



Campos Experimentais do INIAV – Polo de Elvas (Foto de Artūrs Katamadze)

# ADAPTABILIDADE DE TRIGO-DURO – INTERAÇÃO GENÓTIPO \* AMBIENTE

A adaptação do trigo a um determinado ambiente depende da interação entre as características genéticas da variedade e o local onde é cultivado, resultando num conjunto complexo de combinações morfológicas, fisiológicas e funcionais que terão reflexos no rendimento final de grão.



Nuno Pinheiro<sup>1,2</sup>, Rita Costa<sup>1,2</sup>, Conceição Gomes<sup>1</sup>, José Coutinho<sup>1,2</sup>, Ana Sofia Bagulho<sup>1,2</sup>, José Moreira<sup>1,2</sup>, Armindo Costa<sup>1</sup>, Manuel Patanita<sup>2,3</sup>, José Soares<sup>3</sup>, Benvido Maças<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária



<sup>2</sup> GeoBioTec – Universidade Nova de Lisboa



<sup>3</sup> IPBeja/ESA – Instituto Politécnico de Beja – Escola Superior Agrária



## **Clima mediterrânico e principais constrangimentos**

As zonas do mediterrâneo são marcadas por um padrão climático irregular no que diz respeito à quantidade e à distribuição da precipitação, bem como pela ocorrência de períodos com elevadas temperaturas em fases fