento da cultura. Pode ainda permitir uma recuperação da cultura e dos danos provocados pelas geadas que podem eventualmente ocorrer no início do ciclo.

A duração da fase vegetativa varia com a data de sementeira e com o genótipo. Depende da taxa de emergência das folhas e do momento em que ocorre o início da diferenciação floral, a qual é induzida pelo fotoperíodo e pela vernalização.

A fase reprodutiva (GS3 – GS5) compreende o período entre o início de diferenciação das espiguetas (iniciação floral) e a ântese (floração). Nesta fase verifica-se o rápido alongamento dos colmos, a continuação do crescimento do sistema radical e o fim da expansão das folhas superiores.

Os diferentes órgãos em crescimento “competem” intensamente por assimilados. Estes são importantes para o desenvolvimento da inflorescência, com influência na determinação do rendimento potencial (Evans e Wardlaw, 1976).

As plantas de trigo têm quatro a seis folhas no colmo principal, quando o ápice de crescimento passa da fase vegetativa para a fase reprodutiva. Segundo Hay e Kirby (1991), a determinação do número de grãos/espiguetas é um processo complexo. Os primórdios florais iniciam-se nas espiguetas centrais, antes da iniciação da espiguetas terminal (Kirby e Appleyard, 1987), até atingirem um máximo de sete a dez primórdios por espiguetas. Neste período, de rápido crescimento da espiguetas, uma parte significativa das flores degenera, e à ântese, apenas três a seis flores por espiguetas são férteis (Kirby, 1998; Siddique *et al.*, 1989).

Rahman *et al.* (1977) encontraram uma correlação positiva entre a duração da fase vegetativa e o número de espiguetas/espiga. Porém, o número real de espiguetas depende da duração do dia durante a fase reprodutiva. Os dias curtos (oito horas), durante o período correspondente ao estágio de aresta dupla e à iniciação da espiguetas terminal, estimulam o desenvolvimento de um elevado número de espiguetas (Rawson, 1971; Rahman e Wilson, 1978).

No momento da antese (GS 6), o número de espigas/planta e, conseqüentemente, o número de espigas/m<sup>2</sup> já estão determinados.

A espiga de trigo contém apenas uma espiguetas por cada nó da ráquis. Cada espiguetas tem entre três a seis flores potencialmente férteis (Kirby e Appleyard, 1984), as quais são autopolinizadas em 96% dos casos (Martin *et al.*, 1976). A ântese, tal como acontece com a meiose, tem início na parte central da espiga e continua depois nas zonas basal e apical durante três a cinco dias (Peterson, 1965). As flores proximais da espiguetas central são fertilizadas dois a quatro dias mais cedo

do que as flores distais. Normalmente, estes grãos têm um peso maior (Simmons e Crookston, 1979).

A fase de enchimento do grão (GS 6 – GS 9) tem início na ântese e é o período durante o qual se verifica a formação e a maturação fisiológica do grão. A maturação fisiológica é definida, usualmente, como o momento em que a folha bandeira e as espigas se tornam amarelas (Hanft e Wych, 1982). O crescimento dos colmos cessa após a ântese.

Segundo Loss e Siddique (1994), o desenvolvimento do grão (GS 7 – GS 9) integra três fases: na primeira ocorre um crescimento exponencial, durante o qual as células do endosperma se dividem rapidamente e o tamanho potencial do grão fica determinado; na segunda fase há um crescimento constante (quando expresso em unidades térmicas, dias grau crescimento), com acumulação de amido no endosperma; a terceira fase, que começa com a deposição de lípidos no grão, acaba com uma redução na taxa de crescimento até o peso máximo do grão ser atingido.

Os assimilados destinados ao grão podem provir maioritariamente da fotossíntese realizada pela folha bandeira, ou pela espiga sobretudo em cultivares aristadas (Evans e Wardlaw, 1996), ou ainda da translocação de fotoassimilados de reserva armazenados nos caules e nas bainhas das folhas (Austin *et al.*, 1980; Blum *et al.*, 1994; Blum, 1996; Dias, 1998). O peso médio do grão também está relacionado com o número de grãos/m<sup>2</sup>. Contudo, estes dois componentes da produção estão negativamente correlacionados (Maças, 1996; Cossani, *et al.*, 2009).

A Figura 2.10 representa, de forma esquemática e simplificada, numa escala de tempo arbitrária, o ciclo do desenvolvimento fenológico do trigo. Nesta estão representadas as três fases do desenvolvimento, delimitadas pelos respetivos acontecimentos fenológicos. A fase vegetativa é delimitada pela sementeira (mais corretamente, seria pela emergência) e pela iniciação floral; a fase reprodutiva é delimitada pelo estágio de iniciação floral e pela ântese e a fase de enchimento do grão pela ântese e pela maturação fisiológica. O esquema inclui ainda alguns acontecimentos fenológicos importantes do ciclo de crescimento da cultura, nomeadamente, o estágio de aresta dupla (DR), o qual ocorre algum tempo após a iniciação floral (Delécolle *et al.*, 1989; Kirby, 1990); o início da formação da

espiguetas terminal (ET), quando já todas as espiguetas tiveram início e que coincide com o alongamento do caule (início do encanamento – GS 31); o aparecimento da folha bandeira (que é o marcador do final da fase de encanamento e simultaneamente do início da fase de emborrachamento – GS 37 – GS 41); o espigamento (quando metade da espiga é visível fora da bainha da folha – GS 5) e a maturação fisiológica (MF – GS 91).

Estes acontecimentos delimitam importantes períodos de diferenciação ou crescimento de alguns órgãos durante as diferentes fases. Períodos estes, que estão representados por caixas brancas. As linhas a preto representam os momentos em que os diferentes componentes da produção são determinados, relativamente à ocorrência no tempo dos diferentes acontecimentos fenológicos. É possível assim visualizar a relação entre as diferentes etapas do desenvolvimento fenológico da cultura ao longo do tempo, assim como, os principais eventos fisiológicos que vão ocorrendo e a consequente determinação dos componentes da produção.

Nos cereais, a transição de uma fase do desenvolvimento para outra é sempre afetada pela temperatura, sendo regulada pelos genes que comandam a resposta ao fotoperíodo e à vernalização. Antes da ântese, o número potencial de grãos já está determinado; após a ântese ocorre o enchimento do grão, estabelecendo-se o peso individual dos mesmos. O número de grãos por unidade de área e o peso individual médio do grão são os dois principais componentes da produção.

Na definição do número de grãos, a proporção de flores férteis que na realidade produzem um grão “normal”, é geralmente inferior a 100%, provavelmente devido à competição por assimilados (Savin e Slafer, 1991).

A não ser que o enchimento do grão seja terminado por efeito de um fator ambiental externo, nomeadamente um *stress* hídrico extremo (Nicolas *et al.*, 1984), ou um choque térmico repentino (Savin *et al.*, 1996), o período que vai da ântese à maturação fisiológica é bastante estável em termos de unidades térmicas (dias grau crescimento).

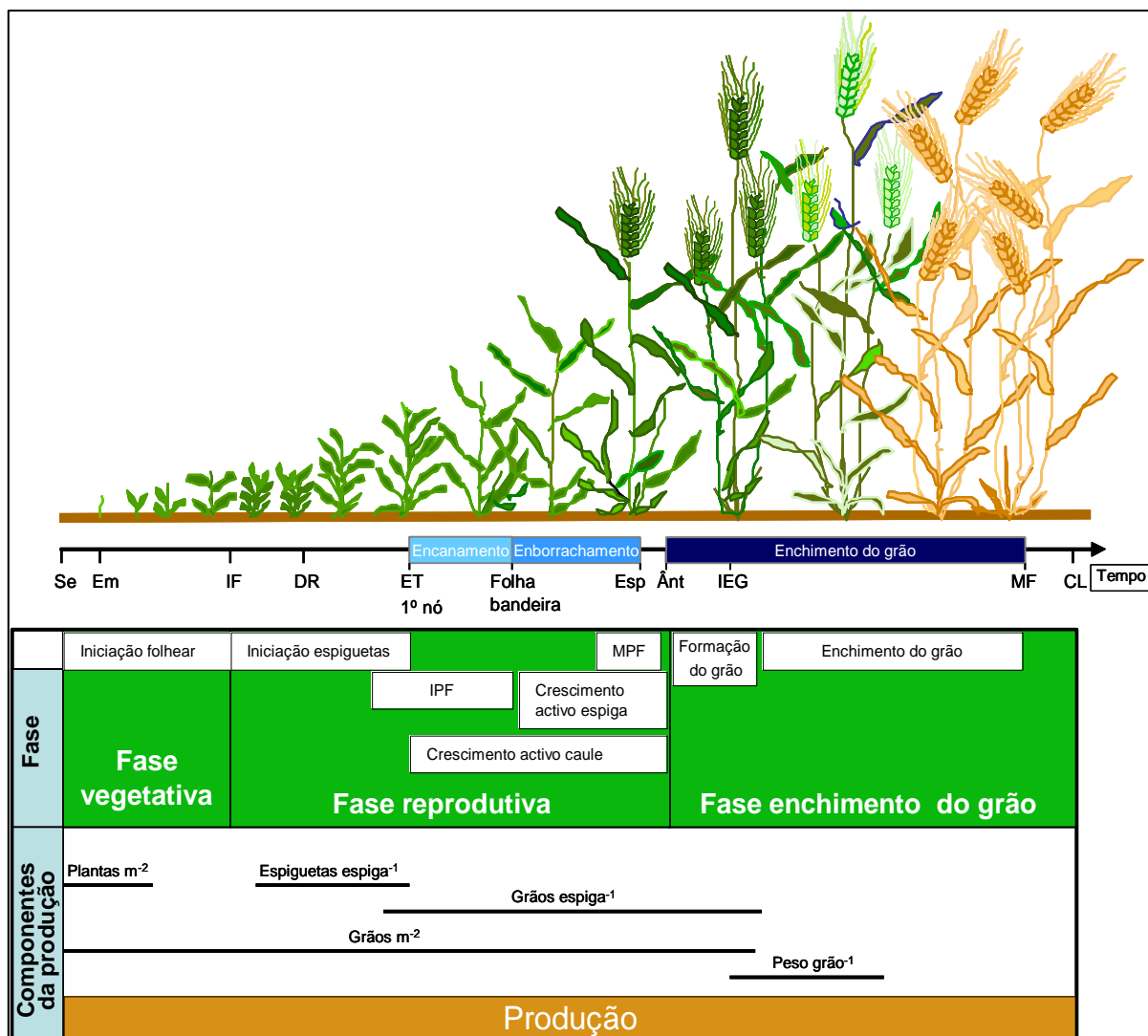


Figura 2.10 - Diagrama esquemático do ciclo de vida do trigo. O diagrama mostra os estádios de sementeira (Se), emergência (Em), iniciação floral (IF), iniciação do primeiro "double ridge" – aresta dupla (DR), iniciação da espiguetas terminal (ET), espigamento (Esp), ântese (Ânt), início do período do enchimento do grão (IEG), maturação fisiológica (MF) e colheita (CL). As caixas representam os períodos de diferenciação ou crescimento de alguns órgãos durante as fases vegetativa, reprodutiva ou enchimento do grão (IPF-iniciação dos primórdios florais; MPF-morte dos primórdios florais). As linhas representam os momentos no tempo em que os diferentes componentes da produção são produzidos. Adaptado de Slafer e Rawson (1994).

## 2.4.2 Os principais fatores ambientais que afetam a taxa de desenvolvimento do trigo

O fotoperíodo e a temperatura são os fatores ambientais que mais marcam a adaptação das plantas aos diferentes ambientes onde crescem, influenciando o seu

desenvolvimento fenológico. Algumas variedades de trigo necessitam de um período de baixas temperaturas para induzir a formação dos órgãos reprodutivos, como é o caso, das variedades de hábito de inverno. O processo fisiológico que leva à transição da fase vegetativa para a reprodutiva e que ocorre no período em que as plantas estão submetidas a baixa temperatura denomina-se vernalização.

Os trigos que respondem à vernalização florescem após o fim de um período de frio. A etapa de aresta dupla não é alcançada enquanto os requerimentos da planta em frio não forem satisfeitos. Colateralmente, a duração da fase vegetativa é prolongada, dando origem a um maior número de folhas no colmo principal, no entanto, a taxa de emergência das folhas não é alterada (Mossad *et al.*, 1995).

Por outro lado, para algumas variedades de trigo, o efeito da temperatura no desenvolvimento é modificado pela influência do comprimento do dia ou de fato, pela duração do período escuro. Este efeito designa-se por fotoperíodo.

Assim, a resposta à vernalização e o fotoperíodo constituem os processos básicos da adaptação do trigo a diversos ambientes.

Tendo em conta estes pressupostos, o trigo pode ser classificado em trigo de hábito de inverno, primavera e alternativo ou facultativo. A necessidade de vernalização e a sensibilidade ao fotoperíodo marcam, “grosso modo”, o desenvolvimento das plantas.

Nas regiões frias do hemisfério Norte, observam-se duas épocas de sementeira; na primeira, de setembro a novembro, usam-se variedades com forte necessidade de frio. Estes trigos, de porte muito prostrado, denominados de inverno, não se desenvolvem convenientemente se o seu ciclo não for interrompido por um período de temperaturas muito baixas; podem permanecer debaixo de neve durante largos períodos e normalmente não atingem o espigamento em regiões de invernos suaves, como o caso de Portugal, onde não se adaptam. Este tipo de genótipos necessita de 30 a 60 dias, com temperaturas entre 0° e 7/10°C (Evans *et al.*, 1975). Nos primeiros estádios do crescimento são muito resistentes ao frio (-20°C), mas esta resistência vai sendo gradualmente perdida, à medida que se aproximam do espigamento e da floração.

Os trigos de primavera tem uma resposta muito suave ou não apresentam qualquer tipo de resposta à vernalização. Manifestam um ciclo de desenvolvimento contínuo,

não suportando grandes períodos com temperaturas baixas. As geadas tardias, que por vezes ocorrem em meados de abril, poderão causar prejuízos elevados na produção. Os genótipos deste tipo requerem, normalmente, entre 5 a 15 dias, com temperaturas entre 7° e 18°C, para que seja induzida a floração (iniciação floral) (Evans *et al.*, 1975), a duração do ciclo vegetativo é frequentemente controlada pela temperatura e o ritmo de desenvolvimento aumenta com o incremento da temperatura. Nas zonas mediterrânicas usam-se trigos de hábito de primavera com sementeira no outono.

Trabalhando na Austrália, em regiões de clima similar ao nosso, alguns cientistas reconhecendo a influência do ambiente no padrão de desenvolvimento do trigo identificaram outro grupo de trigos. Foram definidos como alternativos ou facultativos. Suportam sementeiras durante períodos mais longos, completando apesar disso o seu ciclo de crescimento. Estes materiais encontram-se também em cultura em zonas situadas em latitudes intermédias, como na China ou ainda em extensas áreas planálticas relativamente elevadas como na Turquia e Chile ou em que o efeito da continentalidade se sente particularmente, como na Argentina, Sul do Brasil e partes dos Estados Unidos da América.

Depois das necessidades em vernalização estarem satisfeitas, os genótipos que são sensíveis ao fotoperíodo, requerem um certo comprimento do dia para que ocorra a floração. A sensibilidade ao fotoperíodo difere entre genótipos. No entanto, a maioria dos trigos cultivados são plantas de dias longos. Florescem mais rapidamente à medida que aumenta o comprimento do dia, mas não têm necessidade dum comprimento de dia particular para que a floração seja induzida (Evans *et al.*, 1975).

A temperatura isoladamente tem um impacto universal nas taxas de desenvolvimento do trigo (Ahmed *et al.*, 2012). Ao contrário das respostas ao fotoperíodo e à vernalização, não há fases do desenvolvimento nem cultivares insensíveis à temperatura (Slafer e Rawson, 1995a, 1995b). Assim, em termos gerais, quanto mais alta é a temperatura, mais rápida é a taxa de desenvolvimento e, consecutivamente, mais curto o tempo para completar uma fase particular do desenvolvimento (Slafer e Rawson, 1994).

O desenvolvimento do trigo, que começa com a germinação da semente (Roberts, 1988) e persiste até à maturação, mostra uma grande dependência da temperatura

(Porter *et al.*, 1987; Slafer e Savin, 1991). De entre os vários modelos que têm sido propostos para correlacionar o fator temperatura com o desenvolvimento do trigo, reconhece-se a importância do “tempo térmico” (Monteith, 1984). Na prática, este parâmetro traduz o somatório das diferenças entre a temperatura média diária e a temperatura base (a qual traduz o limiar do crescimento). O conceito de tempo térmico traduz uma relação linear entre a taxa de desenvolvimento e a temperatura, e entre a temperatura base e a temperatura ótima (Miralles e Slafer, 1999).

### **2.4.3 O ajustamento do ciclo de desenvolvimento do trigo ao ambiente mediterrâneo**

O crescimento e desenvolvimento dos cereais no ambiente mediterrânico, além da inadequada distribuição das chuvas, podem ser limitados pela ocorrência de baixas ou altas temperaturas. Mesmo que não ocorra falta de água, o crescimento do trigo pode ser limitado pela subida das temperaturas ( $> 30^{\circ} \text{C}$ ), pois a respiração aumenta e as taxas de assimilação atingem um limiar que não compensa as perdas da respiração. Uma segunda consequência do aumento das temperaturas na primavera é a ação que exercem na aceleração do processo fisiológico do desenvolvimento induzindo uma senescência precoce. Em consequência ocorre a redução do período disponível para o crescimento das plantas causando um marcado efeito na expressão do potencial produtivo dos genótipos (Harris *et al.*, 1987). O aumento das temperaturas na primavera provoca também um aumento no déficit de pressão de vapor na atmosfera, circunstância que tem consequências negativas no crescimento das plantas levando a uma redução da eficiência do uso da água devido à relação inversa entre a absorção de  $\text{CO}_2$  e o déficit de pressão de vapor (Tanner e Sinclair, 1983). McDonald *et al.* (1983) mostraram a existência de forte interação da temperatura com o genótipo, incluindo os efeitos mencionados, mas, ao mesmo tempo, sugerem que é possível a identificação de variabilidade genética em resposta à temperatura (Maçãs, 1996).

O trigo está melhor adaptado a condições de crescimento com temperaturas moderadas. O interesse na resposta do trigo a temperaturas acima das ótimas tem aumentado, porque esta espécie vem sendo cultivada em regiões com temperaturas tendencialmente mais elevadas. Neste contexto, o efeito dominante do regime

térmico no crescimento e na produção do trigo acentua a importância da procura de existência de variabilidade genética na adaptação desta espécie a ambientes quentes. Nos últimos anos esta questão ganhou maior importância devido ao fenómeno chamado de aquecimento global e ao consequente efeito negativo nas produções agrícolas (Santos e Miranda, 2006; Oliveira *et al.*, 2011).

Estudos efetuados em ambiente controlado (Chowdhury e Wardlaw, 1978) revelaram que os limites ótimos de temperatura média durante o crescimento do grão variam entre 15 - 18°C. Wardlaw *et al.* (1989a) apontam para uma redução global na produção de 3-4% por cada aumento de 1°C na temperatura média acima deste ótimo. Mesmo quando a água não é um fator limitante, em ensaios conduzidos em regadio, as produções de trigo com sementeira tardia em ambiente mediterrânico e, conseqüentemente, sujeitos a temperaturas elevadas no final do ciclo, são baixas, contribuindo para esta diminuição a aceleração no desenvolvimento da cultura causada pelas temperaturas elevadas durante o enchimento do grão (McDonald *et al.*, 1983; Maçãs *et al.*, 1999, 2000).

Vários autores têm ainda apontado que a temperatura de 20°C corresponde a uma temperatura ótima para o crescimento do grão (Jenner, 1991; Russell e Wilson, 1994; Dupont e Altenbach, 2003) e para a fotossíntese (Al-Khatib e Paulsen, 1984).

De há muito que é reconhecido o ajustamento do ciclo de desenvolvimento do trigo ao período mais favorável do ano como um dos fatores mais importantes que influencia o crescimento e a produção. Para Portugal, o ajustamento da variedade à data de sementeira é determinante para que a floração ocorra suficientemente cedo de modo que o enchimento do grão se processe, tanto quanto possível, na ausência de *stress* hídrico, dada a frequente escassez de água no final da primavera. No entanto, a ântese deverá ocorrer de molde a evitar as geadas tardias que com alguma frequência são responsáveis por danos na espiga, comprometendo deste modo a produtividade.

Em Portugal, nas últimas décadas, a agricultura de regadio foi-se gradualmente impondo. Apesar do ancestral domínio das técnicas de rega, em particular na região litoral Norte, nos vales do Tejo, Mondego e Sado, vastas áreas do Sul têm vindo a ser adaptadas ao regadio, muitas vezes em zonas onde a experiência de rega era diminuta.

O Alentejo é uma região com cerca de 1.900.000 ha de Superfície Agrícola Utilizável e atualmente estima-se que a área agrícola regada atinja cerca de 138.000 ha, distribuída entre perímetros de rega de iniciativa pública (48.000 ha) e aproveitamentos particulares (90.000 ha) dos quais, apesar de não se dispor de estimativas oficiais, se pensa que 10.000 ha são destinados essencialmente a cereais, prados e forragens. Com o empreendimento hidroagrícola de Alqueva prevê-se a duplicação da área de solos agrícolas irrigados nesta região, embora a sua adaptação ao regadio esteja a ser feita de forma progressiva (Sevinate-Pinto, 1998). Assim, a sua contribuição para o aumento da área regada, apesar de importante, é localizada, e representa uma área suplementar de 8% da SAU do Alentejo, ficando a área irrigada global com cerca de 16% da totalidade da área agrícola.

Com o recurso ao uso da água, os agricultores alentejanos que semeiam os cereais de outono/inverno numa região em que o défice entre a precipitação e a evapotranspiração é extremamente acentuado, sobretudo quando as plantas entram na fase reprodutiva, tentam eliminar os efeitos negativos que as carências hídricas provocam nas produções potenciais das culturas. Contudo, tem-se constatado que os rendimentos dos cereais regados, nomeadamente no trigo, não são muitas vezes os que se esperavam, o que leva a pressupor que o problema das variações acentuadas da temperatura em fases críticas do desenvolvimento das plantas, é uma condicionante a considerar.

Consciente de que a eliminação do *stress* hídrico, com a introdução do regadio, pode permitir melhorar a competitividade das culturas em termos económicos, o DC/EMP procura diversidade genética que lhe permita selecionar variedades que possam expressar estabilidade de produção, sob condições climáticas onde a ocorrência de um *stress* abiótico, senão mesmo a combinação de vários, podem acontecer, independentemente do sistema de agricultura adotado. Se, para sequeiro, as cultivares têm que ser portadoras de características que facultem a plasticidade de comportamento para fazer face à irregularidade do ambiente, em regadio importa considerar, por um lado elevadas produções de biomassa e adequada repartição de assimilados para o grão, tirando partido das condições favoráveis do ponto de vista hídrico e, por outro, um ciclo vegetativo não muito alargado que permita fugir ao *stress* térmico que ocorre no final (Gomes, 1999).

## 2.5 Fatores determinantes da produção

O rendimento em grão representa o produto final da interação de fatores relacionados com o genótipo e com o ambiente, cujos efeitos individuais são difíceis de avaliar. No entanto, pode expressar-se em função dos seus principais componentes, tais como: número de espigas por unidade de superfície, número de grãos por espiga e peso final do grão (Bellido, 1991; Coutinho, 1991; Maças, 1996; Gomes, 1999; Almeida, 2007).

Os componentes da produção determinam-se sequencialmente, ao longo do desenvolvimento das plantas, durante o período anterior à antese - nº espigas/m<sup>2</sup>, durante a antese - nº grãos/espiga e entre a antese e a maturação - peso do grão.

O número de espigas por m<sup>2</sup> depende, tanto da quantidade de colmos como da proporção dos mesmos que podem dar origem a espigas férteis. A quantidade de colmos está relacionada com a capacidade de afilhamento da variedade, densidade de sementeira, condições climáticas e adubação mineral. Após o afilhamento, o número de colmos sobreviventes diminui. A sua morte ocorre devido à falta de humidade no solo, adubação insuficiente ou a elevada densidade de sementeira.

O número de grãos por espiga constrói-se com o número de espiguetas por espiga e o número de flores por espiguetas. Depende do genótipo, das condições climáticas durante a formação da espiga, do tamanho e atividade do aparelho fotossintético durante o período reprodutivo e da capacidade para transferir assimilados para a espiga. Segundo alguns autores, fotoperíodos longos, temperaturas elevadas e algum défice hídrico durante a diferenciação da inflorescência afetam a formação da espiga, provocando uma diminuição do número de espiguetas por espiga e, conseqüentemente, do número de grãos por espiga.

As condições ambientais durante o período compreendido entre os 20 dias anteriores e os 10 dias posteriores à antese são muito importantes para a determinação do número de grãos/m<sup>2</sup> (Savin e Slafer, 1991; Abbate *et al.*, 1995).

O peso de 1000 grãos depende do tamanho e da duração da atividade fotossintética na parte superior da planta, da capacidade de transferência de assimilados para o grão e da duração do período de formação do grão (Almeida, 2007). A contribuição dos assimilados armazenados no período anterior à antese é crucial para estabilizar

o rendimento perante condições climáticas adversas que provoquem uma diminuição da fotossíntese e da absorção de água e minerais durante o período de enchimento do grão (Van Herwaarden *et al.*, 1998; Tahir e Nakata, 2005). Nas regiões de clima mediterrânico a composição relativa de todos os componentes da produção depende das condições ambientais em cada ano agrícola, principalmente da fase de desenvolvimento do trigo em que possa ocorrer algum *stress* hídrico (Rajala *et al.*, 2009). Resumindo, a produção de grão de uma variedade resulta da combinação de todos os componentes atrás mencionados (Figura 2.11). Estes componentes dividem-se em dois níveis diferentes: um nível populacional (nº de espigas/m<sup>2</sup>) e um nível individual (nº de espiguetas/espiga, nº de grãos/espiga e peso do grão) (Mexia, 1985; Gomes, 1999). Se traduzirmos tudo isto numa equação em que **Y** representa a produção final de grão, teremos:

$$Y = (\text{n}^\circ \text{ espigas/m}^2) \times (\text{n}^\circ \text{ espiguetas/espiga}) \times (\text{n}^\circ \text{ grãos/espiguetas}) \times (\text{peso do grão})$$

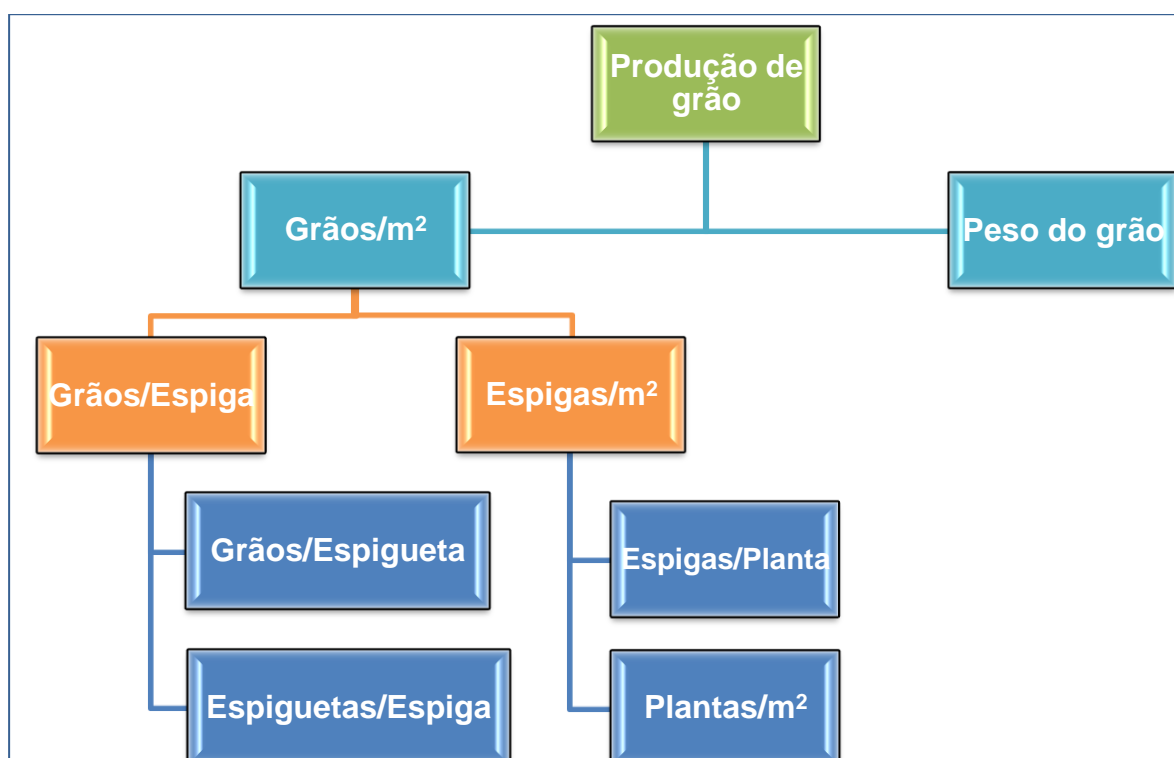


Figura 2.11 - Sequência da formação dos componentes que resultam na produção final de grão. (Adaptado de Gomes, 1999).

## 2.6 O Melhoramento do Trigo em Portugal – Principais Fases

Henry de Vilmorin terá afirmado por volta de 1880 que “uma das melhores maneiras de aumentar a produção é cultivar variedades de trigo que possam explorar o potencial do solo, utilizar melhor a energia do sol e que consigam prosperar no ambiente no qual se encontram”. Em concordância, reconhece-se a importância dos agricultores adaptarem o “seu trigo” à “sua terra”.

Apesar de conscientes dessa preocupação, os melhoradores e os agrónomos, têm tido reduzido sucesso, quando se trata de minimizar os riscos associados a constrangimentos ambientais. Avanços no conhecimento, no âmbito da relação das plantas com o ambiente, e ao nível molecular das plantas, apontam para que os esforços se devam concentrar no melhoramento da eficiência do uso dos recursos.

A filosofia dominante no Programa de Melhoramento do Departamento de Cereais da EMP, a par da criação e seleção de novo germoplasma, com os objetivos de aumentar o potencial produtivo *per si*, e a qualidade tecnológica, tem privilegiado simultaneamente o melhoramento de génotipos com tolerância/resistência aos principais constrangimentos bióticos e abióticos.

O melhoramento genético convencional tem recorrido primordialmente a metodologias empíricas, tomando em conta a produção como principal critério de seleção. A baixa heritabilidade da produção e a elevada interação génotipo x ambiente têm limitado os avanços, quando se trata, por exemplo, de selecionar materiais capazes de suportar o *stress* térmico do final do ciclo. Neste contexto, é necessário introduzir novos conceitos, no processo de seleção, que tomem em consideração métodos analíticos baseados na compreensão dos processos fisiológicos que limitam a produção.

A secular importância socioeconómica do trigo para Portugal provém do facto de ser um dos cereais mais cultivado no país e do papel relevante desempenhado pelo pão, alimento básico e imprescindível para a maioria dos portugueses (Bagulho e Gonçalves, 1988).

Logo após a redescoberta das leis de Mendel, em 1901, o agrónomo Alfredo le Coq, demonstrando um ótimo conhecimento ao nível científico da época, traçou as diretrizes do melhoramento do trigo, iniciando um programa de hibridações artificiais

na Estação Agronómica de Lisboa, localizada nos terrenos circundantes do histórico Mosteiro dos Jerónimos. Daqui resultaram 25 novas cultivares, das quais um, pertencente à espécie *T. turgidum* L. e as restantes à espécie *T. aestivum* L. (Barradas, 1966),

Com a criação, em 1923, da Estação Agrária Central, deu-se um novo arranque no melhoramento em Portugal. Durante alguns anos foi estudado um elevado número de genearcas, permitindo construir a coleção de linhas puras representativas da variabilidade genética contida nas variedades regionais de trigos portugueses. Foi a partir deste material base que Vasconcellos (1933), elaborou um exaustivo estudo sistemático dos “trigos portugueses ou de há muito cultivados”, contribuindo decididamente para os trabalhos futuros do melhoramento e da genética. Deste trabalho obtiveram-se novas linhas, nomeadamente, Galego Barbado, Galego Rapado, Temporão de Coruche, Ribeiro, Mocho de Espiga Branca, entre outras, cuja semente, multiplicada em Elvas, suscitou forte procura dos agricultores.

Com a fundação, em 1937, da Estação Agronómica Nacional, dirigida pelo Professor António Câmara intensificou-se a investigação no campo da genética, tanto no trigo como noutras espécies, tendo surgido o Departamento de Melhoramento de Plantas e nomeado o Professor Victória-Pires como seu responsável. O desenrolar do tempo, a vontade de alguns homens, a evolução dos serviços agrícolas oficiais, o crescente desenvolvimento das experiências em curso e a importância dos resultados obtidos conduziu à criação da Estação de Melhoramento de Plantas (EMP). Assim, a partir de 1942, o país passou a dispor de um organismo responsável por tão imprescindível atividade para o progresso da agricultura numa zona de diferentes solos, com algumas manchas excelentes (Alves, 1961), inserida numa importante região produtora de trigo e com condições climáticas representativas das principais áreas de cereais do país. Como afirma Oliveira (1961), Elvas está em localização apropriada para definir o clima para a cultura do trigo em Portugal.

No decurso do programa de melhoramento de trigo na EMP pode considerar-se uma segunda etapa, que corresponde ao período compreendido entre os anos 50 e início dos anos 70, durante o qual se efetuaram hibridações entre progenitores bem adaptados, portadores de elevado valor agronómico, especialmente variedades italianas, com trigos portugueses antigos ou com germoplasma de distintas regiões.

A primeira variedade portuguesa aqui obtida, Pirana, resultou de hibridação artificial e foi selecionada em Elvas, a partir de uma população descendente de um cruzamento entre o trigo italiano Mentana e o trigo português Mocho de Espiga Branca.

Posteriormente outros trigos moles e duros foram obtidos a partir deste programa de melhoramento, tendo sido colocados à disposição da Lavoura Portuguesa até 1967, pela EMP, as variedades Lusitano, Restauração, Padeira, Rural, Mucaba, e Chaimite, selecionadas em Elvas e que tiveram larga projeção nos campos do país. Este período ficará ainda assinalado pela divulgação de variedades altamente melhoradas, também de origem italiana, sobressaindo as seleções de Marco Michaelles, nomeadamente, Ímpeto, Campodoro, Autonomia, Mara e ainda o trigo Nazareno Strampelli obtido por Cirilo Mariani. Todo este germoplasma foi amplamente utilizado em esquemas de cruzamentos artificiais ou introduzido na lavoura. O recurso ao método de retrocruzamento convergente permitiu selecionar a cultivar Tarro, muito apreciada pelos agricultores, mas dotada de má qualidade para panificação (Barradas, 1972).

A fase seguinte caracterizou-se pela dominância de cultivares portadoras de genes de nanismo procedentes do trigo japonês Norin 10. Considera-se que o ponto de partida para este percurso terá tido a sua expressão prática com o lançamento da linha Mexicano 1481 (Barradas e Bagulho, 1966), uma linha irmã de Pitic 62, material obtido por Norman Borlaug e ligado à dinamização da Revolução Verde, que proporcionou um modelo de planta melhor ajustado aos ambientes mediterrânicos, com alta capacidade produtiva, poder de adaptação, maior resistência à acama e a algumas das raças de ferrugem negra e castanha mais prevalentes nas principais regiões produtoras portuguesas (Barradas e Bagulho, 1984; Barradas *et al.*, 1996). Esta cultivar apresentava a curiosidade de ter sido o primeiro trigo, contendo genes de Norin 10, a ser incluído numa lista de variedades recomendadas num país europeu. A partir de 1966 a EMP estabeleceu uma cooperação com o programa mexicano do CIMMYT (Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo), iniciando-se o intercâmbio de materiais, o qual se tem traduzido até à atualidade na receção quer de germoplasma em segregação, quer de linhas avançadas ou mesmo variedades comerciais que são continuamente incluídas no programa de melhoramento nacional. Esta colaboração permitiu um

avanço considerável nos trabalhos de desenvolvimento de germoplasma e na seleção de novas cultivares de cereais autogâmicos, como Siete Cerros, divulgado na lavoura a partir de 1968, atingindo grande expressão cultural, destacando-se não só pelo seu valor agronómico como pela qualidade. Porém, a elevada suscetibilidade a uma nova raça de ferrugem amarela levou à sua eliminação. Mais tarde, em 1968, uma linha avançada (LR – Norin 10B) x Andes<sup>3</sup>, que tomou o nome definitivo de Anza, pelas suas boas características, foi eleita nos sucessivos ensaios a que esteve submetida em Elvas. Em 1984, a maior percentagem de área cultivada com trigo mole era com semente certificada de Anza (Antunes e Bagulho, 1994).

Em 1982 foi criado o Catálogo Nacional de Variedades (CNV), de acordo com as normas da Comunidade Económica Europeia (CEE), aberto a materiais de todas as procedências. A EMP inscreveu, nessa altura, as variedades Caia, Mira, Degebe, Tejo, Almansor, Lima e Mondego, que revelaram prometedoras potencialidades para a agricultura e para a indústria de panificação.

Nos anos 90, o melhoramento começa a incidir na compreensão do comportamento fisiológico das plantas com o objetivo de aumentar os ganhos na produtividade das variedades. A seleção de génotipos passa a ter em consideração atributos morfofisiológicos das plantas com influência no potencial genético de produção (Maçãs *et al.*, 2011).

Acompanhando as necessidades da agricultura, inicia-se, a partir do princípio desta década uma nova fase de melhoramento nacional, como resultado do interesse crescente dos agricultores do Sul de Portugal por variedades de ciclo mais longo que possibilitassem sementeiras antecipadas. Este fenómeno refletia a preocupação dos agricultores face às limitações edafoclimáticas do ambiente mediterrânico. A compreensão e necessidade de dar respostas concretas a preocupações e solicitações por parte dos agricultores levaram a EMP a incluir, no programa de melhoramento de cereais, a realização de cruzamentos artificiais entre trigos de hábito de inverno e de primavera e a seleção de linhas com ciclo vegetativo ajustado a sementeiras antecipadas de final de outubro. Iniciou-se assim, um processo em que se selecionaram linhas com ciclo mais longo, que espigam em época conveniente e com enchimento do grão mais rápido, conduzindo à seleção de variedades de tipo facultativo. Nesta fase, são criadas novas variedades com ciclo de crescimento alternativo, com adaptabilidade a ambientes específicos e época de

sementeira flexível, nomeadamente, o Amazonas, o Jordão e o Eufrates, inscritas no CNV entre 1994 e 1996. Estas variedades ultrapassaram o Anza, variedade que se tornou bastante suscetível à septoriose da folha e à ferrugem castanha, e com características de qualidade tecnológica ultrapassada, sobretudo numa altura em que os industriais da panificação exigem farinhas com menor tenacidade e mais elásticas para o fabrico do pão (Maçãs *et al.*, 2011).

O melhoramento genético de trigo em Portugal tem tido diferentes prioridades, entre as quais o potencial genético de produção, a resistência a *stress* biótico nas primeiras fases e a adaptação às características do ambiente mediterrânico têm merecido a atenção dos melhoradores. Noutra fase, a prioridade foi reduzir a altura da palha cujos genes tiveram também efeitos positivos ao nível de outros componentes da produção, nomeadamente através do aumento do índice de colheita. Foi também muito marcada nessa época a pressão da seleção para a resistência/tolerância a *stresses* abióticos, nomeadamente a resistência à *secura*. Nestas condições sacrifica-se, muitas vezes, o potencial genético de produção para privilegiar a adaptação, não mostrando o material grande resposta aos chamados anos bons ou ao regadio. Assim, a partir dos anos 90, começou a ser introduzido o conceito de melhoramento analítico, onde os aspetos que condicionam o potencial e a sua expressão mereceram grande atenção, tendo-se traduzido na introdução de novos critérios de seleção. Conseguiram-se, assim, selecionar génotipos com grande potencial produtivo e, ao mesmo tempo, portadores de alelos de resistência/tolerância ao *stress*, capazes de dar resposta a situações de regadio ou anos com distribuição favorável das precipitações (Maçãs *et al.*, 1998). Estes materiais são também portadores de alelos de resistência às altas temperaturas durante o enchimento do grão, facto que se traduz num período mais rápido dessa fase do desenvolvimento das plantas.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Material Vegetal

Em cada ensaio foram testados 30 genótipos de trigo mole de ciclo alternativo (1<sup>a</sup> época) que se mantiveram em ensaio durante um período de tempo que variou entre dois e sete anos. Os resultados objeto de estudo do presente trabalho referem-se a um conjunto de quinze genótipos selecionados por terem permanecido simultaneamente em ensaio o maior número de anos. O número no ensaio, o código e a genealogia das linhas usadas, estão descritos no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 – Código, designação do genótipo/variedade e genealogia do germoplasma em estudo incluído nos ensaios de adaptação de trigo mole (1<sup>a</sup> época).

<b>Código</b>	<b>Genótipo</b>	<b>Genealogia</b>
EA1	(Amazonas x China)	(Amazonas x China-Advanced) x Florida 302
EA2	(Cep7780/Bow" S" x ..	(Cep7780/Bow" S" x Centauro) x Centauro
EA3	Bwd	Bwd
EA4	Eufrates	T x 71A1039 – V1*3/Ami
EA5	Hys/Cndr//Vee#5	Hys/Cndr//Vee#5
EA6	Jordão	T x 73V203*3/Ami
EA7	Ks82142/Seri	Ks82142/Seri
EA8	Kvz/Cut75/3/Ymh...	Kvz/Cut75/3/Ymh//61.1523/Drc
EA9	Mnch	Mnch
EA10	Nvsr3/5/Bez/Tvr/5/...	Nvsr3/5/Bez/Tvr/5/Cfn/Bez//Su92/C113645/3/Nai60/4/Emu/7/Katya
EA11	Sever	Caia x Sunbird
EA12	TE 9710	(Tenor x Mondego) x (Vee" S" x Mucaba)
EA13	TE 9711	(Lima x Adria) x Frandoc
EA14	TE 9902	(Almansor x Adria) x Mistura
EA15	Tx71A1039.V1*3...	Tx71A1039.V1*3/Ami//Sdy/Ok78047

O germoplasma em estudo inclui três variedades comerciais (testemunhas de comparação) obtidas em Portugal - Sever, Eufrates e Jordão - bastante divulgadas na cerealicultura nacional para sementeiras realizadas cedo, e 12 genótipos em

avaliação. Estes últimos foram selecionados de um vasto número de linhas testadas na EMP, as quais incluem: (i) genótipos obtidos por seleção de linhas segregantes provenientes de cruzamentos realizados nesta instituição; (ii) linhas recebidas da Universidade de Oregon (OSU), resultantes de cruzamentos entre germoplasma de inverno e de primavera e (iii) linhas recebidas do programa de trigos de inverno do CIMMYT (Turquia). Os critérios prevaletentes para integração destes genótipos em ensaios de adaptação incluem aspetos fenológicos, nomeadamente, datas de espigamento ajustadas e duração do ciclo vegetativo adequado para sementeiras antecipadas; aspetos ecofisiológicos, taxas de enchimento do grão elevadas que permitam escapar às elevadas temperaturas de final de ciclo, e aspetos qualitativos, nomeadamente, elevada massa do hectolitro (importante parâmetro de qualidade do trigo e um dos principais indicadores da adaptabilidade do genótipo às condições ambientais).

### **3.2 Localização dos ensaios**

Os ensaios foram instalados em Elvas, nos campos experimentais da EMP e em Mirandela, na Quinta do Valongo, local de experimentação pertencente à Direção Regional de Agricultura e Pescas do Norte (DRAP Norte), regiões representativas do sistema de cultura cerealífera do Alentejo e de Trás-os-Montes. Estes locais encontram-se descritos no Quadro 3.2, onde figuram a localização geográfica e a descrição dos solos.

Quadro 3.2 - Descrição dos locais onde foram instalados os ensaios.

Locais	Elvas (EMP)			Mirandela (Quinta do Valongo)		
	<b>Localização geográfica</b>	Latitude	Longitude	Altitude	Latitude	Longitude
	38° 54' N	07° 09' W	219 m	41° 31' N	07° 12' W	230 m
<b>Solo predominante</b>	Para-Barros (Pm – Solos mediterrânicos pardos, Para-barros de dioritos ou quartzodioritos) (Cardoso, 1965) de textura pesada, pobre em matéria orgânica e pH (H <sub>2</sub> O) ligeiramente ácido.			De origem granítica e afins, associados aos xistos e grauvaques (Cardoso <i>et al.</i> , 1978). Leptosolo dístrico órtico, com teor de argila médio, textura mediana, pobre em matéria orgânica e pH (H <sub>2</sub> O) ligeiramente ácido (Agroconsultores & Coba, 1991).		

### 3.3 Anos de ensaios

Os ensaios foram instalados no campo em sete campanhas agrícolas, nomeadamente nos anos agrícolas de 2000/2001; 2001/2002; 2003/2004; 2004/2005; 2005/2006; 2007/2008 e 2008/09. A ocorrência de precipitação constante durante o período normal de sementeira destes materiais não permitiu a instalação dos ensaios em Mirandela nos anos de 2002/2003 e 2006/07, o que explica a sua exclusão neste estudo.

### 3.4 Delineamento experimental

Cada ensaio era constituído por 30 genótipos de trigo mole distribuídos em talhões de 8,4 m<sup>2</sup>, com 2 repetições em 4 blocos completamente casualizados, conforme o esquema ilustrado na Figura 3.1.

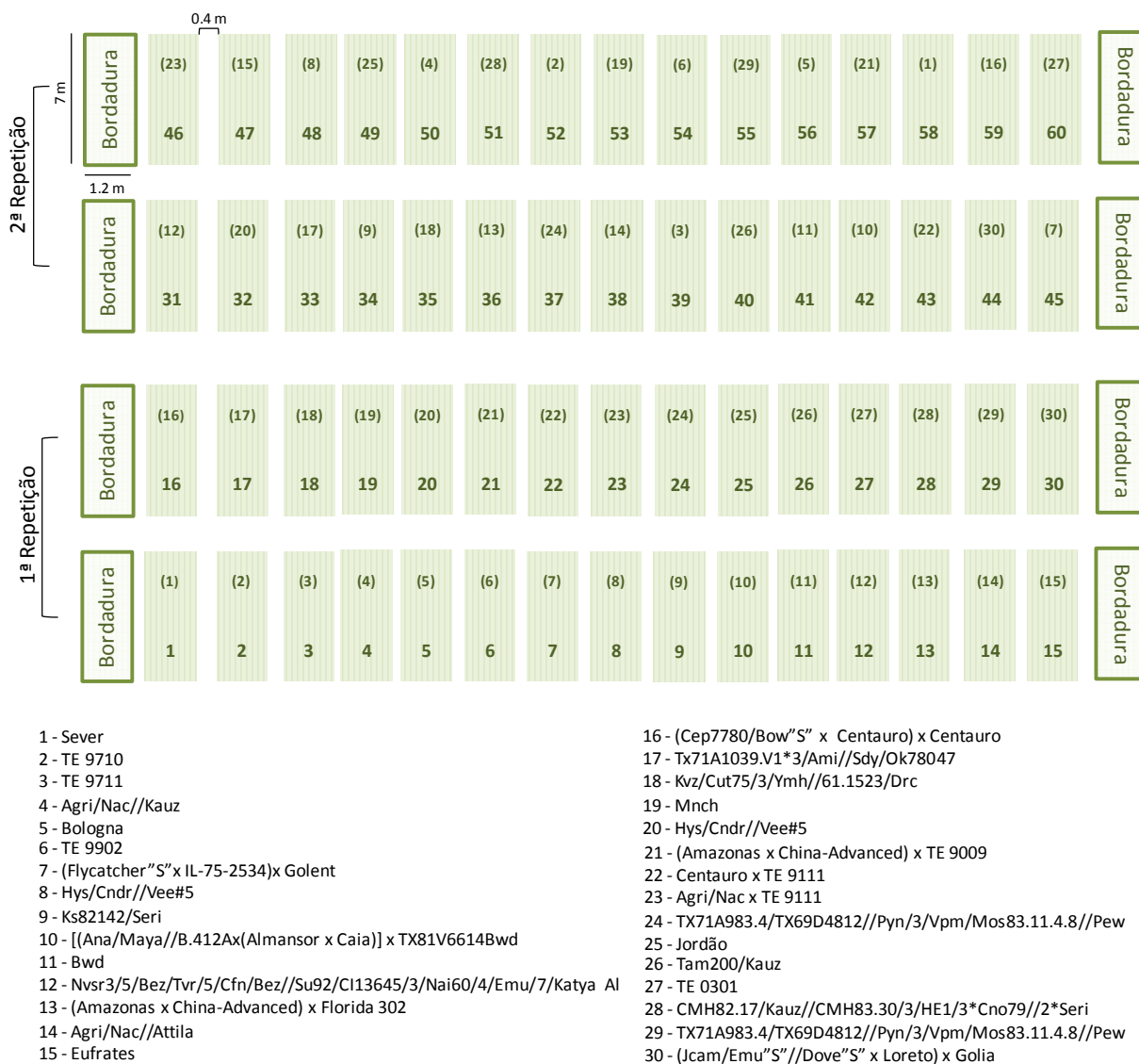


Figura 3.1 - Casualização dos ensaios de adaptação de trigo mole (1ª época). Os números de 1 a 60 correspondem ao número do talhão e de (1) a (30) correspondem ao genótipo.

### **3.5 Técnicas Culturais**

As técnicas culturais usadas na condução dos ensaios foi indicada em protocolo, tendo como objetivo que o desenvolvimento das plantas decorresse de forma o mais aproximada possível da que decorre nos campos dos agricultores.

Nos dois locais onde foram instalados os ensaios efetuaram-se mobilizações de terreno primárias com charruas de aivecas ou com escarificadores (“chisel”) na primavera ou no verão do ano agrícola anterior. A preparação da cama para a semente foi efetuada recorrendo a mobilizações superficiais com grade de discos ou escarificador e vibrocultor. Para a sementeira utilizou-se um semeador de ensaios do tipo Oyjord, com seis linhas distanciadas de 20 centímetros. Tratando-se de ensaios enquadrados no esquema de avaliação de novas linhas de cereais da EMP, a densidade de sementeira foi ajustada de acordo com o poder germinativo e com o peso de mil grãos, de modo a semear 350 grãos viáveis/m<sup>2</sup>. A aplicação de fertilizantes no que respeita a quantidades, distribuição ao longo do ciclo e ao processo de aplicação tiveram sempre por base a análise sumária da terra. No Quadro 3.3 são descritas as técnicas culturais utilizadas na condução dos ensaios.

Quadro 3.3 - Técnicas culturais aplicadas nos ensaios realizados durante os sete anos em estudo, em Elvas e Mirandela.

	2000/01		2001/02		2003/04		2004/05		2005/06		2007/08		2008/09	
	Elvas	Mirandela	Elvas	Mirandela	Elvas	Mirandela	Elvas	Mirandela	Elvas	Mirandela	Elvas	Mirandela	Elvas	Mirandela
<b>Data de sementeira</b>	17nov.00	20nov.00	31out.01	6nov.01	7nov.03	23out.03	12nov.04	8nov.04	16nov.05	24nov.05	14nov.07	12nov.07	7nov.08	17nov.08
<b>Adubação de fundo</b>	8nov.00 N-33u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -72u K <sub>2</sub> O-45u	20nov.00 N-28u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -84u K <sub>2</sub> O-84u	25out.01 N-33u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -72u K <sub>2</sub> O-45u	6nov.01 N-28u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -84u K <sub>2</sub> O-84u	5nov.03 N-32u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -90u K <sub>2</sub> O-25u	22out.03 N-28u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -84u K <sub>2</sub> O-84u	10nov.04 N-30u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -75u K <sub>2</sub> O-39u	8nov.04 N-28u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -84u K <sub>2</sub> O-84u	11nov.05 N-32u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -90u K <sub>2</sub> O-25u	24nov.05 N-28u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -84u K <sub>2</sub> O-84u	7nov.07 N-30u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -60u K <sub>2</sub> O-30u	12nov.07 N-28u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -84u K <sub>2</sub> O-84u	3nov.08 N-45u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -45u K <sub>2</sub> O-45u	17nov.08 N-28u P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -84u K <sub>2</sub> O-84u
<b>Adubação de cobertura</b>	30jan.01 N - 80u  13mar.01 N - 40u	19fev.01 N - 50u	4fev.02 N - 80u  18mar.02 N - 40u	20fev.02 N - 50u	11fev.04 N - 80u  22mar.04 N - 40u	10fev.04 N - 50u	9fev.05 N - 60u  18mar.05 N - 60u	24fev.05 N - 50u	13fev.06 N - 80u  20mar.06 N - 40u	21fev.06 N - 50u	11fev.08 N - 80u  17mar.08 N - 40u	6fev.08 N - 50u	9fev.09 N - 80u  16mar.08 N - 40u	16fev.09 N - 50u
<b>Monda pré-emergência</b>	20nov.00  Arfax 3 kg/ha (1)	21nov.00  Trigonil 3 L/ha (2)	2nov.01  Tricurán 1,6 kg/ha (3)	9nov.01  Trigonil 3 L/ha	7nov.03  Tricurán 1,6kg/ha	23out.03  Tricurán 1,5kg/ha	15nov.04  Tricurán 1,6kg/ha	11nov.04  Tricurán 1,5kg/h)	17nov.05  Tricurán 1,6kg/ha	24nov.05  Panther 2,7 L/ha (4)	15nov.07  Tricurán (1,6kg/ha)	14nov.07  Panther 2,7 L/ha	10nov.08  Trigonil 3 L/ha	20nov.08  Panther 2,7 L/ha
<b>Monda pós-emergência</b>	20fev.01  Sprinter 20 g/ha (5)		25fev.02  Granstar 15 g/ha (6)		16fev.04  Granstar 15 g/ha (6)		21fev.05  Granstar 15 g/ha (6)		9fev.06  Atlantis 400 g/ha (7)		5mar.08  Atlantis 400 g/ha		23fev.09  Atlantis 350 g/ha	
<b>Fungicida</b>	21mar.01  Tilt 0,5 L/ha (8)										19mar.08  Folicur 1 L/ha (9)		24mar.09  Folicur 1 L/ha	
<b>Inseticida</b>					5abr.04  Decis 50 ml/hl (10)									

- (1) Arfax 50 WG. Substância ativa: clortolurão 49,7% (p/p) + triassulfurão 0,3% (p/p). Herbicida de contacto e residual para aplicação em pré e pós-emergência do trigo, indicado no controlo de infestantes monocotiledóneas e dicotiledóneas.
- (2) Trigonil. Substância ativa: clortolurão (400 g/L) + diflufenicão (25 g/L). Herbicida de contacto e sistémico para aplicação em pré e pós-emergência do trigo, indicado no controlo de infestantes monocotiledóneas e dicotiledóneas.
- (3) Tricurán 64 WG. Substância ativa: clortolurão 53% (p/p) + terbutrina 10,75% (p/p) + triassulfurão 0,25% (p/p). Herbicida de contacto e residual para aplicação em pré e pós-emergência do trigo, indicado no controlo de infestantes monocotiledóneas e dicotiledóneas.
- (4) Panther. Substância ativa: diflufenicão (50 g/L) + isoproturão (500 g/L). Herbicida de contacto e sistémico para aplicação em pré e pós-emergência do trigo, indicado no controlo de infestantes monocotiledóneas e dicotiledóneas.
- (5) Sprinter. Substância ativa: tribenurão-metilo 75% (p/p). Herbicida sistémico para aplicação em pós-emergência do trigo, indicado no controlo de infestantes dicotiledóneas.
- (6) Granstar. Substância ativa: tribenurão-metilo 75% (p/p). Herbicida sistémico para aplicação em pós-emergência do trigo, indicado no controlo de infestantes dicotiledóneas.
- (7) Atlantis. Substância ativa: iodosulfurão-metilo sódio 0,6% + mesosulfurão-metilo 3% + mefenepir-dietilo 9%. Herbicida sistémico para aplicação em pós-emergência do trigo, indicado no controlo de infestantes monocotiledóneas e dicotiledóneas.
- (8) Tilt 250 C. Substância ativa: propiconazol (250 g/L). Fungicida sistémico polivalente com largo espetro de ação no combate a diversas doenças da folha e espiga do trigo.
- (9) Folicur. Substância ativa: tebuconazol (250 g/L). Fungicida sistémico de ação preventiva e curativa no combate a diversas doenças da folha e espiga do trigo.
- (10) Decis. Substância ativa: deltametrina 2,8% (p/p). Inseticida de contacto e ingestão indicado, entre outras pragas para o combate de afídios.

## **3.6 Parâmetros analisados**

### **3.6.1 Fenologia**

A data de espigamento é um parâmetro de grande importância na adaptação dos genótipos a diferentes locais, tendo grande influência na determinação da produção, sob condições normais. Corresponde à data em que 50% das espigas se encontram fora da bainha da folha bandeira. Para o cálculo do número de dias ao espigamento os dias são contados desde a sementeira (ou emergência) até ao espigamento. Neste estudo, os dias foram contados a partir da data de sementeira.

A data da ântese corresponde à data em que as anteras estão visíveis nas espiguetas, em 50% das plantas do talhão. No caso dos trigos (moles e rijos) e nas nossas condições ambientais, ocorre cerca de 3 a 5 dias após a data de espigamento.

A data da maturação fisiológica é assinalada quando 50% das plantas possuem uma cariopse dura, não se deixando vincar pela unha.

O período do enchimento do grão, equivale ao número de dias entre a data da ântese e a data da maturação fisiológica.

### **3.6.2 Produção, massa do hectolitro e peso de mil grãos**

Os valores da produção de grão resultam da pesagem do grão, obtido após a debulha da área total do talhão (8,4m<sup>2</sup>), de acordo com a equação:

$$\text{Produção de grão (kg/ha)} = \text{Peso do grão do talhão (kg)} \times 10\,000 \text{ m}^2 / 8,4\text{m}^2$$

O parâmetro massa do hectolitro equivale ao peso específico do grão. Determinou-se através do peso de um volume de grão, recorrendo a um citómetro eletrónico do tipo *Kern*. É expresso em kg/hl.

Para a determinação do peso de 1000 grãos (PMG) foi usado um contador de grãos *Numigral*. Pesou-se a amostra dos 1000 grãos com uma balança de precisão. Os valores são expressos em gramas.

### **3.6.3 Análise estatística dos dados**

A análise estatística foi realizada com o *software* MSTAT-C (Microcomputer Statistical Program) desenvolvido pela Michigan State University. Sendo específico para programas de melhoramento, permite não só a criação de desenhos experimentais, como também a gestão e análise dos dados agronómicos obtidos nos ensaios.

Os dados foram analisados estatisticamente, recorrendo a análise de variância (ANOVA) de fator simples e duplo. Avaliaram-se as diferenças entre as produções e as massas de hectolitro dos genótipos nos dois locais (Élvas e Mirandela) durante os sete anos em estudo, e ainda a interação entre os genótipos e os anos (G x A) para cada um dos locais, e a interação entre os genótipos e os locais (G x L) para cada um dos sete anos em estudo.

A adaptabilidade e a estabilidade foram analisadas pelo método proposto por Finlay e Wilkinson (1963), com base nos coeficientes de regressão de cada genótipo em relação ao índice ambiental, para cada ano e em cada local, no período de 7 anos.



## **4. Resultados e discussão**

### **4.1 Dados climáticos referentes aos anos agrícolas em que decorreram os ensaios em estudo**

#### **4.1.1 O ambiente em Portugal**

A importância em descrever o padrão ambiental que caracteriza a zona mediterrânica, advém da influência que as irregularidades de um clima deste tipo exercem na produção de cereais (Bagulho, 1996; Almeida, 2007). Esta influência introduz graves limitações à expressão regular de elevados rendimentos nestas culturas. Assim, a caracterização do clima da região onde uma determinada cultura se desenvolve torna-se importante, para decidir corretamente quais as características da planta e que tipos de respostas são favoráveis para a obtenção de variedades com comportamento ajustado ao ambiente (Almeida, 2007).

Na classificação climática desenvolvida por W. Köppen em 1936, Portugal está enquadrado nos climas temperados (tipo C), na subdivisão mediterrânica ou subtropical seca (subtipo Cs). Caracteriza-se por expressar clima com verão quente e seco, (variante Csa) e verão seco e suave (variante Csb), com chuvas concentradas na estação fria, e inverno moderado; representa o que Feio (1991) designa por uma especialidade do clima mediterrânico, uma raridade, ocupando apenas 2% das terras emersas do mundo, as quais representam cerca de 10 – 15% da produção total de trigo a nível mundial (Loss e Siddique, 1994). Apesar de Portugal continental estar no seu todo incluído num mesmo tipo de clima, há diferenças substanciais entre as regiões; com maior influência atlântica a parte noroeste, com mais forte continentalidade o interior do país. Porém, é a Sul do Tejo que são mais vincadas as características do clima mediterrânico (Bagulho, 1996).

Entre os diversos acidentes comuns a este tipo de clima, alguns podem afetar gravemente as produções de cereais, constituindo assim para estas culturas verdadeiros stresses.

São particularmente preocupantes para a agricultura de sequeiro, os seguintes aspetos que constituem os principais *stresses* para o desenvolvimento do ciclo cultural dos cereais:

- A elevada imprevisibilidade na ocorrência dos fenómenos meteorológicos;
- A distribuição errática e irregular das chuvas ao longo do ano, havendo acumulação das precipitações durante o inverno (causando por vezes graves problemas de encharcamento);
- Possibilidade de ocorrência de geadas tardias (fase de floração/ântese);
- Temperaturas máximas elevadas, baixas amplitudes térmicas e forte evaporação num período crítico para as plantas (durante a fase de enchimento do grão);
- Grande probabilidade de carência hídrica no final do ciclo das culturas.

O clima mediterrânico, só por si, condiciona as características e modelos de plantas. Uma resistência satisfatória ao frio invernal durante o afilamento e o crescimento intercalar, uma floração relativamente tardia e uma maturação rápida, constituem trunfos importantes para se obter um rendimento regular do trigo em regiões mediterrânicas semiáridas (Baldy, 1992).

Na Figura 4.1 podem observar-se as zonas do mundo onde este tipo climático está presente. Distribui-se por toda a parte Sul/Sudoeste da Europa, Norte de África, Califórnia, Chile, África do Sul e Sul de Austrália.

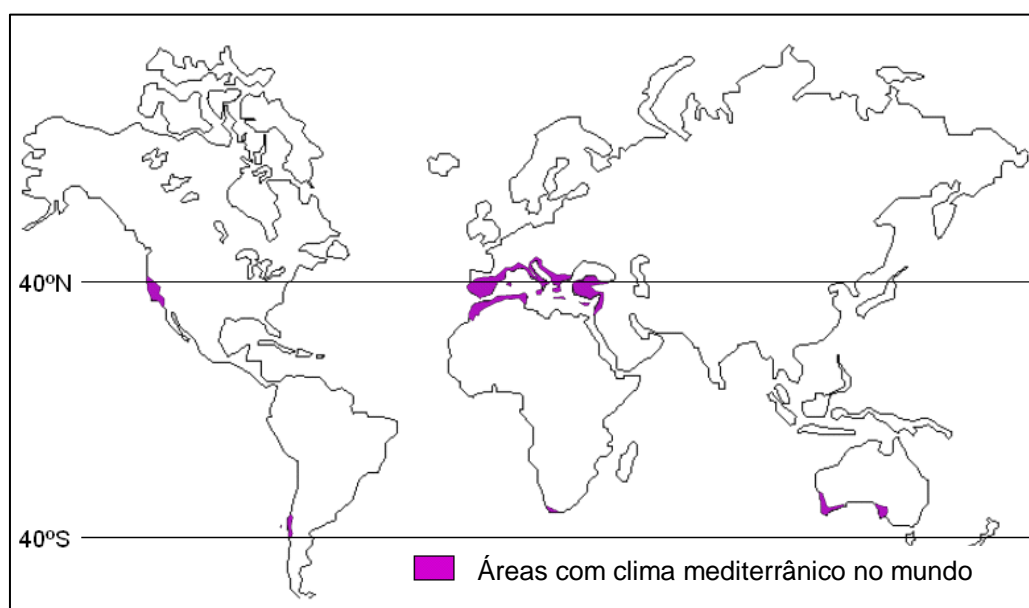


Figura 4.1 - Distribuição dos ambientes mediterrânicos no mundo. (Fonte: Wikipedia, 2012).

#### **4.1.2 Dados climáticos de Elvas nos anos agrícolas 2000/2001 a 2008/2009**

O clima predominante na região de Elvas, clima do tipo Mediterrânico, caracteriza-se por ter um verão quente e seco e um inverno chuvoso com temperaturas moderadas. As chuvas vão de meados de outono até princípios da primavera, e como os invernos não são muito frios é possível o desenvolvimento da maior parte das culturas neste período; a primavera é muito curta e excessivamente irregular quanto a chuvas. No verão regista-se sempre deficiência de água para as culturas. O período de ocorrência de geadas é excecionalmente longo e o número de horas de sol descoberto é elevado.

Segundo dados do Instituto de Meteorologia referentes ao período normal 1971-2000, em Elvas, verifica-se que a temperatura média anual é de 16,3°C, sendo o mês de julho o mais quente, com uma temperatura média de 25,1°C e o mês de janeiro o mais frio com uma temperatura média de 8,6°C. Durante os meses de março a Junho (período de enchimento do grão do trigo) a média da temperatura máxima diária situa-se acima dos 22°C. Entre novembro e Fevereiro a média da temperatura mínima diária é de 5,4°C. Anualmente registam-se, em média, 535,4 mm de precipitação, sendo os meses de novembro e dezembro os de maior precipitação (75,1 mm e 92,6 mm, respetivamente) e julho e agosto os meses com menor precipitação (4,8 mm e 2,6 mm, respetivamente). Anualmente, 66 dias apresentam precipitação igual ou superior a 1 mm.

Em Elvas ocorrem em média 38 dias com geada durante um período que vai de novembro a abril, sendo os meses de dezembro e janeiro os de maior incidência (10,7 e 12,4 dias, respetivamente).

A insolação média anual é de 2795 horas, sendo julho o mês com mais horas de sol descoberto (366,6 h) e dezembro o mês com menor quantidade (129,4 h) (Peneda, 2009).

Os dados climáticos apresentados na Figura 4.2 e na Figura 4.3 foram obtidos a partir de registos efetuados no posto meteorológico da EMP, durante o período de 2000/01 a 2008/09 e são elucidativos do que foi descrito sobre o clima da região, nomeadamente no que diz respeito à distribuição errática das chuvas de ano para ano (Figura 4.2), e às temperaturas elevadas que se verificam a partir de março

(Figura 4.3), altura em que ocorrem o espigamento, a ântese e o início da formação do grão.

Nos anos de 2000/01, 2003/04 e 2006/07 registaram-se em Elvas valores elevados de precipitação de inverno (583 mm, 458 mm e 468 mm, respetivamente). Nos restantes anos não se verificaram diferenças marcadas em relação aos valores do período normal 1971-2000 (344 mm). Quanto à precipitação de primavera, apenas o ano de 2000/01 (173 mm) e o de 2005/06 (179 mm) apresentaram uma ligeira subida em relação ao referenciado no período normal (158 mm) (Figura 4.2).

A média das temperaturas máximas de março a julho ocorrida em Elvas, no mesmo período (2001 a 2009), foi na maioria dos anos (2001, 2002, 2003, 2005 e 2009) superior à do ano normal. Nos anos de 2004, 2006, 2007 e 2008 registaram-se médias de temperaturas máximas semelhantes aos valores normais (Figura 4.3).

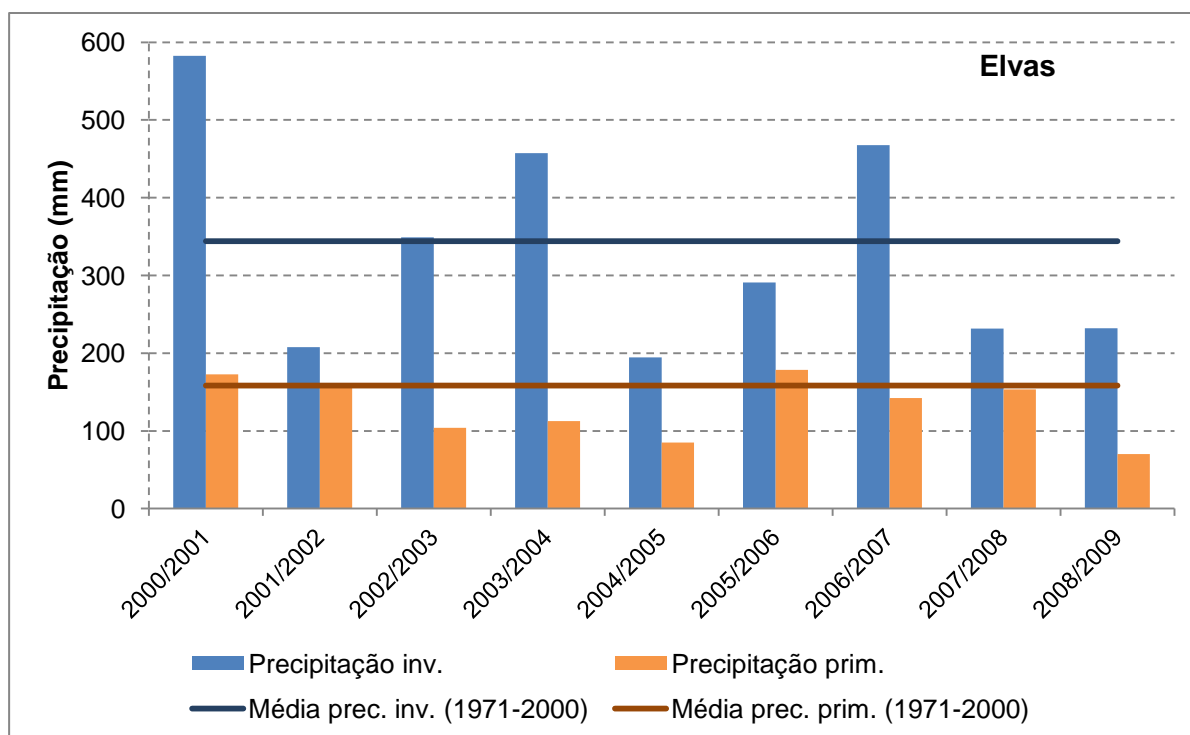


Figura 4.2 - Precipitação de inverno (outubro a fevereiro) e de primavera (março a junho), em Elvas no período de 2000/2001 a 2008/2009. As linhas horizontais indicam a média da precipitação do período normal 1971-2000.

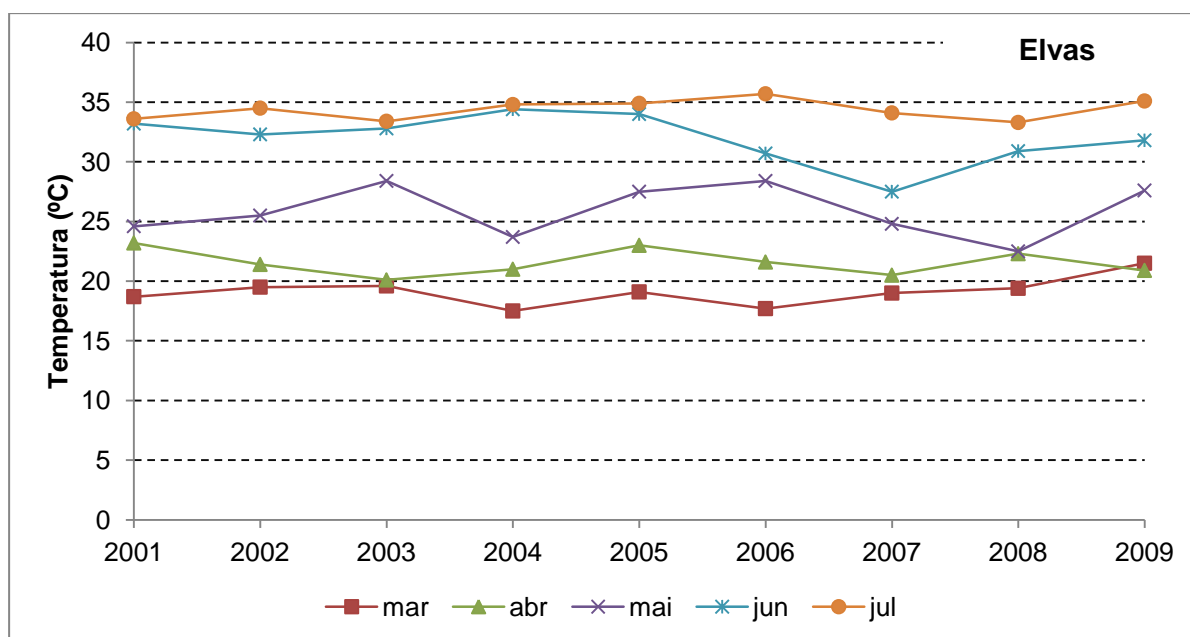


Figura 4.3 - Temperatura média das máximas dos meses de março a julho em Elvas para o período de 2001 a 2009.

#### 4.1.3 Dados climáticos de Mirandela nos anos agrícolas 2000/2001 a 2008/2009

Nesta região transmontana situada no vale e bacia do Alto Douro e conhecida como “Terra Quente”, as elevadas temperaturas estivais contrastam com o frio invernal, altura do ano em que ocorrem bastantes geadas. Os valores normais do período 1951-1980, utilizados como referência na caracterização climatológica desta região, com precipitações médias na ordem dos 500 mm, concentradas no período decorrente entre outubro e março, invernos com temperaturas médias de 6 – 7° C e verões com valores médios de 22 – 24° C, caracterizam o padrão climático de Mirandela (Correia e Martins, 2012), perfeitamente enquadrado no tipo de clima mediterrânico de verão quente (CSa).

Os dados que se apresentam na Figura 4.4 e na Figura 4.5 foram registados no posto meteorológico situado em Mirandela (Quinta do Valongo) e dizem respeito aos anos em que ali foram instalados os ensaios de adaptação objeto de estudo neste trabalho. Observou-se a ocorrência de elevada pluviosidade durante o inverno de 2000 e a primavera de 2001, o que originou um afastamento dos valores normais da época para esta região. Por sua vez, nos anos de 2003/04, 2004/05, 2005/06,

2007/08 e 2008/09 registaram-se valores de precipitação de inverno e de primavera inferiores aos valores médios da normal climatológica (297 mm e 175 mm, respetivamente (Figura 4.4). No que diz respeito à análise da temperatura, e com exceção do ano de 2005 que apresentou uma ligeira subida, Mirandela registou, nos restantes anos de ensaios, temperatura média das máximas dos meses de março a julho idênticas aos valores da normal climatológica da região (Figura 4.5).

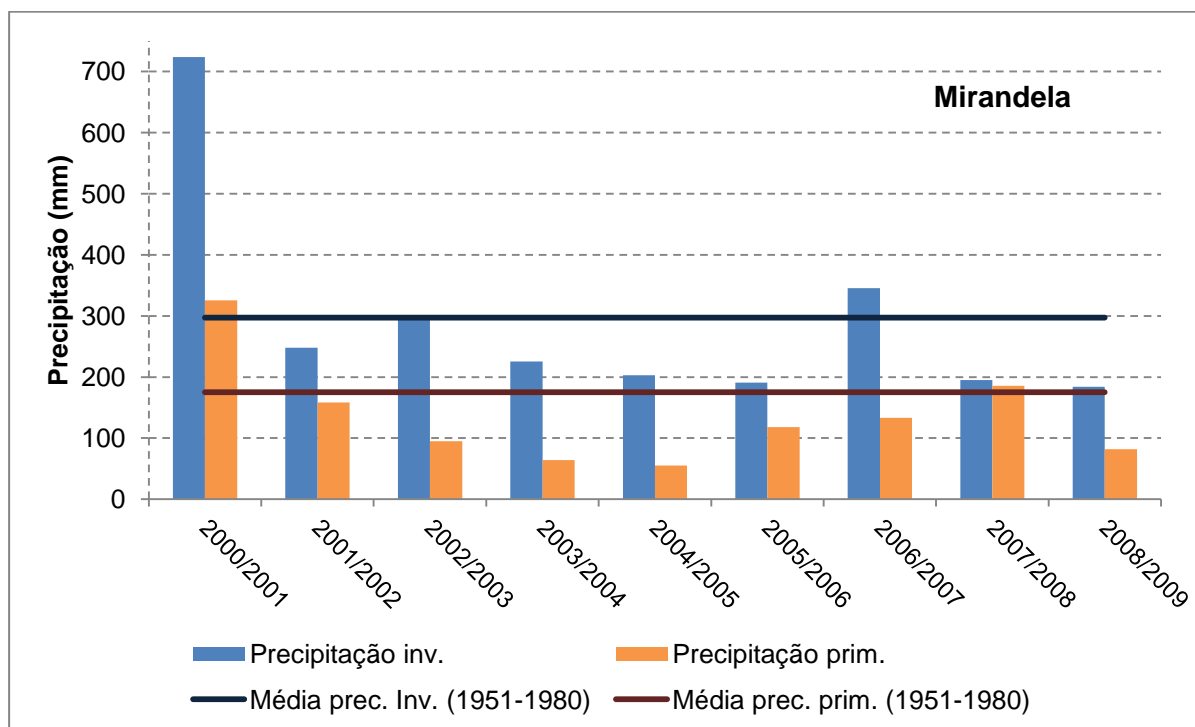


Figura 4.4 - Precipitação de inverno (outubro a fevereiro) e de primavera (março a junho) em Mirandela para o período de 2000/2001 a 2008/2009. As linhas horizontais indicam a média da precipitação do período normal climatológico 1951-1980.

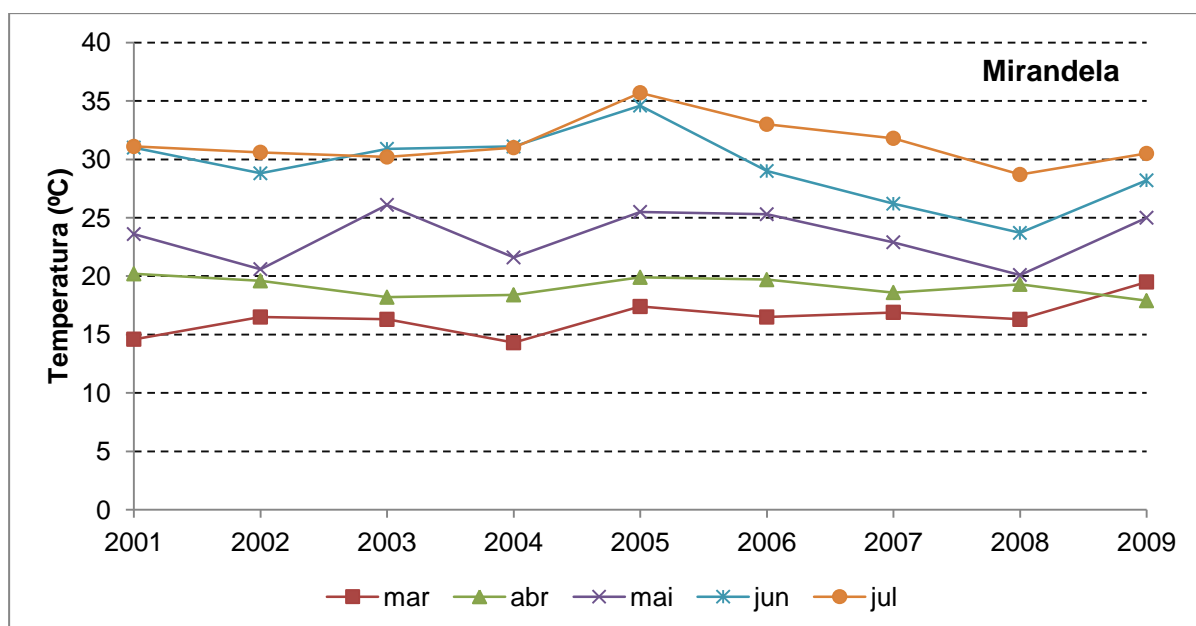


Figura 4.5 - Temperatura média das máximas dos meses de março a julho em Mirandela para o período de 2001 a 2009.

## 4.2 Fenologia

As temperaturas mais elevadas a que os genótipos estiveram sujeitos, no início da primavera, nos ensaios de Elvas (Figura 4.3) anteciparam as datas de espigamento, em todos os anos agrícolas.

Comparando os diferentes anos, o número de dias entre a sementeira e o espigamento é marcadamente superior em Mirandela (166 dias), relativamente a Elvas (141 dias). No ano agrícola de 2003/04, em que ocorreram temperaturas médias das máximas mais baixas durante os meses de março, abril e maio (Figura 4.3 e Figura 4.5), verificaram-se períodos longos entre a sementeira e o espigamento (Quadro 4.1, Quadro 4.2 e Figura 4.7).

Aos espigamentos mais tardios observados nos ensaios de Mirandela comparativamente a Elvas (166 dias e 141 dias, respetivamente) seguiram-se períodos mais curtos de enchimento do grão (47 dias em Mirandela e 57 dias, em Elvas).

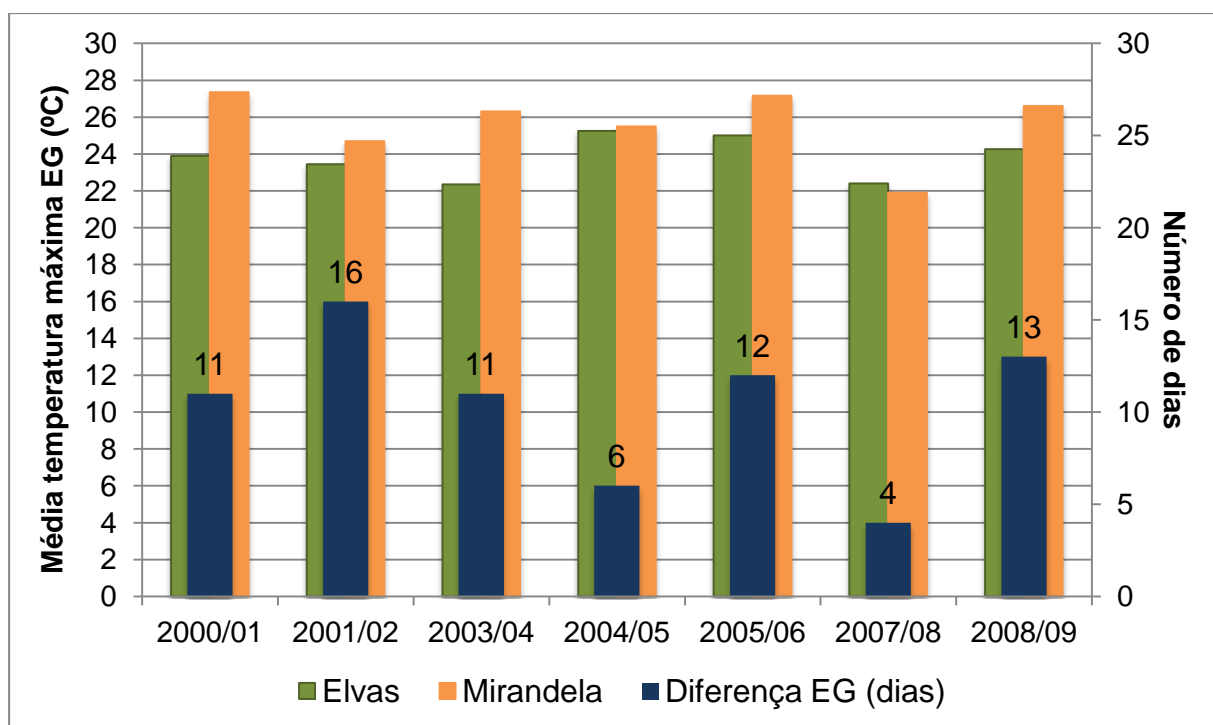


Figura 4.6 – Média das temperaturas máximas durante o período de enchimento do grão (EG) em Elvas e Mirandela e diferença entre o número de dias do mesmo período entre Elvas (período mais longo) e Mirandela.

O prolongamento do ciclo da cultura até ao espigamento em Mirandela implicou que o período de enchimento do grão ocorresse com temperaturas máximas mais elevadas (Maio e Junho) nesta região comparativamente a Elvas (Figura 4.6). Esta diferença terá encurtado a duração do período de enchimento do grão em Mirandela. Na figura 4.6 é possível observar que nos anos em que os valores das médias das temperaturas máximas em Elvas e Mirandela são muito próximos, a diferença entre a duração dos períodos de enchimento do grão que se registou nas duas regiões é pequena (2004/05 e 2007/08). Estes resultados estão de acordo com vários autores (Wiegand e Cuellar, 1981; Maçãs, 1996; Almeida, 2007) referem que temperaturas elevadas no final do ciclo de desenvolvimento do trigo, que ocorrem com frequência no Sul de Portugal durante esta fase, encurtam significativamente o período de enchimento do grão

Quadro 4.1 – Dados fenológicos - número de dias ao espigamento (Esp) e período de enchimento do grão (EG) em dias - dos ensaios realizados em Elvas para os anos em estudo.

Elvas	2000/01		2001/02		2003/04		2004/05		2005/06		2007/08		2008/09		Genótipo			
	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Espigamento		EG	
															Média	CV (%)	Média	CV (%)
EA1	131	60	140	67	138	63	141	51	142	49	142	56	143	59	140	2,95	58	11,04
EA2	126	64	133	72	136	65	139	51	138	52	140	58	142	60	136	3,94	60	12,37
EA3	137	55	154	57	153	51	145	48	148	45	145	54	150	54	147	3,93	52	8,16
Eufrates	127	63	141	67	143	58	139	51	140	51	143	55	147	56	140	4,50	57	10,41
EA5	130	61	144	65	136	65	143	50	140	51	143	56	149	54	141	4,38	57	10,96
Jordão	137	55	148	62	148	54	144	49	141	50	145	54	151	53	145	3,27	54	7,84
EA7	135	56	146	63	148	54	144	49	145	47	146	53	154	51	145	3,89	53	9,85
EA8	127	63	141	66	134	66	141	51	138	52	141	57	141	61	138	3,89	59	10,50
EA9	126	64	140	67	136	65	144	49	138	52	140	58	143	59	138	4,35	59	11,44
EA10	126	64	140	67	134	66	140	50	141	50	143	55	146	57	139	4,78	58	12,45
Sever	122	68	135	70	135	65	139	51	137	53	140	58	142	60	136	4,85	61	12,05
EA12	124	66	139	68	137	64	140	50	138	52	142	56	141	61	137	4,44	60	11,78
EA13	124	66	142	66	138	63	141	51	138	52	142	56	145	58	139	4,96	59	10,68
EA14	128	63	139	68	139	62	141	51	137	53	144	54	148	55	139	4,48	58	10,90
EA15	147	48	152	58	154	50	143	50	147	46	145	55	151	53	148	2,69	51	8,08
Ano Média	130	61	142	66	141	61	142	50	141	50	143	56	146	57	141		57	
CV (%)	2,12	8,81	4,03	6,21	4,88	9,43	1,46	1,98	2,54	5,02	1,39	2,85	2,86	5,75				

A análise detalhada dos Quadro 4.1, Quadro 4.2 e Figura 4.7 permite verificar que a variedade Sever, uma das testemunhas utilizadas, foi a variedade que espigou mais cedo, em ambos os locais (Elvas e Mirandela), confirmando-se assim como variedade de ciclo semi precoce. As outras duas variedades testemunha, Eufrates e Jordão, identificadas como semi tardias, manifestaram-se em conformidade, nos dois ambientes distintos, tendo sido Jordão a que apresentou o ciclo vegetativo mais longo (Quadro 4.1 e Quadro 4.2).

É possível ainda constatar que o genótipo EA15 foi quem necessitou de mais dias para espigar, com valores médios mais elevados em Mirandela (169 dias), contra os 148 dias registados em Elvas (Quadro 4.1 e Quadro 4.2).

Analisando os dados relativos ao período do enchimento do grão, constata-se que as diferenças entre os genótipos no ensaio de Elvas (Quadro 4.1) são mais acentuadas do que as observadas no ensaio de Mirandela (Quadro 4.2) sendo que, como referido anteriormente, os genótipos em Elvas necessitaram de mais 10 dias, em média, para completarem este período e de 26 dias na totalidade do ciclo.

Quadro 4.2 – Dados fenológicos - número de dias ao espigamento (Esp.) e período de enchimento do grão (EG) em dias - dos ensaios realizados em Mirandela para os anos em estudo.

Mirandela	2000/01		2001/02		2003/04		2004/05		2005/06		2007/08		2008/09		Genótipo			
	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Esp	EG	Espigamento		EG	
															Média	CV (%)	Média	CV (%)
EA1	150	50	170	57	186	51	165	47	156	41	159	53	158	47	163	7,24	49	10,31
EA2	150	50	175	48	183	56	165	45	155	38	159	49	160	46	164	7,05	47	11,54
EA3	154	47	176	48	193	44	169	43	156	41	162	46	158	50	167	8,32	46	6,81
Eufrates	146	54	172	53	186	52	164	48	156	35	159	55	160	45	163	7,80	49	14,45
EA5	150	50	176	49	188	50	171	43	160	35	162	50	162	41	167	7,44	45	13,09
Jordão	158	43	175	49	189	49	168	44	159	40	162	52	160	43	167	6,76	46	9,43
EA7	162	40	175	50	189	48	169	45	159	40	162	52	163	40	168	6,26	45	11,40
EA8	150	50	175	50	189	49	169	43	159	40	159	51	158	45	166	7,94	47	9,01
EA9	148	53	175	50	187	51	169	43	159	38	159	55	163	45	166	7,64	48	12,68
EA10	150	50	175	49	186	51	169	43	157	44	159	53	160	48	165	7,44	48	7,54
Sever	144	56	170	51	181	51	162	49	155	38	157	55	158	42	161	7,31	49	13,55
EA12	140	60	175	49	184	54	172	42	159	34	162	52	163	40	165	8,51	47	19,10
EA13	146	54	176	48	184	50	171	43	159	34	162	52	163	42	166	7,48	46	15,04
EA14	148	52	174	50	189	49	169	45	159	40	159	55	160	47	165	8,03	48	10,13
EA15	162	40	176	50	193	46	172	43	161	38	159	55	163	44	169	7,15	45	12,94
Ano Média	151	50	174	50	187	50	168	44	158	38	160	52	161	44	166		47	
CV (%)	4,12	11,21	1,16	4,62	1,82	5,82	1,78	4,72	1,21	7,55	1,07	4,99	1,28	6,75				

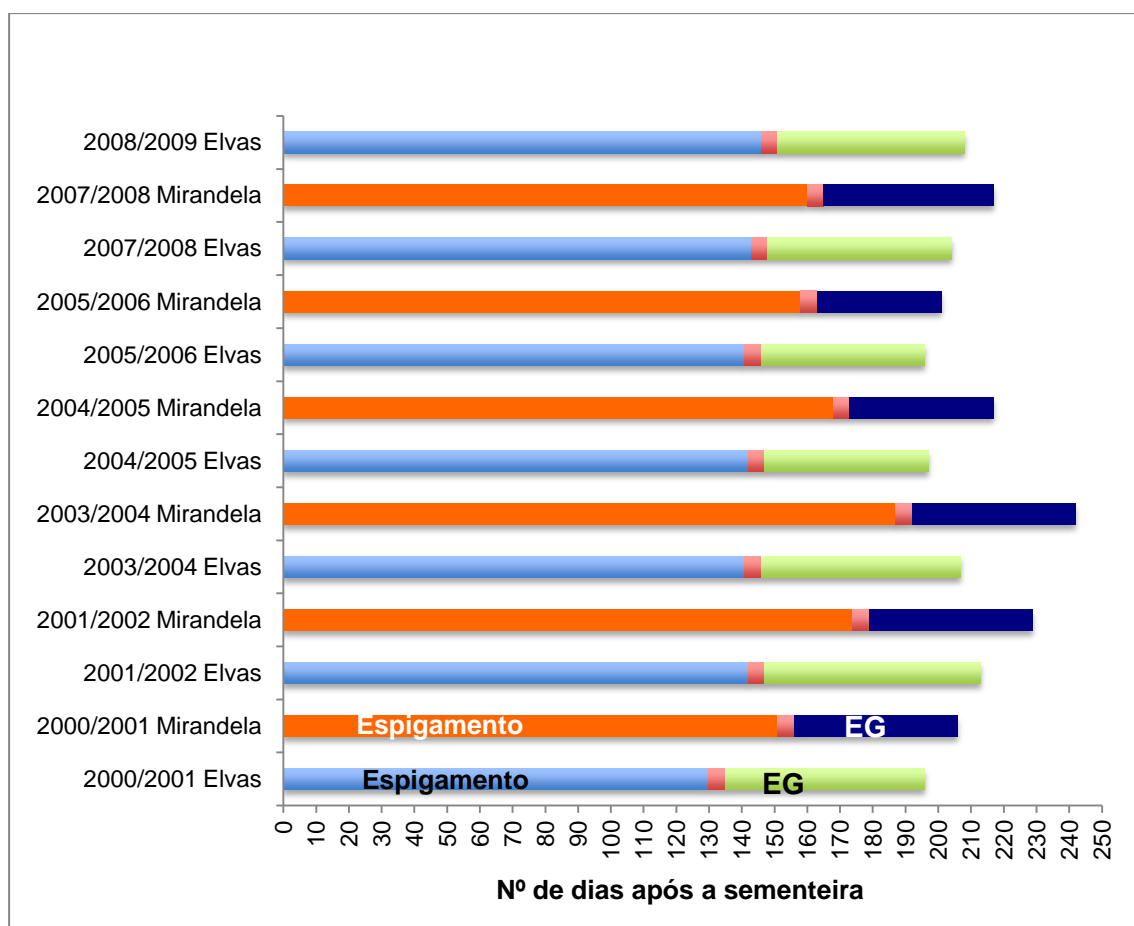


Figura 4.7 – Comparação entre os valores médios do número de dias da sementeira ao espigamento e do período de enchimento do grão (EG) em cada local (Elvas e Mirandela) para os anos em estudo.

Observam-se coeficientes de variação mais elevados no parâmetro enchimento do grão do que no parâmetro espigamento (Quadro 4.1 e Quadro 4.2), o que revela que a duração do ciclo até ao espigamento é mais regular e mais estável, por ser uma característica determinada pelo genótipo, enquanto a duração do período de enchimento do grão pode ser mais afetada por fatores ambientais, nomeadamente pela temperatura.

Constata-se também que a média dos coeficientes de variação para o número de dias até ao espigamento no ensaio de Elvas (4,09%) é inferior ao do ensaio de Mirandela (7,49%), enquanto no período de enchimento do grão não se verifica uma diferença marcada entre a média obtida nos dois locais, que é de 10,57% e de 11,80%, respetivamente (Quadro 4.1 e Quadro 4.2).

## 4.3 Produção, massa do hectolitro e peso de mil grãos

### 4.3.1 Produção

Sendo a produção o resultado da resposta genotípica aos fatores ambientais (Srivastava, 1987), ou seja, o produto integrado da expressão do genótipo num dado ambiente, o conhecimento do ambiente local no que respeita aos *stresses* bióticos e abióticos, as suas intensidades e a frequência com que ocorrem nos diferentes estádios de desenvolvimento do trigo é determinante para se escolherem os progenitores capazes de proporcionar uma adequada base genética e o método mais conveniente de seleção. Neste contexto, a definição do que se pode considerar ambiente favorável ou desfavorável e os *stresses* que lhe estão associados, afetam as decisões no que diz respeito às estratégias e metodologias de melhoramento (Singh *et al.*, 2007).

A ampla adaptação de variedades em ambientes caracterizados por *stresses* diferenciados pode custar à planta algum “sacrifício” que se expressa numa menor produção por hectare. Contudo, a criação de genótipos para ambientes com exigências específicas pode levar à obtenção de linhas melhor adaptadas (Pinheiro, 2001). Apesar de haver diversas opiniões sobre qual a melhor metodologia a seguir, (Anderson, 1992, Blum, 1985, Ceccarelli, 1989 e 1994), o objetivo primeiro de um programa de melhoramento vegetal consiste na produção e seleção de genótipos que melhor respondam ao ambiente no seu todo e a hipótese de sacrificar uma ampla adaptação em favor da adaptação específica que melhor responda aos constrangimentos prevaletentes que limitam quer a produção quer a estabilidade desta ao longo dos anos, parece ser uma opção realista (Srivastava, 1987).

A resposta fenotípica da produção e de outros parâmetros analisados tem a ver com as diferenças genéticas (genótipo) existentes entre as diferentes linhas avançadas e com a interação do genótipo com o ambiente. Para estimar esta resposta (G x E), os melhoradores desenvolveram sistemas de ensaios multilocais e multianuais, como a rede de ensaios de adaptação descrita no presente estudo, onde a estabilidade de um dado genótipo pode ser avaliada, por exemplo, através de uma análise de regressão conjunta ou em função do fator ambiental com influência determinante na produção (Maçãs, 1996).

Os resultados das produções obtidas nos dois locais (Elvas e Mirandela) durante os sete anos agrícolas em estudo, estão expressos nos Quadro 4.3 e Quadro 4.7.

Quadro 4.3 – Produção média (kg/ha) dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Elvas para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio (índice ambiental).

Genótipo	2000/01	2001/02	2003/04	2004/05	2005/06	2007/08	2008/09	Média Genótipo
EA1	5381	5108	6538	4233	6547	4231	3473	5073
EA2	5832	2262	5353	3402	8728	3976	3431	4712
EA3	5250	5129	6131	2949	6272	3609	3265	4658
Eufrates	4213	4440	6328	2775	7078	4249	3548	4662
EA5	3705	4365	4334	3402	6854	3466	2983	4158
Jordão	6031	5494	3790	3790	7183	3788	2822	4700
EA7	3575	3832	5124	3609	6710	3788	3269	4272
EA8	7062	6177	6294	3472	6639	3634	3458	5248
EA9	4436	3720	5109	3183	6403	3369	3359	4226
EA10	1941	2059	7324	2683	7159	3928	3424	4074
Sever	3465	3460	5864	3049	6981	4124	3478	4346
EA12	3307	4019	6419	3051	7286	4012	3803	4557
EA13	4308	4641	6388	2964	6990	3485	3594	4624
EA14	3304	4956	6208	3056	6867	3422	2701	4359
EA15	6429	6431	5448	2851	5041	3994	2944	4734
<b>Média Ano</b>	<b>4496</b>	<b>4404</b>	<b>5687</b>	<b>3242</b>	<b>6849</b>	<b>3784</b>	<b>3284</b>	<b>4535</b>
<b>Desvio Padrão</b>	1586	1390	1045	776	891	373	417	
<b>Erro Padrão</b>	280	246	185	137	158	66	74	
<b>Mínimo</b>	958	1849	2678	1992	4474	3094	2040	
<b>Máximo</b>	7815	7308	7456	4840	8819	4519	4061	
<b>Média 30 genótipos</b>	4450	4327	5869	3354	7224	3852	3246	

Da análise do Quadro 4.3 verifica-se que em Elvas o valor mais elevado de produção foi atingido no ensaio instalado em 2005/06, ano caracterizado pela maior quantidade de precipitação caída nos meses de primavera (180 mm, Figura 4.2) e pela ocorrência de temperaturas suaves durante os meses de março e abril (Figura 4.3). A média geral da produção de grão obtida, neste ano, pelos 30 genótipos foi de 7224 kg/ha, tendo o genótipo EA2 obtido o valor mais elevado (8728 kg/ha).

Nos ensaios dos anos agrícolas 2004/05 e 2008/09, nos quais ocorreram condições meteorológicas adversas durante o período primaveril (temperaturas elevadas e

escassa precipitação, Figura 4.2 e Figura 4.3), as produções foram as mais baixas dos anos em estudo (3354 kg/ha e 3246 kg/ha, respetivamente).

Conforme relata Kolderup (1975), a temperatura ótima para o período que vai da ântese até à maturação fisiológica, com vista à obtenção de boas produções, deve situar-se nos 16º C. Wardlaw e Wrigley (1994) referem que, a partir desta, ocorre diminuição do rendimento de grão na ordem de 3 a 4% por cada grau Celsius de aumento. Khanna-Chopra e Viswanathan (1999) constataram reduções de aproximadamente 34% na produção quando compararam ambientes sem e com stresses térmicos. Segundo estes autores, as temperaturas elevadas afetam vários aspetos relacionados com a produção das plantas de trigo, nomeadamente aceleração na senescência, aumento da respiração, redução da fotossíntese e inibição da síntese de amido no grão. No presente estudo destacou-se o genótipo EA8 que, no conjunto dos sete anos de ensaios em Elvas, apresentou os melhores resultados médios (5248 kg/ha). Contrariamente, o genótipo EA10 revelou o pior comportamento no que diz respeito à produção (4074 kg/ha).

Os valores mencionados no Quadro 4.4 e no Quadro 4.8 representam a comparação da produção média dos anos de ensaio para cada genótipo em Elvas e Mirandela, respetivamente.

Quadro 4.4 – Análise de variância fator único (ano). Significância da diferença entre as produções obtidas nos 7 anos em estudo, para cada genótipo em Elvas. \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.

Variedade	p	Significância
EA1	0,0120	*
EA2	0,0002	***
EA3	0,0030	**
Eufrates	0,0163	*
EA5	0,0011	**
Jordão	0,1009	ns
EA7	0,0030	**
EA8	0,0031	**
EA9	0,0011	**
EA10	0,0001	***
Sever	0,0135	*
EA12	0,0139	*
EA13	0,0216	*
EA14	0,0164	*
EA15	0,0052	**

Excetuando a variedade Jordão, que no decorrer dos anos de ensaio não apresenta diferenças significativas para a produção, todos os outros genótipos diferem significativamente quanto a este parâmetro. Os valores apresentados no Quadro 4.5 e no Quadro 4.9 resultaram da análise efetuada quando se comparou a produção dos quinze genótipos em cada um dos sete anos de ensaios realizados em Elvas e em Mirandela.

Quadro 4.5 – Análise de variância fator único (genótipo). Significância da diferença entre as produções obtidas nos 15 genótipos em estudo, para cada ano, em Elvas. \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; ns-não significativo.

	00/01	01/02	03/04	04/05	05/06	07/08	08/09
<b>p</b>	0,0182	0,0176	0,0030	0,9289	0,0559	0,1802	0,3561
<b>Significância</b>	*	*	**	ns	ns	ns	ns

Nos ensaios realizados em Elvas nos anos de 2000/01, 2001/02 e 2003/04, a produção foi significativamente diferente entre genótipos ( $p \leq 0,05$  e  $p \leq 0,01$ ). Nos restantes anos a produção não apresentou diferenças significativas entre genótipos, tendo atingido em 2005/06 a média mais elevada (Quadro 4.5), devido, possivelmente, às condições meteorológicas favoráveis verificadas nos meses de primavera. A ausência de significância verificada nos anos de 2004/05, 2007/08 e 2008/09 deve-se provavelmente às baixas produções atingidas por todos os genótipos em anos de condições meteorológicas adversas.

Quadro 4.6 – Anova fator duplo (genótipo e ano) da produção para os quinze genótipos nos sete anos de ensaio efetuados em Elvas. \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	Signif	F crítico
<b>Genótipo</b>	21159775	14	1511412	2,531172	0,003734	**	1,7870786
<b>Ano</b>	319772114	6	53295352	89,254072	6,03538E <sup>-39</sup>	***	2,1861345
<b>Interação G x A</b>	127620224	84	1519288	2,544362	3,33554E <sup>-06</sup>	***	1,4028515
<b>Dentro</b>	62697554	105	597120				
<b>Total</b>	531249667	209					

A análise de variância da produção para os quinze genótipos nos sete anos de ensaio efetuados em Elvas (Quadro 4.6) revela a existência de uma interação

genótipo x ano altamente significativa ( $p \leq 0,001$ ). Verificou-se uma forte dependência na resposta dos genótipos à produção, com relação às precipitações de primavera e às temperaturas ocorridas durante a fase de formação e enchimento do grão, que parecem exercer uma influência decisiva na produção.

Quadro 4.7 - Produção média (kg/ha) dos 15 genótipos de trigo mole em estudo nos ensaios instalados em Mirandela para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam a totalidade do ensaio (índice ambiental).

Genótipo	2000/01	2001/02	2003/04	2004/05	2005/06	2007/08	2008/09	Média Genótipo
EA1	4072	10188	7622	8036	6473	1934	7863	6598
EA2	4557	10117	6995	6407	7591	2202	8519	6627
EA3	3410	9934	7371	6661	6619	2340	8381	6388
Eufrates	4142	9972	7506	6426	7424	1827	8041	6477
EA5	3522	8255	6076	5473	6391	2388	6517	5517
Jordão	3803	10785	8685	6159	8677	2044	8724	6982
EA7	2872	7707	5065	6736	6336	3056	6384	5451
EA8	3954	9423	6403	6321	6277	2156	7905	6063
EA9	4690	10657	5936	6659	7659	1232	8004	6405
EA10	4159	8856	6862	5261	6869	1279	4982	5467
Sever	4155	9548	5527	6611	7388	2788	6019	6005
EA12	4464	9162	5540	7229	5854	2433	6457	5877
EA13	4076	9214	6650	6747	6400	2248	7118	6065
EA14	3626	8423	5598	6628	7431	1888	6630	5746
EA15	3917	11581	8680	8060	6290	3425	9327	7326
<b>Média Ano</b>	<b>3934</b>	<b>9504</b>	<b>6662</b>	<b>6555</b>	<b>6879</b>	<b>2227</b>	<b>7336</b>	<b>6157</b>
<b>Desvio Padrão</b>	549	1183	1153	1500	1185	1097	1315	
<b>Erro Padrão</b>	97	209	204	265	209	194	232	
<b>Mínimo</b>	2822	6752	4901	3768	5232	777	3520	
<b>Máximo</b>	4887	11794	9083	10188	9685	4565	9688	
<b>Média 30 genótipos</b>	<b>4009</b>	<b>8999</b>	<b>6524</b>	<b>6622</b>	<b>7340</b>	<b>2006</b>	<b>7080</b>	

Nos ensaios de Mirandela as produções de grão foram mais elevadas do que em Elvas, com exceção dos anos agrícolas 2000/01 e 2007/08, com destaque para o ensaio decorrido no ano de 2001/02, no qual se obteve um valor médio de 9504 kg/ha (Quadro 4.3 e Quadro 4.7). As médias mais baixas observadas em Mirandela comparativamente a Elvas nos ensaios de 2000/01 estarão associadas à elevada precipitação de inverno, tendo provocado problemas de encharcamento em Mirandela, pois no mês de dezembro ocorreram 309mm, valor cerca de 100mm superior à precipitação ocorrida em Elvas, o que não permitiu que os materiais expressassem o seu potencial genético. Nos ensaios do ano agrícola 2007/08 em

Mirandela, ocorreram sérios danos causados por ataques de pássaros na fase final do ciclo.

Na análise apresentada no Quadro 4.7, constata-se que a dispersão de valores da produção é, na maior parte dos anos, marcadamente superior nos ensaios de Mirandela. Neste local, as produções médias de grão dos genótipos em estudo, assim como as da totalidade dos genótipos incluídos nos ensaios (índice ambiental) foram, com exceção dos dois anos agrícolas já referidos, mais elevadas do que em Elvas. O genótipo EA15 obteve o valor médio mais elevado da produção, com 7326 kg/ha. Jordão (uma das variedades testemunha) e os genótipos EA2 e EA1 mostraram comportamento excelente, com valores de produções médias de 6982 kg/ha, 6627 kg/ha e 6598 kg/ha, respetivamente. O genótipo EA7 atingiu, entre todos os genótipos em análise, o valor médio mais baixo para a produção de grão, com 5467 kg/ha (Quadro 4.7).

Da análise do Quadro 4.8 destaca-se o facto de os valores da produção de todos os genótipos apresentarem diferenças significativas no conjunto dos anos de ensaio em Mirandela. A resposta dos genótipos incluídos nos ensaios está relacionada com as diferenças genéticas existentes entre eles e com a interação do genótipo com o ambiente.

Quadro 4.8 – Análise de variância fator único (ano). Significância da diferença entre as produções obtidas nos 7 anos em estudo para cada genótipo em Mirandela. \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

Variedade	P	Significância
EA1	0,0051	**
EA2	0,0075	**
EA3	0,0014	**
Eufrates	0,0009	***
EA5	0,0032	**
Jordão	$5,38E^{-5}$	***
EA7	0,0077	**
EA8	0,0007	***
EA9	0,0053	**
EA10	0,0021	**
Sever	0,0259	*
EA12	0,0116	*
EA13	0,0167	*
EA14	0,0007	***
EA15	$3,35E^{-5}$	***

Tal como em Elvas, nos três primeiros anos de ensaios analisados (2000/01, 2001/02 e 2003/04) e em 2008/09, verificaram-se diferenças significativas na produção dos diferentes genótipos em estudo, tendo sido o ano de 2001/02 o de melhor produtividade (Quadro 4.9). Em 2004/05, 2005/06 e 2007/08 os valores da produção não diferiram entre genótipos, tendo sido baixos na campanha de 2007/08 pelos motivos já referidos anteriormente.

Quadro 4.9 – Análise de variância fator único (genótipo). Significância da diferença entre as produções obtidas nos 15 genótipos em estudo, para cada ano, em Mirandela. \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.

	00/01	01/02	03/04	04/05	05/06	07/08	08/09
<b>p</b>	0,0389	0,0006	$7,99E^{-5}$	0,9643	0,7654	0,9288	0,0091
<b>Significância</b>	*	***	***	ns	ns	ns	**

No caso de Mirandela, a análise de variância da produção para os quinze genótipos nos sete anos de ensaio revela a ausência de significância (ns) na interação genótipo x ano (Quadro 4.10). Em Mirandela, região transmontana de clima favorável à cultura cerealífera, caracterizada por possuir temperaturas suaves durante a primavera, os materiais conseguem expressar todo o seu potencial genético, originando produções de grão mais elevadas, na maioria dos anos em estudo.

Quadro 4.10 – Anova fator duplo (genótipo e ano) da produção para os quinze genótipos nos sete anos de ensaio efetuados em Mirandela. \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	Signif	F crítico
<b>Genótipo</b>	60545356	14	4324668	3,8333	$3,12568E^{-05}$	***	1,7871
<b>Ano</b>	1041625135	6	173604189	153,8800	$1,11841E^{-49}$	***	2,1861
<b>Interação G x A</b>	92539683	84	1101663	0,9765	0,542547	ns	1,4029
<b>Dentro</b>	118458799	105	1128179				
<b>Total</b>	1313168973	209					

Nos quadros que se seguem (Quadro 4.11 a Quadro 4.17) estão representadas as análises de variância (ANOVA) duplas referentes aos fatores genótipo e local e respetiva interação (G x L), para os sete anos de ensaio.

Observou-se a existência de uma interação significativa para a produção nos anos de 2000/01 ( $p \leq 0,01$ ), 2001/02 ( $p \leq 0,05$ ), 2003/04 ( $p \leq 0,001$ ) e 2008/09 ( $p \leq 0,01$ ), o que significa que o ambiente (local) afetou de forma diferente os genótipos, para os quais se obtiveram respostas da produção de grão diferenciadas, verificadas durante estes anos de ensaio. Em 2004/05, 2005/06 e 2007/08 não se verificou resposta significativa entre estes fatores.

Quadro 4.11 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2000/2001. \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ .

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>Signif</i>	<i>F crítico</i>
<b>Genótipo</b>	31816959	14	2272640	3,146628	0,004109	**	2,037420
<b>Local</b>	5184543	1	5184543	7,178361	0,011862	*	4,170877
<b>Interação G x L</b>	29958385	14	2139885	2,962819	0,006129	**	2,037420
<b>Dentro</b>	21667383	30	722246				
<b>Total</b>	88627271	59					

Quadro 4.12 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2001/2002. \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>Signif</i>	<i>F crítico</i>
<b>Genótipo</b>	49138123	14	3509866	5,260057	6,87283E <sup>-05</sup>	***	2,037420
<b>Local</b>	402724833	1	4,03E <sup>+08</sup>	603,5431	1,99434E <sup>-21</sup>	***	4,170877
<b>Interação G x L</b>	24381644	14	1741546	2,609966	0,013448	*	2,037420
<b>Dentro</b>	20018032	30	667268				
<b>Total</b>	496262632	59					

Quadro 4.13 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2003/2004. \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>Signif</i>	<i>F crítico</i>
<b>Genótipo</b>	25197086	14	1799792	5,389279	5,51E <sup>-05</sup>	***	2,037420
<b>Local</b>	12806409	1	12806409	38,347390	8,15E <sup>-07</sup>	***	4,170877
<b>Interação G x L</b>	33660146	14	2404296	7,199401	3,26E <sup>-06</sup>	***	2,037420
<b>Dentro</b>	10018734	30	333958				
<b>Total</b>	81682374	59					

Quadro 4.14 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2004/2005. \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>Signif</i>	<i>F crítico</i>
<b>Genótipo</b>	12568668	14	897762	0,462627	0,935697	ns	2,037420
<b>Local</b>	172991221	1	1,73E <sup>+08</sup>	89,14427	1,71E <sup>-10</sup>	***	4,170877
<b>Interação G x L</b>	8446926	14	603352	0,310914	0,987942	ns	2,037420
<b>Dentro</b>	58217277	30	1940576				
<b>Total</b>	252224092	59					

Quadro 4.15 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2005/2006. ns-não significativo.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>Signif</i>	<i>F crítico</i>
<b>Genótipo</b>	21545087	14	1538935	1,421442	0,203397	ns	2,037420
<b>Local</b>	58185	1	58185	0,053743	0,818248	ns	4,170877
<b>Interação G x L</b>	10299114	14	735651	0,679487	0,775523	ns	2,037420
<b>Dentro</b>	32479715	30	1082657				
<b>Total</b>	64382101	59					

Quadro 4.16 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2007/2008. \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>Signif</i>	<i>F crítico</i>
<b>Genótipo</b>	7045065	14	503219	0,614473	0,831807	ns	2,037420
<b>Local</b>	37885257	1	37885257	46,26115	1,52E <sup>-07</sup>	***	4,170877
<b>Interação G x L</b>	5019911	14	358565	0,437839	0,947897	ns	2,037420
<b>Dentro</b>	24568299	30	818943				
<b>Total</b>	74518532	59					

Quadro 4.17 – Anova fator duplo (genótipo e local) da produção para os quinze genótipos nos dois locais (Elvas e Mirandela) no ano 2008/2009. \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>Signif</i>	<i>F crítico</i>
<b>Genótipo</b>	19027799	14	1359129	2,874047	0,007453	**	2,037420
<b>Local</b>	250620975	1	2,51E <sup>+08</sup>	529,9694	1,27E <sup>-20</sup>	***	4,170877
<b>Interação G x L</b>	23760125	14	1697152	3,58884	0,001617	**	2,037420
<b>Dentro</b>	14186913	30	472897				
<b>Total</b>	307595812	59					

A produção de grão é uma característica considerada quantitativa, pois é governada por vários genes de pequeno efeito sobre o fenótipo e, por consequência, a sua expressão tem forte influência do ambiente (Falconer e Mackay, 1996), o que reforça a constatação de que os genótipos avaliados apresentaram comportamento distinto em relação a cada ambiente considerado.

Quadro 4.18 – Anova fatorial da produção para os fatores genótipo, ano e local. \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

<i>Fonte de variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor P</i>	<i>Signif</i>
Repetição	4731424	1	4731424	5,7369	0,0175	
Genótipo	62055221	14	4432516	5,3744	0,0000	***
Ano	758111361	6	126351894	153,2019	0,0000	***
Local	283567027	1	283567027	343,8255	0,0000	***
<b>Genótipo x Ano</b>	106983974	84	1273619	1,5443	<b>0,0068</b>	***
<b>Genótipo x Local</b>	20816329	14	1486881	1,8028	<b>0,0398</b>	**
<b>Ano x Local</b>	597001347	6	99500224	120,6442	<b>0,0000</b>	***
<b>Genótipo x Ano x Local</b>	115371567	84	1373471	1,6658	<b>0,0018</b>	***
Erro	172370885	209	824741			
Total	2121009134					

Quando se analisou a variância da interação entre os fatores em estudo (análise de variância multifatorial) constatou-se que para o genótipo, ano e local estas interações se apresentaram estatisticamente significativas (Quadro 4.18), assim como para a interação entre os três fatores.

#### 4.3.2 Massa do hectolitro

O parâmetro massa do hectolitro traduz a massa volúmica de um determinado genótipo. Valores mais elevados de massa do hectolitro refletem melhores pesos de trigo no mesmo volume e boa adaptação, sendo indicativos de boa qualidade, e consequentemente de bons processamentos e rendimentos mais elevados em farinha. Este parâmetro é afetado pelo ambiente e pela interação G x E (Bassett *et al.*, 1989; Lukow e McVetty, 1991; Ruza, 2003; Bilgin *et al.*, 2011).

A massa ou peso do hectolitro é uma medida amplamente utilizada para análise da qualidade da semente, pois é um método rápido de ser realizado, influenciado por

fatores como grão mal formado e impurezas, que reduzem a qualidade. Segundo Franceschi *et al.* (2008), as variações de qualidade devido ao ambiente superam com frequência as vinculadas ao genótipo. Diversos fatores ambientais podem produzir modificações na qualidade tecnológica, nomeadamente, a temperatura, a precipitação e a radiação solar.

Nos Quadro 4.19 e Quadro 4.20 pode observar-se que o genótipo EA14 foi o que obteve melhor massa do hectolitro, tanto em Elvas (82,69 kg/hl), como em Mirandela (83,53 kg/hl), com um valor médio de 83,11 kg/hl no conjunto de todos os anos agrícolas e para os dois locais.

Quadro 4.19 - Massa hectolitro (kg/hl) média dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Elvas para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio.

Genótipo	2000/01	2001/02	2003/04	2004/05	2005/06	2007/08	2008/09	Média Genótipo
EA1	81,14	80,72	82,08	78,24	77,53	82,16	81,50	80,48
EA2	79,84	80,42	79,90	74,73	76,77	82,02	84,02	79,67
EA3	82,42	84,32	82,54	75,57	79,30	83,78	83,78	81,67
Eufrates	81,30	81,38	83,02	77,30	77,90	83,60	83,80	81,19
EA5	81,73	80,87	81,40	78,69	77,96	83,69	81,94	80,90
Jordão	82,84	82,26	83,02	77,68	78,32	84,46	84,16	81,82
EA7	80,82	83,36	81,74	78,80	81,40	83,80	83,72	81,95
EA8	83,12	81,50	81,36	76,31	77,75	82,68	83,62	80,91
EA9	80,60	81,58	80,52	76,59	78,88	82,70	84,34	80,74
EA10	82,16	82,34	83,20	76,99	80,07	83,32	83,76	81,69
Sever	79,74	81,44	80,72	74,17	75,19	81,58	81,64	79,21
EA12	81,80	81,00	82,28	76,81	78,30	82,50	83,76	80,92
EA13	83,20	84,00	83,04	73,39	81,14	83,92	84,52	81,89
EA14	83,39	83,96	83,94	78,64	80,62	84,60	83,70	82,69
EA15	83,70	83,48	83,80	79,04	75,43	83,90	84,34	81,96
<b>Média</b>	<b>81,85</b>	<b>82,09</b>	<b>82,12</b>	<b>76,98</b>	<b>78,41</b>	<b>83,28</b>	<b>83,41</b>	<b>81,16</b>
<b>Desvio Padrão</b>	1,27	1,55	1,27	2,86	2,22	0,95	1,08	
<b>Erro Padrão</b>	0,22	0,27	0,22	0,51	0,39	0,17	0,19	
<b>Mínimo</b>	79,10	78,25	78,98	69,85	74,49	81,22	81,22	
<b>Máximo</b>	83,98	84,38	84,14	82,02	84,02	85,66	84,70	
<b>Média 30 genótipos</b>	<b>81,25</b>	<b>81,44</b>	<b>82,10</b>	<b>76,88</b>	<b>78,75</b>	<b>83,33</b>	<b>83,22</b>	

Apesar de se constatar que a média geral dos genótipos para os sete anos agrícolas foi muito similar nos dois locais em estudo (81,16 kg/hl e 81,32 kg/hl para Elvas e Mirandela, respetivamente), uma análise mais detalhada permite verificar que para cada ano agrícola os valores deste parâmetro variaram quando comparados os dois locais (Quadro 4.19 e Quadro 4.20), o que confirma a acentuada influência do ambiente neste parâmetro. Os valores médios situaram-se na sua maioria acima dos 80,00 kg/hl. No entanto, observou-se variabilidade entre os genótipos em cada ano e para cada local, indicando, por um lado, elevado potencial e ainda variabilidade genética para este parâmetro.

A massa do hectolitro foi superior nos ensaios instalados em Mirandela (Quadro 4.20) comparativamente a Elvas (Quadro 4.19), seguindo a mesma tendência que se observou para a produção.

Quadro 4.20 - Massa hectolitro (kg/hl) média dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Mirandela para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio.

Genótipo	2000/01	2001/02	2003/04	2004/05	2005/06	2007/08	2008/09	Média Genótipo
EA1	80,50	82,94	81,66	81,30	78,33	81,26	75,90	80,27
EA2	82,42	82,70	81,58	82,78	78,33	79,14	75,20	80,31
EA3	82,66	84,02	83,98	82,38	80,30	81,82	77,20	81,77
Eufrates	83,66	85,22	83,46	81,14	81,42	81,26	76,80	81,85
EA5	82,30	82,34	83,10	82,54	80,28	81,60	78,00	81,45
Jordão	83,10	84,74	84,34	82,90	82,06	82,58	77,20	82,42
EA7	83,34	83,82	83,66	80,14	79,94	83,30	79,10	81,90
EA8	82,82	83,38	81,86	79,10	79,26	81,42	76,80	80,66
EA9	81,46	82,06	80,90	82,79	80,50	80,18	76,00	80,56
EA10	83,14	84,50	83,58	80,94	79,14	82,62	77,80	81,67
Sever	83,34	83,06	81,74	82,10	73,81	80,46	74,90	79,92
EA12	82,90	82,74	82,14	83,66	72,25	79,94	76,50	80,02
EA13	84,22	85,78	84,02	80,18	79,70	81,62	78,90	82,06
EA14	84,46	85,02	84,38	84,54	83,50	82,74	80,10	83,53
EA15	82,38	84,38	83,34	80,50	78,25	82,70	77,70	81,32
<b>Média Ano</b>	<b>82,81</b>	<b>83,69</b>	<b>82,93</b>	<b>81,85</b>	<b>79,21</b>	<b>81,52</b>	<b>77,26</b>	<b>81,32</b>
<b>Desvio Padrão</b>	0,99	1,16	1,12	1,54	2,81	1,15	1,41	
<b>Erro Padrão</b>	0,25	0,29	0,28	0,39	0,70	0,29	0,35	
<b>Mínimo</b>	80,50	82,05	80,90	79,10	72,25	79,14	74,90	
<b>Máximo</b>	84,46	85,78	84,38	84,54	83,50	83,30	80,10	
<b>Média 30 genótipos</b>	<b>82,31</b>	<b>82,92</b>	<b>82,76</b>	<b>82,21</b>	<b>79,72</b>	<b>81,45</b>	<b>76,96</b>	

A análise de variância para o fator ano, na qual se analisou a significância das diferenças entre a massa do hectolitro dos anos em estudo, para cada genótipo, em Elvas, (Quadro 4.21) mostrou que para os genótipos EA1, EA7 e EA14 as diferenças entre este parâmetro nos diversos anos não foram estatisticamente significativas. O genótipo EA14 mostrou sempre valores elevados de hectolitro ao longo dos anos. Para os restantes genótipos as diferenças entre as massas do hectolitro dos anos em estudo foram estatisticamente significativas.

Quando se analisou a variância da massa do hectolitro para o fator genótipo, em cada um dos sete anos de ensaios realizados em Elvas (Quadro 4.22), verificou-se que houve diferenças significativas na maioria dos anos em estudo, à exceção de 2004/05 e 2005/06 em que as massas do hectolitro dos genótipos em estudo não foram estatisticamente significativas. No ano de 2005/2006 observaram-se os valores mais baixos para este parâmetro para a generalidade dos genótipos no conjunto dos anos em estudo.

Quadro 4.21 – Análise de variância fator único (ano). Significância da diferença entre as massas do hectolitro obtidas nos 7 anos em estudo para cada genótipo em Elvas. \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; ns-não significativo.

Variedade	p	Significância
EA1	0,0550	ns
EA2	0,0008	***
EA3	0,0010	**
Eufrates	0,0110	*
EA5	0,0220	*
Jordão	0,0710	*
EA7	0,2250	ns
EA8	0,0003	***
EA9	0,0001	***
EA10	0,0120	*
Sever	0,0002	***
EA12	0,0080	**
EA13	0,0002	***
EA14	0,1690	ns
EA15	0,0000	***

A análise de variância de fator duplo mostra que as diferenças entre as massas do hectolitro dos genótipos (média dos 7 anos) foram estatisticamente significativas ( $p < 0,001$ ). Igualmente, para o fator ano, esta variável em estudo foi

significativamente diferente ( $p < 0,001$ ). Contrariamente, a interação genótipo x ambiente não revelou resposta significativa. (Quadro 4.23). A ausência de interação entre os genótipos e o ano indica que não se verificou uma resposta diferenciada dos genótipos, nos sete anos de ensaios realizados em Elvas.

Quadro 4.22– Análise de variância fator único (genótipo). Significância da diferença entre as massas do hectolitro obtidas nos 15 genótipos em estudo para cada ano, em Elvas. \*\*  $p \leq 0,01$ ; \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; ns- não significativo.

	00/01	01/02	03/04	04/05	05/06	07/08	08/09
<b>p</b>	0,0000	0,0090	0,0004	0,7800	0,0640	0,0003	0,0004
<b>Significância</b>	***	**	***	ns	ns	***	***

Quadro 4.23– Anova fator duplo (genótipo e ano) da massa do hectolitro para os quinze genótipos nos sete anos de ensaio efetuados em Elvas. \*\*\*  $p \leq 0,001$ ; ns- não significativo.

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	Signif	F crítico
<b>Genótipo</b>	181,3212	14	12,9515	6,1798	8,28E <sup>-09</sup>	***	1,7871
<b>Ano</b>	1154,98	6	192,4967	91,8500	1,73E <sup>-39</sup>	***	2,1861
<b>Interação G x A</b>	187,4464	84	2,2315	1,0648	0,3782	ns	1,4029
<b>Dentro</b>	220,056	105	2,0958				
<b>Total</b>	1743,804	209					

### 4.3.3 Peso de mil grãos

A variedade Sever, uma das variedades testemunha nos ensaios do presente estudo, que se caracteriza por ter grão grande e pesado, foi a que obteve maior peso de mil grãos nos dois ambientes, com valores médios de 43,54g em Elvas e de 43,31g em Mirandela, valores mais elevados que os restantes genótipos, onde apenas EA1 se aproxima, com um peso de mil grãos de 41,74g e 42,43g, respetivamente (Quadro 4.24 e Quadro 4.25).

Paralelamente ao observado para os restantes parâmetros analisados, os valores médios de peso de mil grãos foram superiores em Mirandela (Quadro 4.25), local onde a média das temperaturas máximas foi inferior em 1,5°C, comparativamente a Elvas, durante os meses de março a julho, período em que ocorre o enchimento do grão. Esta tendência foi mais marcada nos anos agrícolas de 2001/02 e 2004/05,

nos quais o peso de mil grãos foi respetivamente de 36,78g e 25,60g em Elvas e 43,67g e 39,22g em Mirandela (Quadro 4.24 e Quadro 4.25). Estes resultados estão de acordo com estudos de Calderini *et al.* (1999), Yan e Hunt (1999) e Yang *et al.* (2002) para a cultura do trigo, nos quais referem que as altas temperaturas verificadas durante as fases de espigamento e ântese interferem negativamente no peso dos grãos. Além da redução do seu peso, temperaturas mais elevadas durante este período, apresentam também uma estreita relação com a esterilidade dos grãos (Acreche *et al.*, 2008).

Quadro 4.24 – Peso de mil grãos (g) médio dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Elvas para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio.

Genótipo	2000/01	2001/02	2003/04	2004/05	2005/06	2007/08	2008/09	Média Genótipo
EA1	49,64	42,40	45,62	32,14	37,90	42,67	41,79	41,74
EA2	32,41	35,36	34,31	25,20	34,97	40,21	42,71	35,02
EA3	40,74	34,96	37,56	22,71	35,60	39,08	41,52	36,02
Eufrates	37,24	37,25	40,00	23,75	34,08	36,57	38,55	35,35
EA5	39,19	31,15	37,99	30,60	36,40	37,12	39,37	35,97
Jordão	39,52	35,38	38,30	20,73	34,46	35,92	39,85	34,88
EA7	39,67	38,86	33,99	21,86	37,59	37,58	38,59	35,45
EA8	38,24	31,06	34,75	27,93	30,62	36,62	40,65	34,27
EA9	41,74	45,72	36,98	29,38	33,20	41,82	44,80	39,09
EA10	42,43	38,86	42,70	28,69	37,77	38,01	41,36	38,55
Sever	51,17	42,55	52,49	23,72	40,08	46,60	48,15	43,54
EA12	38,66	36,81	39,03	21,80	29,20	37,43	40,95	34,84
EA13	32,81	35,31	35,45	23,86	28,64	33,03	35,67	32,11
EA14	38,95	38,46	40,68	23,48	32,57	34,88	39,16	35,45
EA15	36,87	33,28	34,04	23,22	23,02	37,28	37,58	32,18
<b>Média</b>	39,90	36,78	38,87	25,60	33,91	38,25	40,63	36,28
<b>Desvio Padrão</b>	4,92	4,42	5,13	3,82	4,37	3,33	2,99	
<b>Erro Padrão</b>	1,23	1,11	1,28	0,96	1,09	0,83	0,75	
<b>Mínimo</b>	32,41	28,04	33,48	20,73	23,02	33,03	35,67	
<b>Máximo</b>	51,17	45,72	52,49	33,44	40,08	46,60	48,15	
<b>Média 30 genótipos</b>	39,67	36,68	39,49	25,72	34,91	38,31	41,46	

Quadro 4.25 - Peso de mil grãos (g) médio dos 15 genótipos de trigo mole em estudo observada nos ensaios instalados em Mirandela para os sete anos selecionados. Estatística descritiva para o conjunto dos 15 genótipos e média dos 30 genótipos que constituíam o conjunto completo de genótipos do ensaio.

<b>Genótipo</b>	2000/01	2001/02	2003/04	2004/05	2005/06	2007/08	2008/09	<b>Média Genótipo</b>
<b>EA1</b>	45,10	50,39	45,05	38,56	43,06	39,46	35,40	42,43
<b>EA2</b>	38,98	44,37	37,94	39,54	40,30	38,80	30,10	38,58
<b>EA3</b>	35,17	41,38	37,63	38,96	37,95	31,32	32,90	36,47
<b>Eufrates</b>	40,99	46,88	38,67	37,82	41,46	32,03	32,40	38,61
<b>EA5</b>	40,82	40,73	36,92	39,87	37,91	37,74	32,13	38,02
<b>Jordão</b>	33,98	41,39	36,20	37,39	36,52	29,85	31,70	35,29
<b>EA7</b>	38,40	40,80	36,75	35,78	34,12	30,58	29,12	35,08
<b>EA8</b>	37,56	42,40	33,16	38,75	34,51	33,06	28,40	35,41
<b>EA9</b>	42,19	45,40	36,01	39,73	38,88	40,28	30,40	38,98
<b>EA10</b>	40,45	46,09	38,42	46,80	35,80	34,81	38,10	40,07
<b>Sever</b>	51,68	50,01	44,19	37,93	40,86	40,41	38,11	43,31
<b>EA12</b>	39,50	40,99	36,69	35,81	28,99	38,43	30,76	35,88
<b>EA13</b>	37,30	40,27	33,50	44,11	29,29	31,42	31,73	35,37
<b>EA14</b>	41,80	45,84	37,95	41,51	39,75	35,27	31,83	39,14
<b>EA15</b>	33,03	41,12	35,20	35,08	33,80	31,59	31,80	34,52
<b>Média Ano</b>	39,86	43,67	37,58	39,22	36,94	35,17	32,31	37,82
<b>Desvio Padrão</b>	4,46	3,43	3,18	3,17	4,05	3,79	2,81	
<b>Erro Padrão</b>	1,11	0,86	0,80	0,79	1,01	0,95	0,70	
<b>Mínimo</b>	33,03	39,36	33,16	35,08	28,99	29,85	28,40	
<b>Máximo</b>	51,68	50,39	45,05	46,80	43,06	40,41	38,11	
<b>Média 30 genótipos</b>	39,25	42,61	38,03	39,80	37,43	35,83	32,58	

Uma análise detalhada das temperaturas máximas ocorridas na primavera de 2002 em Elvas (dados não apresentados) permite constatar que entre os dias 16 e 21 de maio, ocorreram seis dias com temperatura máxima superiores a 30°C e no período entre 30 de maio e 4 de junho ocorreram seis dias com temperaturas máximas superiores a 32°C. Paralelamente na primavera de 2005, durante o mês de maio constatou-se a ocorrência de nove dias com temperaturas máximas superiores a 30°C, e no período entre 2 e 11 de junho, as temperaturas máximas foram sempre maiores a 33°C. Nos ambientes mediterrânicos as temperaturas altas são frequentes durante este período, causando um aumento da taxa de enchimento do grão. Estas temperaturas máximas, que se traduzem em choques térmicos para as plantas, ocorrem num período do ciclo vegetativo (enchimento do grão) com consequências negativas constituindo um real constrangimento para a cultura.

Os resultados descritos acima estão de acordo com Maçãs *et al.* (1999, 2000) e Gomes (1999) os quais referiram que as temperaturas elevadas que ocorrem em ambiente mediterrânico em Portugal, durante o período de enchimento do grão, quer sejam temperaturas moderadamente elevadas durante vários dias, ou temperaturas extremamente elevadas (choques térmicos) durante curtos períodos de tempo, têm um efeito negativo no peso do grão e conseqüentemente na produção. Estes autores descreveram ainda a existência de variabilidade genética na resposta do peso do grão às elevadas temperaturas após a ântese. No entanto, este aumento não compensa, a redução da duração do processo de desenvolvimento (Sofield *et al.*, 1977; Wardlaw *et al.*, 1980, 1989b) o que, pode resultar na diminuição do tamanho e peso do grão (Maçãs, 1996).

Wiegand e Cuellar (1981) usando trigos de inverno e de primavera para estudar o efeito da temperatura no peso do grão, concluíram que a duração do enchimento do grão parece fixada pela temperatura. Em condições de *stress* com temperaturas elevadas, o peso do grão é proporcional à taxa de enchimento. Embora o movimento de assimilados para o grão seja superior, a taxa não aumenta devido ao aumento do metabolismo respiratório decorrente da elevação da temperatura. Estes autores sugerem que deve ser encontrada variabilidade genética para a taxa de enchimento e explorar a possibilidade de obter combinações com taxa mais elevada, uma vez que este parâmetro revela um forte controle genético. Para a duração apontam uma maior dependência dos fatores ambientais, nomeadamente, temperatura.

#### **4.4 Análise de adaptabilidade e estabilidade**

A definição do significado dos termos adaptabilidade e estabilidade não é linear, atendendo às diversas definições de diferentes autores. Considera-se que a adaptabilidade consiste na capacidade dos genótipos responderem positivamente a uma melhoria do ambiente (Mariotti *et al.*, 1976), ou ainda na capacidade dos genótipos apresentarem produções elevadas e constantes em ambientes desfavoráveis, mas com aptidão de resposta a melhorias nas condições ambientais (Verma *et al.*, 1978). Estabilidade define-se como a capacidade dos genótipos apresentarem comportamento altamente previsível e o mais constante possível em função das variações ambientais (Mariotti *et al.*, 1976).

É importante salientar que a interação entre genótipos e ambientes é um fenómeno de ocorrência natural que faz parte da evolução das espécies, o qual permite o aparecimento de genótipos estáveis e aptos a ambientes específicos ou de comportamento geral e destinados a várias condições ambientais.

Há diversos métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade com vista à avaliação de um grupo de germoplasma, ensaiados numa série de ambientes contrastantes, os quais apresentem interação G x E. A escolha do método de análise depende dos dados experimentais, do número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada (Mohammadi *et al.*, 2012). O mais antigo consiste numa análise de variância conjunta de um ensaio conduzido em vários locais numa sucessão de anos. Desta forma, podem ser determinados não só os efeitos principais atribuíveis aos diversos fatores (genótipos, locais e anos), mas ainda a magnitude das interações genótipo x local, genótipo x ano e genótipo x local x ano (Oliveira, 1976).

Diversos autores desenvolveram métodos paramétricos para estudar a estabilidade. Finlay e Wilkinson (1963) utilizaram um modelo com dois parâmetros, nomeadamente, a média da produção de cada genótipo nos diferentes ambientes e o coeficiente de regressão linear ( $b$ ) de cada genótipo nos vários ambientes. Eberhart e Russel (1966) adicionaram um terceiro parâmetro a esse modelo: os desvios da linearidade (desvio do rendimento de cada genótipo em cada ambiente em relação à linha de regressão desse genótipo em todos os ambientes). Os conceitos de estabilidade dos autores referidos diferem. Para Finlay e Wilkinson (1963), o genótipo ideal deveria exibir alto potencial genético para a produção e um coeficiente de regressão igual a zero ( $b = 0$ ). Este conceito de estabilidade estática implícita na interpretação destes autores aos resultados da análise de regressão conjunta implicava a seleção dos genótipos “melhor” adaptados e estáveis, aqueles que eram incapazes de responder às variações do ambiente e resultava para parâmetros como a qualidade, a resistência às doenças e a resistência a *stresses* abióticos, tais como os constrangimentos ambientais associados a elevadas temperaturas e ao frio. No entanto, havia necessidade de encontrar (selecionar) os genótipos melhor adaptados em termos agronómicos privilegiando a produção de grão. Respondendo a esta necessidade Eberhart e Russel (1966) introduzem implicitamente o conceito de estabilidade dinâmica na análise de regressão conjunta

proposta originalmente por Finlay e Wilkinson (1963) e apontam como genótipo ideal aquele que apresente elevada média de produção e que apresente uma resposta paralela ao índice ambiental, ou seja à resposta média de todos os genótipos do ensaio, o que se traduz no coeficiente de regressão igual a um ( $b = 1$ ) e o desvio de linearidade igual a zero. Para estes autores o genótipo estável não exhibe desvio em relação à resposta geral do ambiente.

Uma vez que a análise de variância conjunta revelou a interação G x E estatisticamente significativa, com o objetivo de estudar a adaptabilidade e estabilidade da produção dos genótipos em estudo, utilizou-se a metodologia da regressão conjunta proposta por Finlay e Wilkinson (1963), considerando que os genótipos com melhor adaptação geral são aqueles que apresentem um  $b$  (declive da reta de regressão conjunta) maior ou igual a 1 e produção superior ao índice ambiental. Esta análise forneceu os resultados que se apresentam no Quadro 4.26.

Quadro 4.26 - Relação da produção de grão de 15 genótipos de trigo mole com a produção média do local. Resultados da análise de regressão conjunta em 2 locais durante 7 anos.

Genótipos	$r^2$	$a$	$b$	Produção média (kg/ha)
EA15	0,68	258	1,08	6030
EA1	0,90	317	1,03	5842
Jordão	0,83	-575	1,20	5841
EA2	0,88	-567	1,17	5669
EA8	0,79	872	0,89	5655
Eufrates	0,97	-462	1,13	5569
EA3	0,90	-123	1,06	5523
EA13	0,96	135	0,97	5345
EA9	0,93	-935	1,17	5315
EA12	0,88	368	0,91	5217
Sever	0,91	101	0,95	5176
EA14	0,95	-237	0,99	5053
EA7	0,90	732	0,77	4862
EA5	0,95	304	0,85	4838
EA10	0,77	-770	1,04	4770

Como se pode observar no Quadro 4.26, os valores de  $r^2$  mostram um bom ajustamento das regressões. Os declives ( $b$ ) variam entre 0,77 para o genótipo EA7

e 1,20 para a variedade Jordão. Estes valores encontram-se dentro do intervalo de valores de 0,5 a 1,4 referidos para trigo por Brennan e Byth (1979).

Contrariamente ao obtido por outros autores (Maçãs, 1996), na análise de estabilidade da produção para estes genótipos/ambientes, a interceção (*a*) não se mostrou dependente do potencial da produção (Figura 4.8), encontrando-se a interação G x E fortemente representada pelo declive da equação de regressão (*b*).

O uso no presente estudo de um valor de desempenho médio (produção média) de um alargado grupo de genótipos tem a vantagem de facultar uma medida abstrata do ambiente. Este índice ambiental (Figura 4.9) variou entre 3426 kg/ha (Elvas em 2008/2009) e 8999 kg/ha (Mirandela 2001/2002). Esta ampla variação (Figura 4.9) proporcionou diferentes combinações agroclimáticas onde os genótipos foram ensaiados. Consequentemente, os genótipos especificamente adaptados para ambientes mais favoráveis ou para ambientes desfavoráveis não foram beneficiados, tendo contrariamente existido oportunidade de testar os genótipos em diversas combinações ambientais (local e clima).

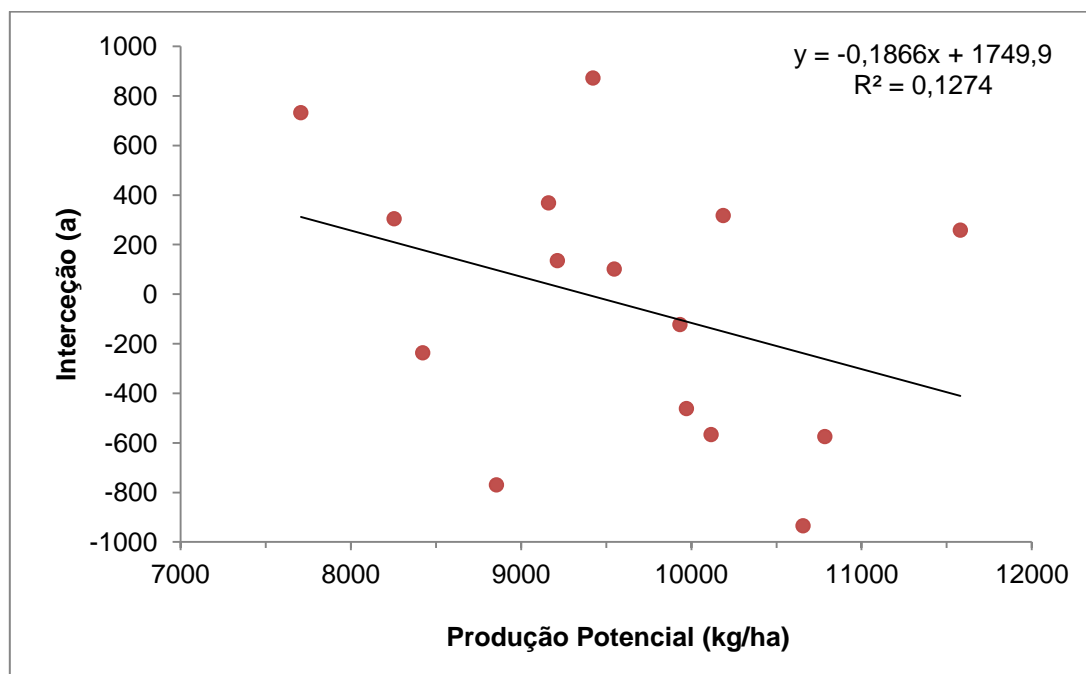


Figura 4.8 – Regressão da interceção (*a*) dos genótipos em 2 locais e para 7 anos com o potencial de produção dos genótipos no ambiente de maior produção (Mirandela 2001/02).

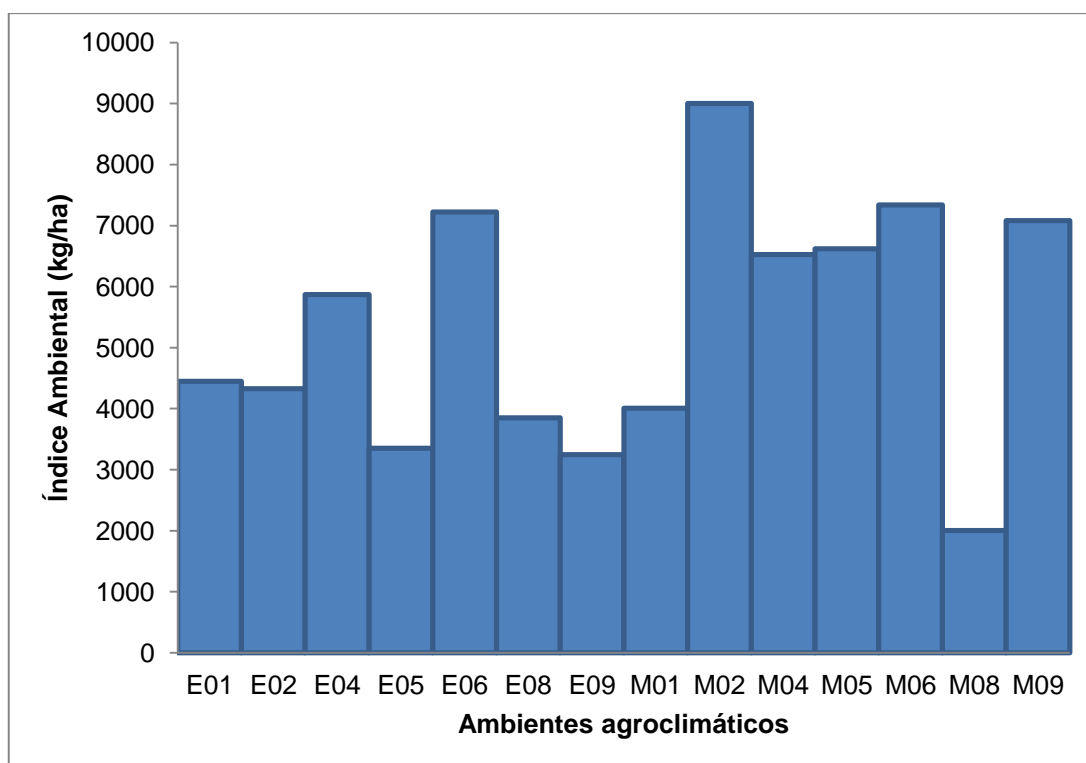


Figura 4.9 – Produção média dos ensaios (índice ambiental) para as diferentes combinações local/ano (ambiente agroclimático) em estudo. E01 a E09 indica Elvas 2000/2001 a Elvas 2008/2009 e M01 a M09 indica Mirandela 2000/2001 a Mirandela 2008/2009.

Assumindo  $b$  como o principal parâmetro de medida de sensibilidade ao ambiente ou seja de estabilidade foi possível identificar neste grupo de germoplasma genótipos com: a) produção elevada no ambiente mais favorável, elevada produção média e  $b$  muito próximo da unidade (Figura 4.10 e Figura 4.11); b) elevada produção média e  $b$  superior a 1 (Figura 4.12, Figura 4.13 e Figura 4.14); c) elevada produção média e  $b$  inferior a 1 (Figura 4.15); d) produção média inferior ao índice ambiental e  $b$  superior a 1 (Figura 4.16); e) produção média inferior à média da população e  $b$  inferior à unidade (Figura 4.17, Figura 4.18, Figura 4.19 e Figura 4.20); f) produção média inferior à média da população e coeficiente de regressão próximo de 1 (Figura 4.21 e Figura 4.22).

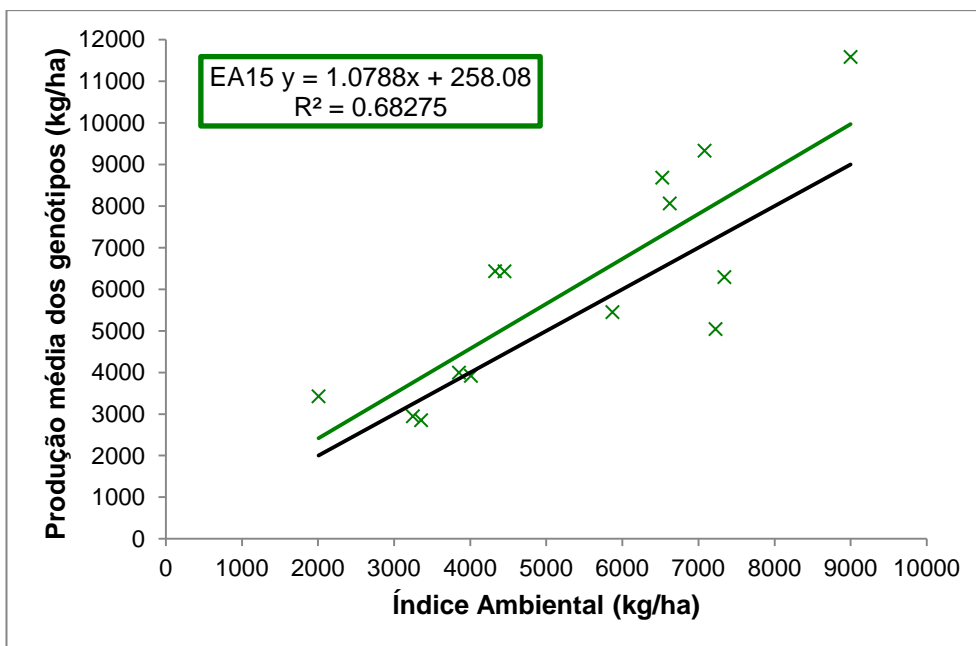


Figura 4.10 – Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA15 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

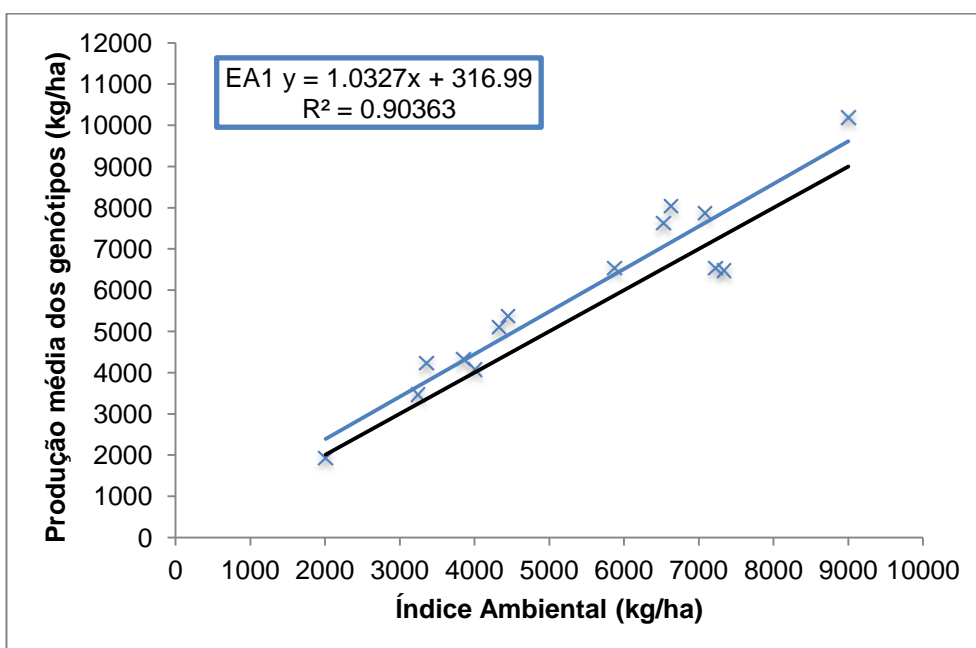


Figura 4.11 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA1 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

Os genótipos EA15 e EA1 apresentam um declive da reta de regressão muito próximo de 1, o que traduz uma resposta da produção ao ambiente paralela à resposta média de todos os genótipos.

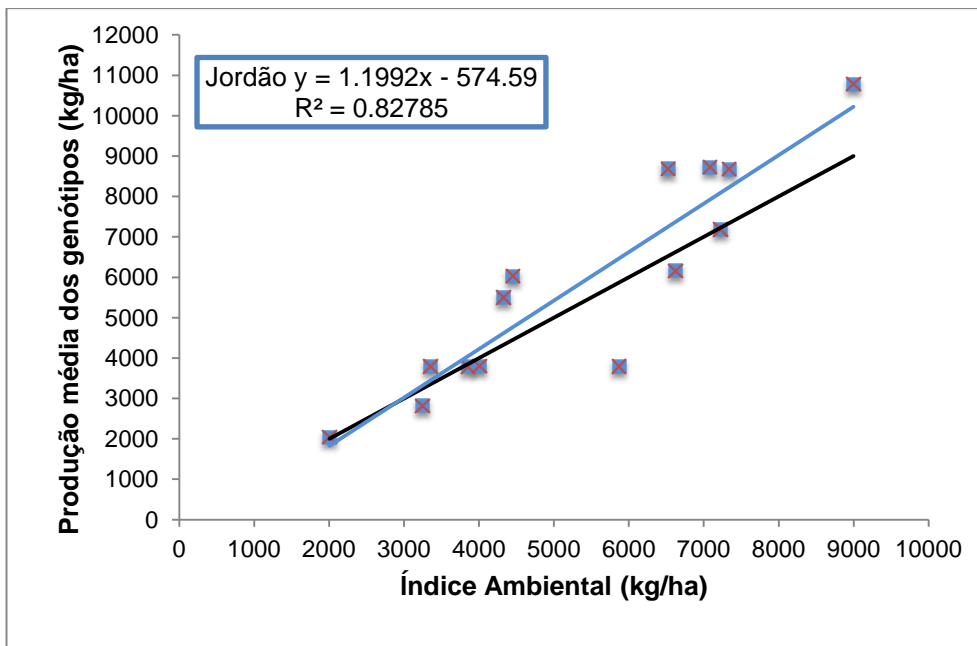


Figura 4.12 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual da variedade Jordão e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

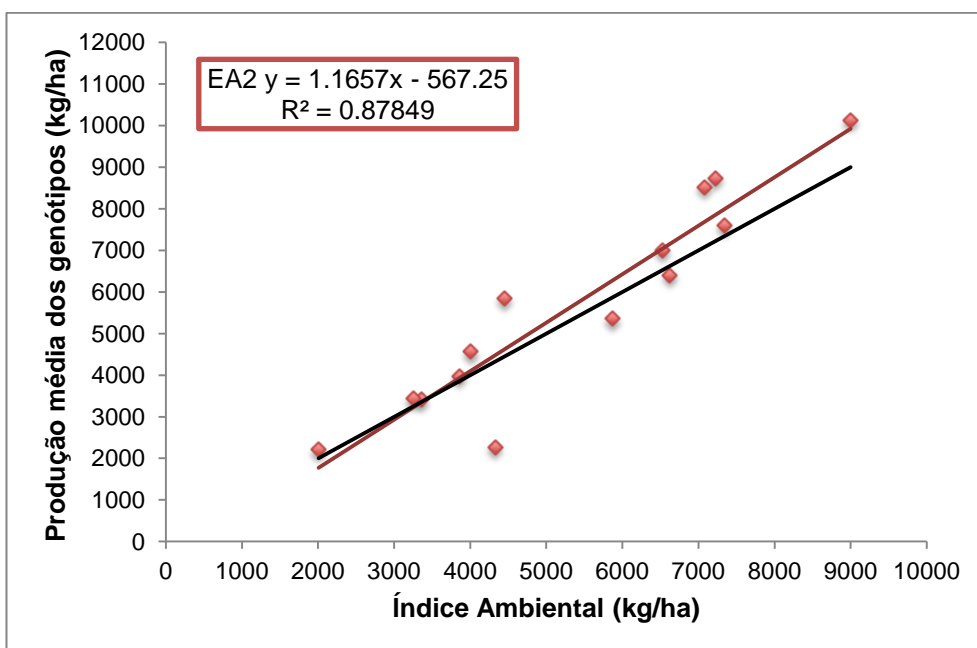


Figura 4.13 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA2 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

A variedade Jordão (Figura 4.12) trata-se de uma variedade que se mantém inscrita no Catálogo Nacional de Variedades e que continua a revelar bons resultados de produção no presente. Segundo dados da Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, foram obtidas, desde 2003, 3628 toneladas de semente certificada da variedade Jordão, sendo que nos anos de 2004 e 2005 este valor atingiu 859 e 1116 toneladas, respetivamente. A seleção desta variedade passou por um processo de avaliação agrónómica em ensaios multilocais, pois foi incluída na Rede de Ensaios de Adaptação, demonstrando a importância do uso desta metodologia de seleção multilocal no processo de obtenção de novas variedades.

A seleção de génotipos com este tipo de resposta ao ambiente (Figura 4.12), que conseguem as melhores produções nos ambiente com maior índice ambiental, tem de ser uma realidade nos novos cenários que contemplam o aumento de áreas de produção de cereais em regadio. O génotipo ideal para ambientes favoráveis, como é o caso do regadio, será aquele com maior produção no ambiente mais favorável e máxima estabilidade, ou seja máximo  $b$ . Resultados que se encontram na variedade Jordão.

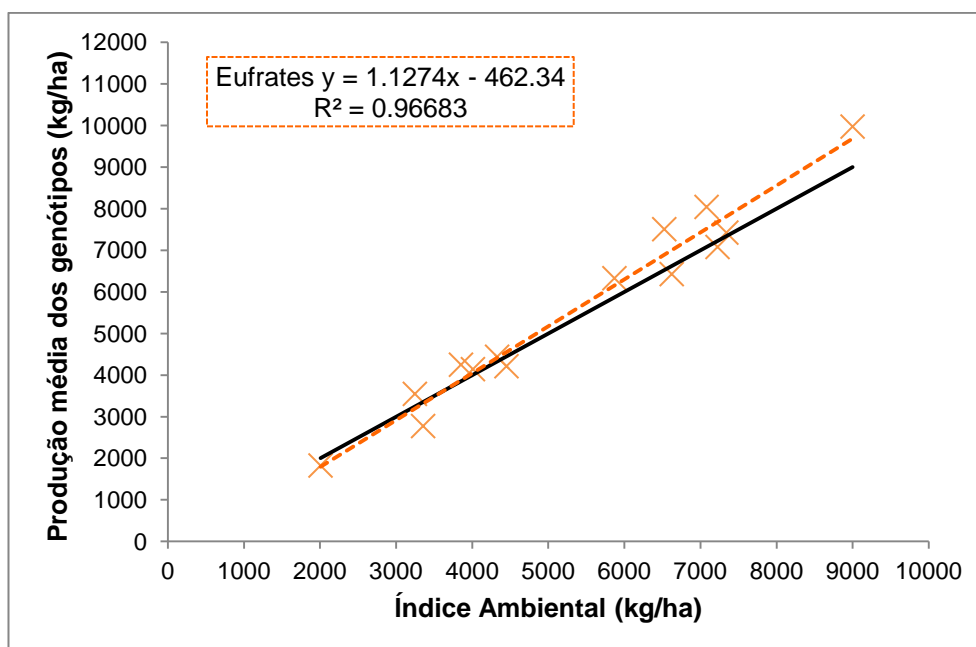


Figura 4.14 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual da variedade Eufrates e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

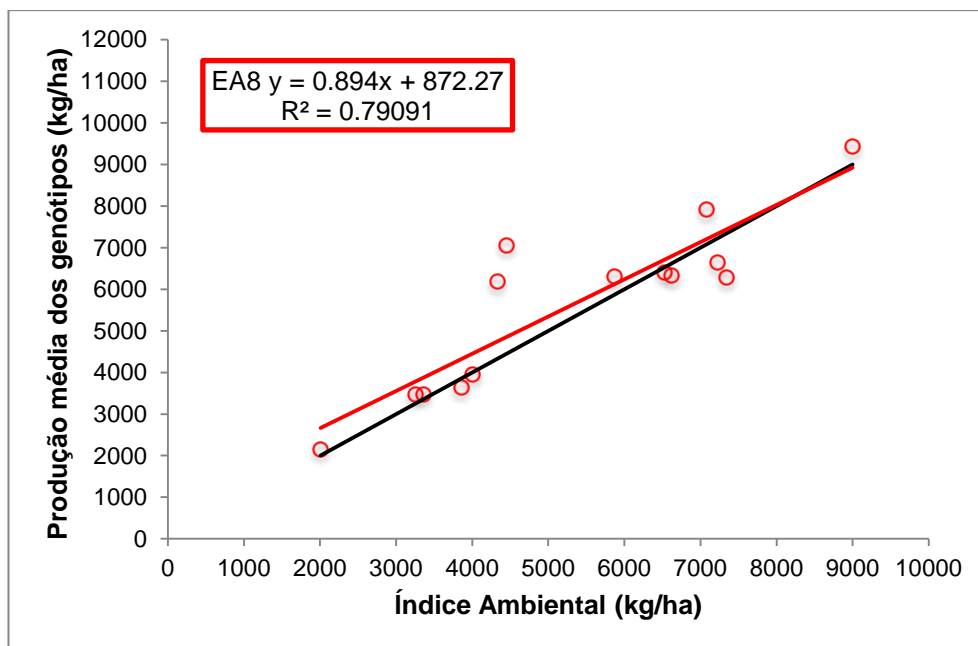


Figura 4.15 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA8 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

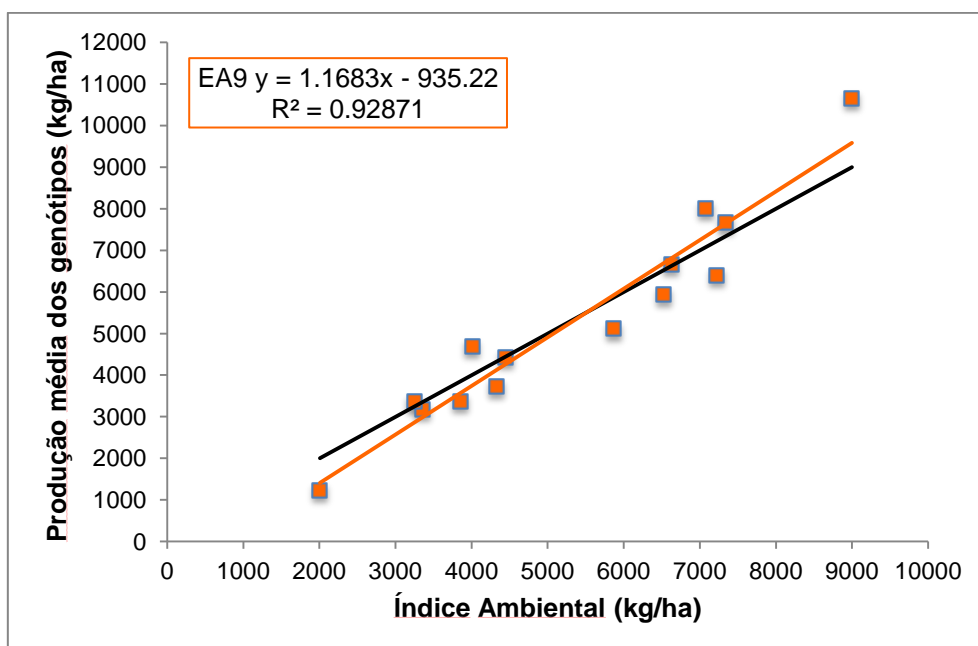


Figura 4.16 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA9 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

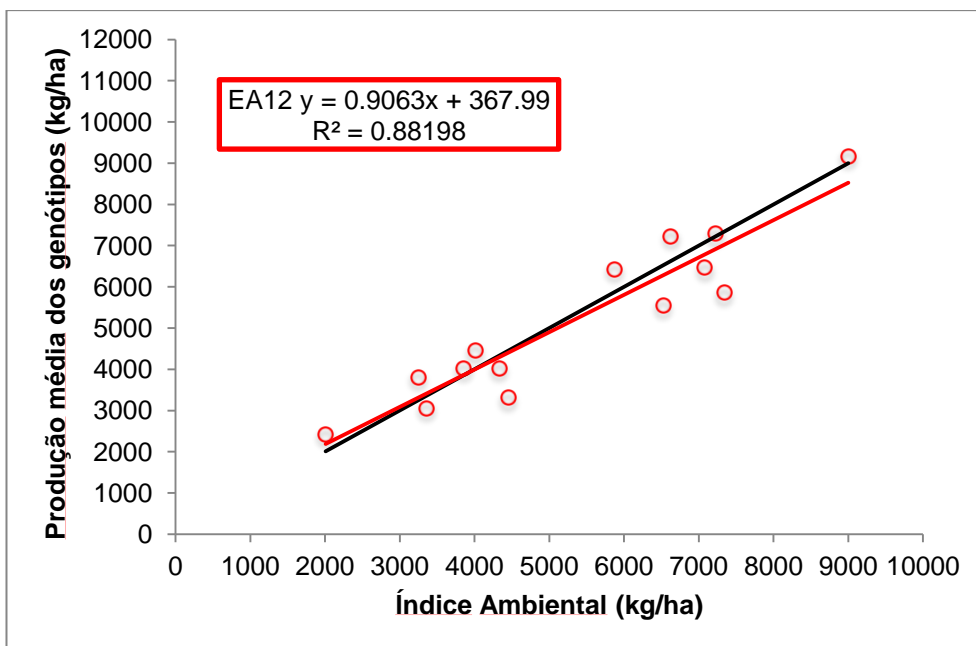


Figura 4.17 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA12 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

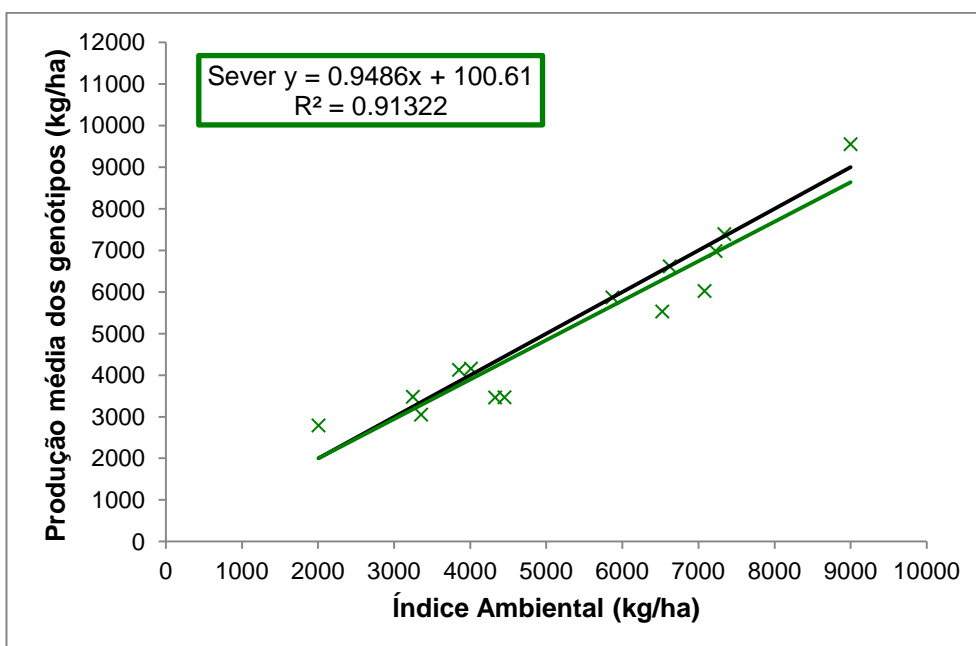


Figura 4.18 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual da variedade Sever e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

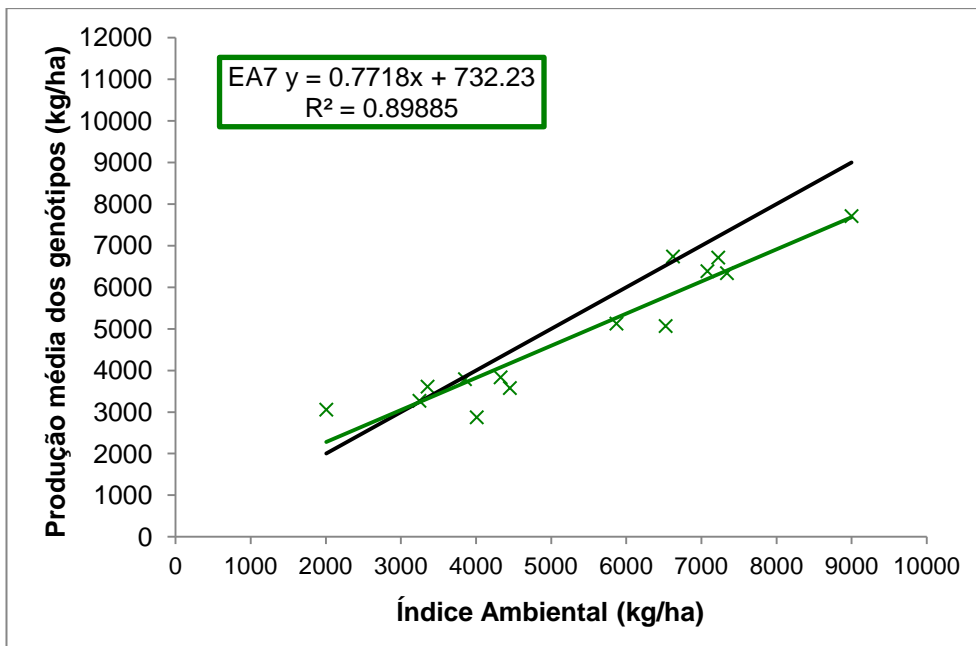


Figura 4.19 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA7 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

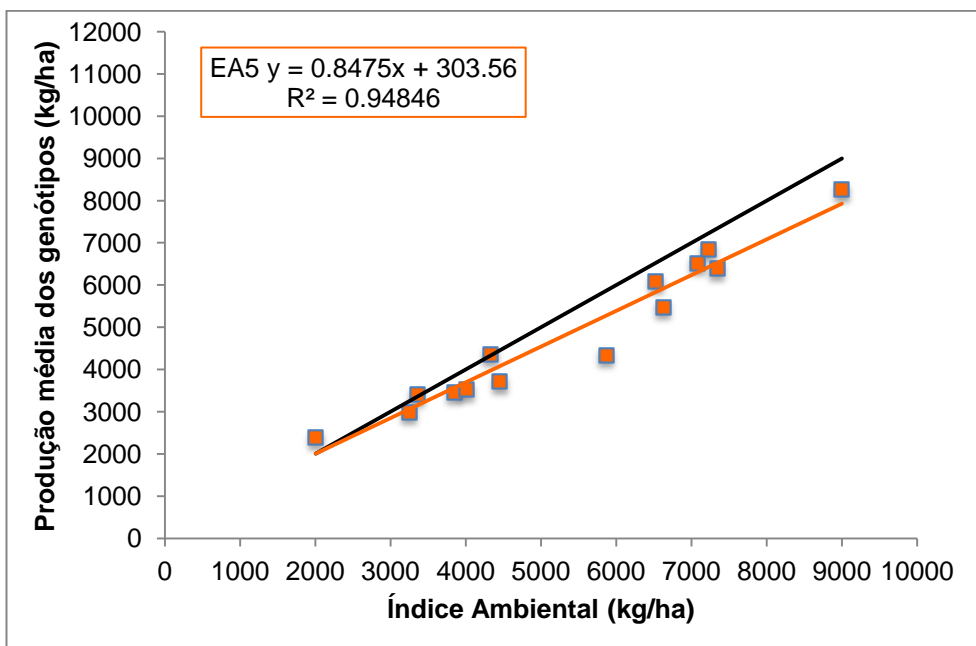


Figura 4.20 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA5 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

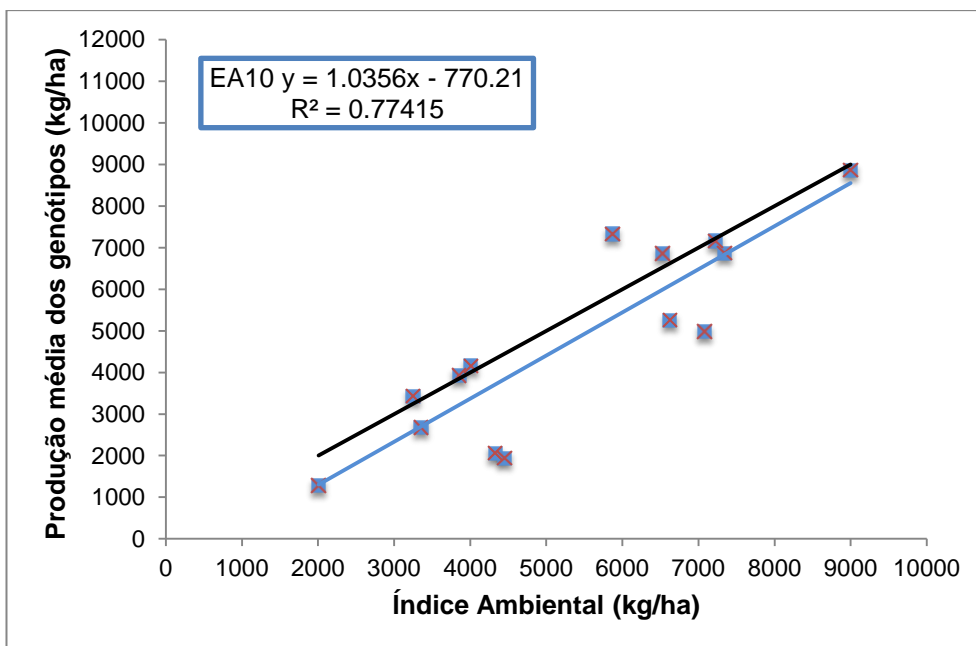


Figura 4.21 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA10 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

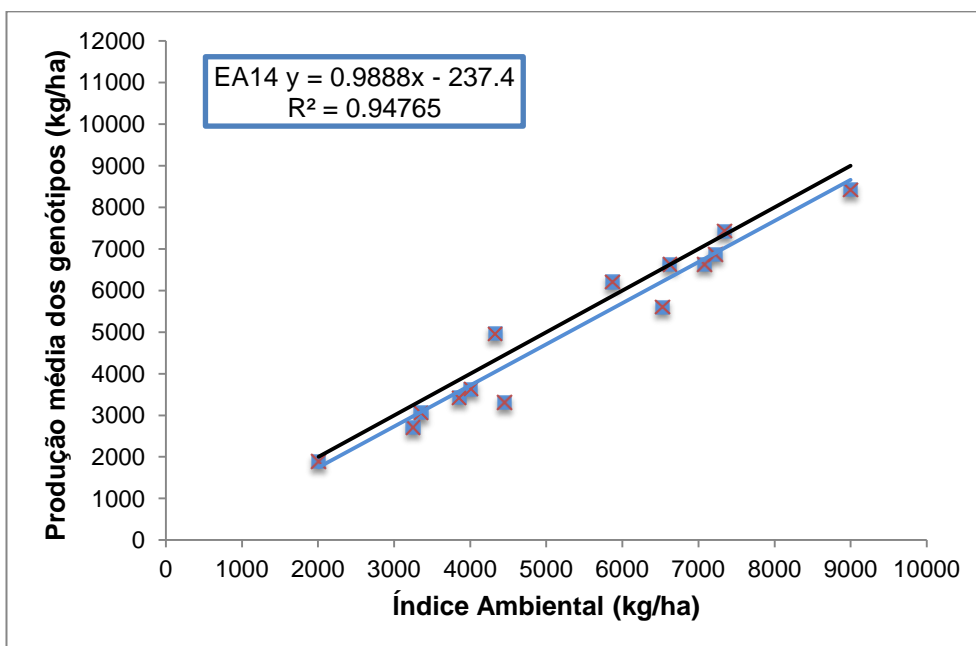


Figura 4.22 - Retas de regressão mostrando a relação entre a produção individual do genótipo EA14 e a média da população de 15 genótipos de trigo mole ensaiados em 2 locais e 7 anos.

Os dois índices importantes neste tipo de análise são o coeficiente de regressão e a média da produção do genótipo em todos os ambientes. Coeficientes de regressão próximos de 1,0 indicam estabilidade média. O segundo índice, a produção média do genótipo considerando todos os ambientes, constitui uma medida comparativa de

desempenho dos genótipos individualmente. A Figura 4.23 apresenta um gráfico destes dois índices como coordenadas.

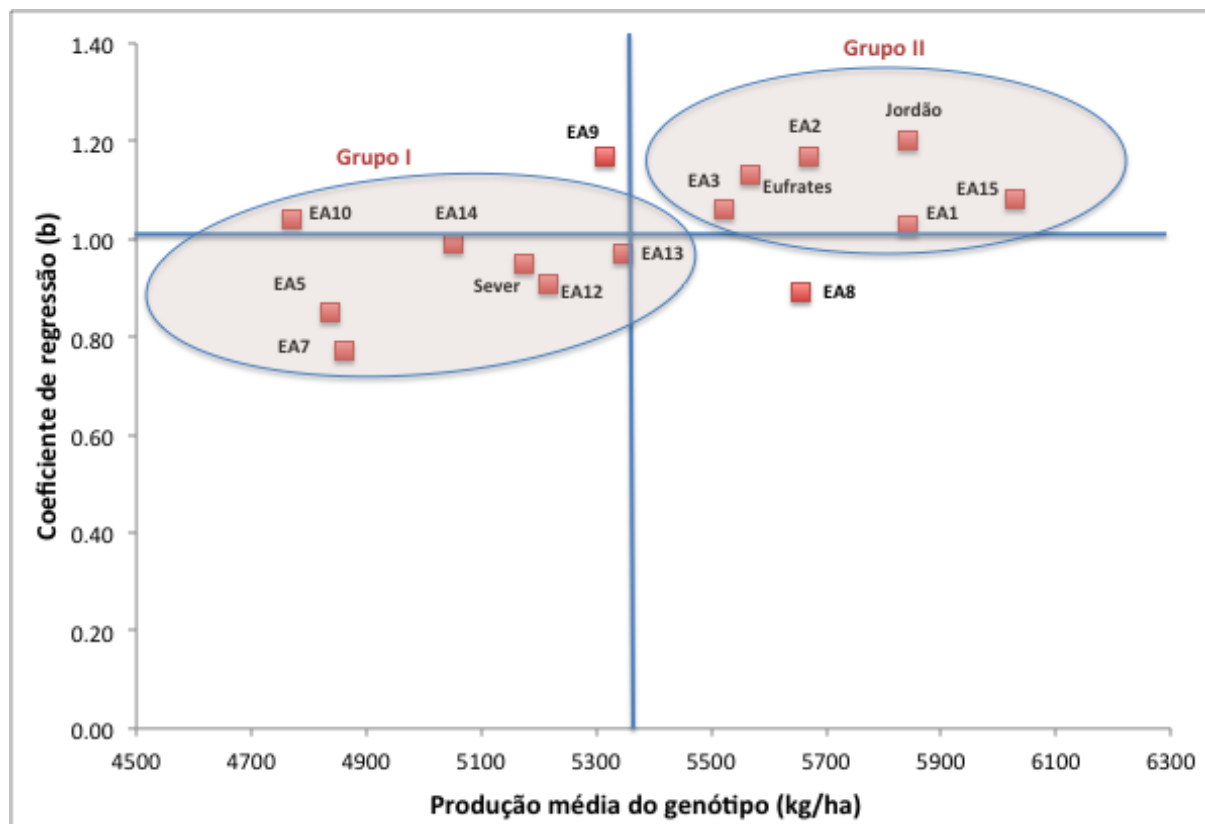


Figura 4.23 – Interpretação da representação gráfica dos coeficientes de regressão em função da produção média dos genótipos. Os genótipos foram agrupados em I e II. Os critérios considerados para a constituição dos grupos estão descritos no texto abaixo.

Analisando a Figura 4.23, é possível constatar que a maioria dos genótipos (com exceção do EA9) que apresentam  $b$  superior a 1 (acima da linha horizontal azul representada na figura) obtém paralelamente produções superiores à média geral de todos os ambientes em estudo (à direita da linha vertical representada na figura).

O grupo I (Figura 4.23) reúne os genótipos com coeficientes de regressão menores que 1,0 ou muito próximos da unidade (EA10 e EA14) e produção média inferior à média da população, os quais apresentam pior adaptação a ambientes favoráveis. O grupo II (Figura 4.23) reúne o conjunto de genótipos com coeficientes de regressão maiores ou iguais a 1. Estes são os genótipos com boa adaptabilidade geral, produzindo em média acima do índice ambiental médio; de realçar neste grupo o genótipo EA15 que produziu acima da média do ensaio em todas as situações ambientais (combinações local/ano).

## 5. Conclusões

Os programas de melhoramento, baseados principalmente em metodologias convencionais (cruzamentos artificiais entre progenitores com características de interesse e seleção de linhas segregantes), têm desempenhado um papel preponderante na obtenção de novo material genético com elevado potencial produtivo. A obtenção de materiais mais produtivos e resistentes a doenças e pragas e a introdução de técnicas culturais adequadas às exigências de novo germoplasma com maior potencial genético de produção têm contribuído para aumentos significativos na produtividade do trigo a nível mundial. Nos ambientes mediterrânicos esses avanços têm sido mais modestos comparativamente a outras regiões do globo com ambientes mais favoráveis à produção de trigo.

As temperaturas elevadas (temperaturas máximas acima dos 23°C) após a ântese e durante o período de enchimento do grão são um constrangimento importante que causa variação na produção de cereais nos ambientes mediterrânicos, reduzindo o número de grãos por unidade de superfície, quando ocorrem nas suas fases de formação e de desenvolvimento, e o peso potencial do grão, ao reduzirem a duração do período do seu enchimento. Qualquer mecanismo que contribua para a estabilidade destes parâmetros em ambientes com temperaturas altas no final do ciclo, será um contributo importante para minimizar esse efeito de *stress*.

A análise dos dados meteorológicos de Elvas e de Mirandela durante os anos de ensaios permitiu concluir que nestas regiões, no período que decorre entre a ântese e a maturação fisiológica do trigo, são frequentes (principalmente em Elvas) os dias com temperaturas médias e máximas acima do ótimo para o desenvolvimento do trigo. Os resultados dos ensaios de campo revelaram que o número médio de dias ao espigamento em Elvas foi inferior ao verificado em Mirandela e que se verificou uma tendência inversa na duração do período de enchimento do grão. Em média, o número de dias deste período foi superior em Elvas comparativamente a Mirandela, o que se terá devido ao facto dos génotipos no final do ciclo em Mirandela terem estado sujeitos a temperaturas mais elevadas.

Nos ensaios de Elvas o génotipo EA8 obteve a melhor produção de grão com um valor médio, para o conjunto dos anos em estudo, de 5248 kg/ha. Nos ensaios de Mirandela, na maioria dos anos (excetuando 2000/01 e 2007/08), as produções de

grão foram mais elevadas do que nos ensaios de Elvas. O genótipo EA15 obteve a melhor média de produção (7326 kg/ha), logo seguido pela variedade testemunha Jordão com 6982 kg/ha e pelos genótipos EA2 e EA1 com 6627 kg/ha e 6598 kg/ha, respetivamente.

Os genótipos avaliados apresentaram comportamento distinto nos dois ambientes reforçando a constatação de que a produção de grão é uma característica quantitativa fortemente influenciada pelo ambiente.

Os valores médios do parâmetro “massa do hectolitro” situaram-se na sua maioria acima dos 80,00 kg/hl e não diferiram entre os dois locais de ensaio (Mirandela, 81,32 kg/hl e em Elvas, 81,16 kg/hl). O genótipo EA14 obteve o mais elevado peso do hectolitro (82,69 kg/hl em Elvas e 83,53 kg/hl em Mirandela).

A variedade testemunha Sever, caracterizada por possuir grão grande e pesado foi a que apresentou maior peso de mil grãos tanto em Elvas (43,54 g) como em Mirandela (43,31g). Neste local verificaram-se valores médios superiores para este parâmetro, confirmando os estudos de alguns autores em trigo, que referem a diminuição do peso dos grãos devido às temperaturas elevadas, como as que ocorreram em Elvas durante as fases de espigamento e ântese.

Para o estudo da estabilidade da produção utilizou-se a metodologia da regressão conjunta de Finlay e Wilkinson (1963), considerando que os genótipos com melhor adaptação geral são aqueles que apresentem um  $b$  (declive da reta de regressão conjunta) maior ou igual a 1 e produção superior ao índice ambiental. Esta análise permitiu identificar genótipos com:

- a) Elevada produção no ambiente mais favorável, elevada produção média e valor de  $b$  muito próximo da unidade (EA15 e EA1);
- b) Elevada produção média e  $b$  superior a 1 (Jordão, EA2 e Eufrates);
- c) Elevada produção média e  $b$  inferior a 1 (EA8);
- d) Produção média inferior ao índice ambiental e  $b$  superior a 1 (EA9);
- e) Produção média inferior à média da população e  $b$  inferior à unidade (EA12, Sever, EA7 e EA5);
- f) Produção média inferior à média da população e coeficiente de regressão próximo de 1 (EA10 e EA14).

Constatou-se que a maioria dos genótipos (com exceção do EA9) que apresentam *b* superior a 1 obtém paralelamente produções superiores à média geral de todos os ambientes em estudo. Os genótipos EA15, EA1, EA3, EA2 e as variedades Eufrates e Jordão exibem boa adaptação e respondem, em termos de produção de grão, a melhorias no ambiente.

De realçar o comportamento apresentado pelo genótipo EA15 que produziu acima da média em todas as situações ambientais (combinações local/ano) e da variedade Jordão que alcançou uma das melhores produções (10785 kg/ha) no ambiente com maior índice ambiental (Mirandela 2001/02).

A Rede de Ensaio de Adaptação engloba anualmente o conjunto dos melhores genótipos identificados pelo programa de melhoramento de trigo da EMP-Elvas após avaliação dos genótipos em ensaios de produção num só local. Como resultado deste estudo, visando genótipos melhor adaptados ao ambiente foi possível identificar e selecionar material com adaptabilidade e estabilidade de produção. Numa situação ideal de ausência de restrição de recursos humanos e materiais seria favorável a inclusão de um maior número de genótipos na REA.

Um facto que vem chamando a atenção das sociedades nos últimos anos é o aquecimento global. A mitigação às alterações climáticas passa por medidas atenuadoras do efeito de estufa e paralelamente pelo melhoramento de plantas para adaptação a *stresses* ambientais que limitem a produção. Os programas de melhoramento genético de cereais, entre outros, devem levar em consideração tal realidade e trabalhar no sentido de detetar variabilidade genética face aos diversos constrangimentos, como por exemplo, a tolerância às temperaturas elevadas (*stress* térmico) que se fazem sentir durante a fase de enchimento do grão, nos ambientes mediterrânicos.

A obtenção, seleção e inscrição de novas variedades no Catálogo Nacional de Variedades, portadoras de boas características considerando os novos cenários ambientais (alterações climáticas, introdução do regadio) é, por si só, estímulo suficiente para a continuação do trabalho de melhoramento genético numa perspectiva de fornecer ao agricultor a variedade mais adaptada e mais produtiva, com a consciência de que minorar a dependência alimentar do país é um objetivo estratégico e muito importante, apesar dos condicionalismos existentes.



## 6. Bibliografia

Abbate, P.E., Andrade, F.H. e Culot, J.P., 1995. The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *Journal of Agricultural Science*, 124, 351-360.

Acevedo, E., Silva, P. e Silva, H., 2002. Wheat growth and physiology. In *Bread Wheat – improvement and production*. (Curtis, B.C., Rajaram, S. e Macpherson, H.G. Eds.), FAO Plant Production and Protection Series, 30, pp. 39-70.

Acreche, M.M., Briceño-Felix, G., Sanchez, J.A.M. e Slafer, G.A., 2008. Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *European Journal of Agronomy*, 28, 162-170.

Agroconsultores & Coba, 1991. *Carta de solos do Nordeste de Portugal*. PDRITM/UTAD, Vila Real.

Ahmed, M., Hassan, F.U. e Asif, M., 2012. Physiological response of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to high temperature and moisture stress. *Australian Journal of Crop Science*, 6(4), 749-755.

Al-Khatib, K. e Paulsen, G.M., 1984. Mode of high temperature injury to wheat during grain development. *Physiologia Plantarum*, 61 (3), 363-368.

Almeida, A.S.V.D., 2007. *Parâmetros Analíticos de Selecção do Trigo em Ambiente Mediterrânico-Produção e Qualidade*. Dissertação de doutoramento, FCT-UNL, Lisboa.

Alves, J.A., 1961. O problema da manutenção da fertilidade na agricultura do Sul. Notas para o seu estudo. *Melhoramento*, 14, 5-456.

Anderson, W.K., 1992. Increasing grain yield and water use of wheat in rainfed mediterranean type environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43, 1-17.

Antunes, M.P.S. e Bagulho, F., 1994. Repercussão dos trigos da ENMP na agricultura nacional. *Melhoramento*, 33, I, 169-180.

Austin, R.B., Morgan, C.L., Ford, M.A. e Blackwell, R.D., 1980. Contributions to grain yield from pre- anthesis assimilation in tall and dwarf barley phenotypes in two contrasting seasons. *Annals of Botany*, 45, 309-319.

Bagulho, F., 1988. Perspectivas da cultura de cereais de sequeiro em Portugal. Comunicação apresentada no Workshop Luso-Israelita: *A Agricultura extensiva em zonas áridas e semi-áridas*, EAN, 1-15.

Bagulho, F., 1996. *Prometrisul – Programa de melhoramento de triticales para o Sul de Portugal*. Programa de Investigação para efeitos de concurso a Investigador Coordenador do INIA, Elvas.

Bagulho, F. e Gonçalves, M.J., 1988. Novas perspectivas na evolução do trigo mole em Portugal. *Melhoramento*, 30, 29-39.

Baker, C.K. e Gallagher, J.N., 1983. The development of winter wheat in the field. The control of primordium initiation rate by temperature and photoperiod. *Journal of Agricultural Science*, 101, 337-344.

Baldy, C., 1992. Effets du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en Méditerranée occidentale. In *Tolerance à la sécheresse des cereals en zone méditerranéenne. Diversité génétique et amélioration variétale*. (INRA Ed.), Paris, pp. 83-99.

Barradas, M.T. 1966. Alguns problemas do melhoramento do trigo em Portugal. *Genética Ibérica* 17, 155-176.

Barradas, M.T. 1972. A aplicação da teoria do retrocruzamento convergente no melhoramento de uma linha de trigo. *Melhoramento*, 24, 24-43.

Barradas, M.T. e Bagulho, F. 1966. Experimentação em linhas mexicanas de *T. aestivum*. Resultados preliminares. *Melhoramento*, 20, 101-147.

Barradas, M.T. e Bagulho, F. 1984. Presente e tendências do melhoramento do trigo panificável em Portugal. *Seminário sobre a agricultura portuguesa*, Lisboa, pp. 1-15.

Barradas, M.T., Bagulho, F. e Maças, B. 1996. Referências do melhoramento do trigo panificável em Portugal. *Melhoramento*, 34, 5-18.

Bassett, L.M., Allan, R.E. e Rubenthaler, G.L. 1989. Genotype x environment interactions on white winter wheat quality. *Agronomy Journal*, 81, 955-960.

Bellido, L.L., 1991. *Cultivos Herbáceos - Cereales*. Vol. 1, Mundi-Prensa Ed., Madrid.

Bilgin, O., Korkut, K., Baser, I., Daglioglu, O., Öztürk, I., Kahraman, T. e Balkan, Y., 2011. Genetic variation and inter-relationship of some physiological traits in durum wheat (*Triticum durum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 43(1), 253-260.

Blum, A., 1985. Breeding crop varieties for stress environments. *CRC critical review in plant sciences*, 2(3), 199-238.

Blum, A., 1996. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve utilization. In *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Wheat Conference on Prospects for Global Improvement*. (Braun, H.J., Altay, F., Kronstad, W.E., Beniwal, S.P.S. e McNab, A. Eds.), Kluwer Academic Publishers, Ankara, pp. 135-142.

Blum, A., Sinmena, B., Mayer, J., Golan, G. e Shpiler, L., 1994. Stem reserve mobilization supports wheat-grain filling under heat stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 771-781.

Brennan, P.S. e Byth, D.E., 1979. Genotype x environmental interactions for wheat yields and selection for widely adapted wheat genotypes. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30, 221-232.

Calderini, D.F., Abeledo, L.G., Savin, R. e Slafer, G.A., 1999. Final grain weight in wheat as affected by short periods of high temperature during pre- and pos-anthesis under field conditions. *Australian Journal of Plant Physiology*, 26, 453-458.

Cardoso, J.C., 1965. *Os solos de Portugal: sua classificação e génese: I. A Sul do rio Tejo*. Direcção Geral dos Serviços Agrícolas, Lisboa.

Cardoso, J.C., Bessa, M.T. e Marado, M.B., 1978. *Carta dos solos (III.1)*. Comissão Nacional do Ambiente, Instituto Hidrográfico, Lisboa.

Cargnin, A., Souza, M.A., Carneiro, P.C.S. e Sofiatti, V., 2006. Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção em trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(6), 987-993.

Ceccarelli, S., 1989. Wide adaptation: How wide? *Euphytica*, 40, 197-205.

Ceccarelli, S., 1994. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica*, 77, 205-219.

Chaves, L.J., 2001. Interação de genótipos com ambientes. In *Recursos genéticos e melhoramento - Planta*. (Nass, L.L., Valois, A.C.C., Melo, I.S. e Valadares-Ingliš, M.C. Eds.), Fundação MT, Rondonópolis, pp.673-713.

Chaves, L.J., Vencovsky, R. e Geraldi, I.O., 1989. Modelo não-linear aplicado ao estudo da interação genótipo x ambiente em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 24, 259-268.

Chowdhury, S.I. e Wardlaw, I.F., 1978. The effect of temperature on kernel development in cereals. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 205-223.

Correia, F.M.P. e Martins, M.A.P., 2012. O clima de Trás-os-Montes - características, curiosidades e evolução. *AC Revista Júnior de Investigação*, ESE-IPB-Ed. vol. 1, 24-33.

Cossani, C.M., Slafer, G.A. e Savin, R., 2009. Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *Field Crop Research*, 112, 205-213.

Coutinho, J., 1991. *Estudo preliminar de 11 cultivares de trigo mole (T. aestivum L. Thell) representativas de várias fases de melhoramento em Portugal*. Dissertação do curso de mestrado em Produção Vegetal, UTL, ISA, Lisboa.

Cruz, C.D., e Regazzi, A.J., 1997. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. UFV Ed., 2ªed. rev., Viçosa.

Delécolle, R., Hay, R.K.M., Guerif, M, Pluchard, P. e Varlet-Grancher, C., 1989. A method of describing the progress of apical development in wheat based on the time-course of organogenesis. *Field Crops Research*, 21, 147-160.

Dias, A.S., 1998. *Definição de critérios de seleção em Trigo mole para a região mediterrânica do Sul de Portugal*. Tese da licenciatura em Engenharia Agrícola, UE, Évora.

Dupont, F.M. e Altenbach, S.B., 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*, 38, 133-146.

Eberhart, S.A. e Russel, W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.

EUROSTAT, 2012. (URL: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>, consulta em 12-09-2012).

Evans, L.T. e Wardlaw, I.F., 1976. Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. *Advances in Agronomy*, 28, 301-359.

Evans, L.T. e Wardlaw, I.F., 1996. Wheat. In *Photoassimilate distribution in plants and crops: source and sink relationships*. (Zamski, E. e Schaffer, A.A. Eds.), Marcel Dekker, New York, pp. 501-518.

Evans, L.T., Wardlaw, I.F. e Fischer, R.A., 1975. Wheat. In *Crop Physiology: Some Case Histories*. (Evans, L.T. Ed.), Cambridge University Press, Cambridge, pp.101-149.

Falconer, D.S. e Mackay, T.F.C., 1996. *Introduction to quantitative genetics*. Longman, 4ª Ed., London.

FAO, 2011. Crop Prospects and Food Situation Report. (URL: <http://www.fao.org/docrep/013/a1977e/a1977e00.pdf>, consulta em 13-09-2012).

FAOSTAT, 2012. (URL: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx#ancor>, consulta em 16-09-2012).

Feio, M., 1991. *Clima e Agricultura-Exigências climáticas das principais culturas e potencialidades agrícolas do nosso clima*. MAPA - DGPA, Lisboa.

Finlay, K.W. e Wilkinson, G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14, 742-754.

Fisher, R.A., 1980. Influence of water stress on crop yield semiarid regions. In *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. (Turner, N.C. e Kramer, P.J. Eds.), John Wiley and Sons, New York, pp.323-339.

Fisher, R.A. e Edmeades, G.O., 2010. Breeding and cereal yield progress. *Crop Science*, 50, 85-98.

Franceschi, L., Benin, G., Guarienti, E., Marchioro, V.S. e Martin, T.N., 2008. Fatores pré-colheita que afetam a qualidade tecnológica de trigo. *Ciência Rural*, Santa Maria.

Gallagher, J.N. e Biscoe, P.V., 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *Journal of Agricultural Science*, 91, 47-60.

Gomes, M.C., 1999. *Identificação de variabilidade genética para resistência/tolerância a elevadas temperaturas na fase final do ciclo, em genótipos de trigo (Triticum sp.)*. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Melhoramento de Plantas, UE, Évora.

Hanft, J.M. e Wych, R.D., 1982. Visual indicators of physiological maturity of hard red spring wheat. *Crop Science*, 22, 584-587.

Harris, H.C., Goebel, W. e Cooper, P.J.M., 1987. Crop genotype-environment interaction. In *Drought tolerance in winter cereals*. (Srivastava, J.P., Porceddu, E., Acevedo, E. e Varma, S. Eds.), John Willey & Sons, Ltd., New York, pp. 37-53.

Haun, J.R., 1973. Visual quantification of wheat development. *Agronomy Journal*, 65, 116-117.

Hay, R.K.M. e Kirby, E.J.M., 1991. Convergence and synchrony – a review of the coordination of development in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42, 661-700.

Hossain, A., Silva, J.A.T., Lozovskaya, M.V., Zvolinsky, V.P. e Mukhortov, V.I., 2012. High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in south-eastern Russia: Yield, relative performance and heat susceptibility index. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 4(11), 184-196.

Jenner, C.F., 1991. Effects of exposure of wheat ears to high temperature on dry matter accumulation and carbohydrate metabolism in the grain of two cultivars. II. Carry-over effects. *Australian Journal of Plant Physiology*, 18, 179-190.

Kang, M.S., 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy*, 62, 199-252.

Khanna-Chopra, R. e Viswanathan, C., 1999. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *T. aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. *Euphytica*, 106,169-180.

Kirby, E.J.M., 1990. Co-ordination of leaf emergence and leaf and spikelet primordium initiation in wheat. *Field Crops Research*, 25, 253-264.

Kirby, E.J.M., 1998. Plant Development. In *Assessments of Wheat Growth to Support its Production and Improvement*. Vol. 1, (Sylvester-Bradley, R., Scott, R.K., Clare, R.W. e Duffield, S.J. Eds.), Home-Grown Cereals Authority, London, pp.8-13.

Kirby, E.J.M. e Appleyard, M., 1984. Cereal plant development and its relation to crop management. In *Cereal Production*. (Gallagher, E.J. Ed.), Butterworth's, London, pp. 161-173.

Kirby, E.J.M. e Appleyard, M., 1987. Development and structure of the wheat plant. In *Wheat Breeding*. (Lupton, F.G.H. Ed.) Chapman & Hall, London, pp.287-311.

Kolderup, F., 1975. Effects of temperature, photoperiod and light quality on protein production in wheat grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26, 583-592.

Köppen, W., 1936. *Das Geographische System der Klimate-Handbuch der Klimatologie*. Vol. 1, Berlin.

Landsberg, J.J., 1977. Effects of weather on plant development. In *Environmental Effects on Crop Physiology*. (Landsberg, J.J. e Cutting, C.V. Eds.), Academic Press, London, UK, pp. 289-307.

Large, E.C., 1954. Growth stages in cereals. Illustration of the "Feekes" scale. *Plant Pathology*, 3, 129-129.

Loss, S.P. e Siddique, K.H.M., 1994. Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Advances in Agronomy*, 52, 229-277.

Lukow, O.M. e McVetty, P.B.E., 1991. Effect of cultivar and environment on quality characteristics of spring wheat. *Cereal Chemistry*, 68, 597-601.

Maçãs, B., 1996. *Definição de Critérios de Selecção de Trigo Mole (Triticum aestivum L.) para as condições do ambiente mediterrânico do Sul de Portugal*. Dissertação apresentada no Instituto Nacional de Investigação Agrária para efeitos de concurso para Investigador Auxiliar, Elvas.

Maçãs, B., Almeida, A.S., Costa, R., Coutinho, J., Costa, A., Pinheiro, N., Gomes, C. e Coco, J., 2011. Melhoramento genético do trigo em Portugal – Progressos na produtividade nos últimos 60 anos. In *Agrorrural: Contributos científicos*. (INRB e INCM Eds.), Lisboa, pp. 986-997.

Maçãs, B., Coutinho, J. e Dias, A.S., 1998. Oportunidades para aumentar o potencial produtivo do trigo da região mediterrânica do Sul de Portugal. I-Produção de biomassa. Componentes da produção e índice de colheita. *Melhoramento* 35, 5-18.

Maçãs, B., Gomes, M.C. e Dias, A.S., 1999. Efeito das temperaturas elevadas durante o enchimento do grão em trigo mole e rijo no Sul de Portugal. *Melhoramento* 36, 27-45.

Maçãs, B., Gomes, M.C., Dias, A.S. e Coutinho, J., 2000. The Tolerance of durum wheat to high temperatures during grain filling. In *Options Méditerranéennes – Durum wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges*. (Royo, C., Nachit, M.M., Di Fonzo, N. e Araus, J.L. Eds.), Serie A 40, CIHEAM, Zaragoza, pp. 257-261.

Mariotti, J.A., Oyarzabal, E.S., Osa, J.M., Bulacio, A.N.R. e Almada, G.H., 1976. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de caña de azúcar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 14, 105-127.

Martin, J.H., Leonard, W.H. e Stamp, D.L., 1976. *Principles of field crop production*. Macmillan, New York.

McDonald, G.K. Sulton, B.A. e Ellison, F.W., 1983. The effect of time of sowing on the grain yield of irrigated wheat in the Namoi Valley, New South Wales. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34, 229-240.

Mexia, A.M.M., 1985. *A cultura do trigo e os prejuízos causados por algumas pragas. Subsídios para o seu cálculo*. Dissertação do curso de mestrado em Produção Vegetal, UTL, ISA, Lisboa.

Miralles, D.J. e Slafer, G.A., 1999. Wheat development. In *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. (Satorre, E.H. e Slafer, G.A. Eds.), The Haworth Press, New York, pp. 13-43.

Mohammadi, M., Karimizadeh, R., Sabaghnia, N. e Shefazadeh, M.K., 2012. Genotype x environment interaction and yield stability analysis of new improved bread wheat genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(1), 67-73.

Monteith, J.L., 1984. Consistency and convenience in the choice of units for agricultural science. *Experimental Agriculture*, 20, 125-137.

Mossad, M., Ortiz-Ferrara, G. e Mahalakhmi, V., 1995. Tiller development and contribution to yield under different moisture regimes in two *Triticum* species. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 174, 173-180.

Nicolas, M.E., Gleadow, R.M. e Dalling, M.J., 1984. Effects of drought and high temperature on grain growth in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11, 553-566.

Oliveira, A.C., 1976. *Comparação de alguns métodos de determinação da estabilidade em plantas cultivadas*. Dissertação do curso de mestrado em Ciências Agrárias, UB, Brasília.

Oliveira, A.J.S., 1961. O tempo e a produção unitária de trigo. *Lavoura Portuguesa*, 7, 10-14.

Oliveira-Marques, A.H., 1971. *Dicionário da História de Portugal*. Vol. I, II e III. (Palas Eds.), 11<sup>a</sup>ed., Lisboa.

Oliveira, D.M., Souza, M.A., Rocha, V.S. e Assis, J.C., 2011. *Desempenho de genitores e populações segregantes de trigo sob estresse de calor*. *Bragantia* (Eds.), 70, 1<sup>a</sup>ed., Campinas.

Peneda, A.J.F., 2009. *Optimização da fileira do olival na Herdade de Alcobaça*. Relatório de Estágio do Curso de Mestrado em Agricultura Sustentável ESAE-IPP, Elvas.

Peterson, R.F., 1965. *Wheat: botany, cultivation and utilization*. Leonard Hill, London.

Pinheiro, N.M.B., 2001. *Influência do ambiente no potencial produtivo e tecnológico de linhas de trigo mole (Triticum aestivum L.)*. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia das Ciências Agrárias-ramo agrícola, ESACB-IPCB, Castelo Branco.

Porter, J.R., Kirby, E.J.M., Day, W., Adam, J.S., Appleyard, M., Ayling, S., Baker, C.K., Beale, P., Belford, R.K., Biscoe, P.V., Chapman, A., Fuller, M.P., Hampson, J., Hay, R.K.M., Hough, M., Matthews, S., Thompson, W.J., Weir, A.H., Willington, V.B.A. e Wood, D.W., 1987. An analysis of morphological development stages in Avalon winter wheat crops with different sowing dates and at ten sites in England and Scotland. *Journal of Agricultural Science*, 109, 107-121.

Rahman, M.S. e Wilson, J.H., 1978. Determination of spikelet number in wheat. III. Effect of varying temperature on ear development. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 459-467.

Rahman, M.S., Wilson, J.H. e Aitken, V., 1977. Determination of spikelet number in wheat. II. Effect of varying light level on ear development. *Australian Journal of Agricultural Research*, 26, 575-581.

Rajala, A., Hakala, K., Makela, P., Muurinen, S. e Peltonen-Sainio, P., 2009. Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. *Field Crops Research*. In press.

Rawson, H.M., 1971. An upper limit for spikelet number per ear in wheat as controlled by photoperiod. *Australian Journal of Agricultural Research*, 22, 537-546.

Regulamento CE Nº 1782/2003 do Conselho, publicado no Jornal Oficial da União Europeia em 21-10-2003.

Roberts, E.H., 1988. Temperature and seed germination. In *Plants and temperature. Symposia of the Society of Experimental Biology*. (Long, S.P. e Woodward, F.I. Eds.), Company of Biologist, Ltd., Cambridge, pp. 109-132.

Russel, G. e Wilson, G.W., 1994. *An Agri-Pedo-Climatological Knowledge-Base of Wheat in Europe*. Joint Research Centre: European Commission, Luxembourg.

Ruza, A., 2003. Relevance of winter wheat yield and quality formation. In *Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Congress of Nordic Association of Agricultural Scientists*. Turku, pp. 302-303.

Santos, F.D., Forbes, K. e Moita, R., 2002. *Climate Change in Portugal – Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – SIAM Project*. Gradiva, Lisboa.

Santos, F.D. 2006. 1.Problemática das alterações climáticas no início do século XXI. *Alterações Climáticas em Portugal – Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação – Projeto SIAM II*. (Santos, F.D. e Miranda, P. Eds.), Gradiva, Lisboa, pp. 21-43.

Savin, R. e Slafer, G.A., 1991. Shading effects on the yield of an Argentinean wheat cultivar. *Journal of Agricultural Science*, 116, 1-7.

Savin, R., Stone, P. e Nicolas, M.E., 1996. Responses of grain growth and malting quality of barley to short periods of high temperature in field studies using portable chambers. *Australian Journal of Agricultural Research*, 47, 465-477.

Sevinate-Pinto, A. 1998. A agricultura alentejana e o futuro – dez anos para mudar o Alentejo. *MODAA – Movimento em Defesa da Agricultura Alentejana*, 31-33.

Siddique, K.H., Kirby, E.J.M. e Perry, M.W., 1989. Ear: stem ratio in old and modern wheat varieties: relationship with improvement in number of grains per ear and yield. *Field Crops Research*, 21, 59-78.

Simmons, S.R. e Crookston, R.K., 1979. Rate and duration of growth kernels formed at specific florets in spikelets of spring wheat. *Crop Science*, 19, 690-693.

Sing, R.P., Huerta-Espino, J., Sharma, R., Joshi, A.K. e Trethowan, R. 2007. High yielding spring bread wheat germplasm for global irrigated and rainfed production systems. *Euphytica*, 157, 351-363.

Slafer, G.A. e Rawson, H.M., 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 393-426.

Slafer, G.A. e Rawson, H.M., 1995a. Photoperiod- temperature interactions in contrasting wheat genotypes: time to heading and final leaf number. *Field Crops Research*, 44, 73-83.

Slafer, G.A. e Rawson, H.M., 1995b. Intrinsic earliness and basic development rate assessed for their response to temperature in wheat. *Euphytica*, 83, 175-183.

Slafer, G.A. e Savin, R., 1991. Developmental base temperature in different phenological phases of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Experimental Botany*, 42, 1077-1082.

Sofield, I., Evans, L.T., Cook, M.G. e Wardlaw, I.F., 1977. Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 4, 785-797.

Squilassi, M.G., 2003. *Interação de genótipos com ambientes*. Embrapa Tabuleiros Costeiros, MAPA, Aracaju.

Srivastava, J.P., 1987. Barley and wheat improvement for moisture limiting areas in West Asia and North Africa. In *Drought tolerance in winter cereals*. (Srivastava, J.P., Porceddu, E., Acevedo, E. e Varma, S. Eds.), John Wiley & Sons Ltd., New York, pp. 61-78.

Sutka, J. e Snape, J.N., 1989. Location of a gene for frost resistance on chromosome 5A of wheat. *Euphytica*, 24, 41-44.

Tahir, I.S.A. e Nakata, N., 2005. Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 191, 106-115.

Tanner, C.B. e Sinclair, T.R., 1983. Efficient water use in crop production: research or re-search? In *Limitations to efficient water use in crop production*. (Taylor, H.M., Jordan, W.R. e Sinclair, T.R. Eds.), ASA, pp. 1-27.

Van Herwaarden, A.F., Angus, J.F., Richards, R.A. e Farquhar, G.D., 1998. "Haying off", the negative grain yield response on dryland wheat to N fertilizer. II. Carbohydrate and protein dynamics. *Australian Journal of Agricultural Research*, 49, 1083-1093.

Vasconcellos, J.C., 1933. Trigos portugueses ou de há muito cultivados no país. Subsídios para o seu estudo botânico. *Separata do Boletim de Agricultura*, Ano I – vol. 1 e 2, I Série, 1-150.

Verma, M.M., Chahal, G.S. e Murty, B.R., 1978. Limitation of conventional regression analysis: a proposed modification. *Theoretical and Applied Genetics*, 1, 89-91.

Wardlaw, I.F., Dawson, I.A. e Munibi, P., 1989b. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. II. Grain development. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40, 15-24.

Wardlaw, I.F., Dawson, I.A., Munibi, P. e Fewester, R., 1989a. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. I. Survey procedures and general response patterns. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40, 1-13.

Wardlaw, I.F., Sofield, I. e Cartwright, P.M., 1980. Factors limiting the rate of dry matter accumulation in the grain of wheat grown at high temperature. *Australian Journal of Plant Physiology*, 7, 387-400.

Wardlaw, I.F. e Wrigley, C.W., 1994. Heat tolerance in temperature cereals: an overview. *Australian Journal of Plant Physiology*, 21, 695-703.

Wiegand, C.L. e Cuellar, J.A., 1981. Duration of grain filling and kernel weight of wheat as affected by temperature. *Crop Science*, 21, 95-101.

Yamamoto, P.Y., 2006. *Interação genótipo x ambiente na produção e composição de óleos essenciais de Lippia alba (Mill.)*. Dissertação de Mestrado em Melhoramento Genético Vegetal. IAC, Campinas.

Yan, W. e Hunt, L.A., 1999. An equation for modeling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. *Annals of the Botany*, 84, 607-614.

Yang, J., Sears, R.G., Gill, B.S. e Paulsen, G.M., 2002. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alien amphiploids to high temperature under controlled conditions. *Euphytica*, 126, 185-193.

Zadoks, J.C., Chang, T.T. e Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.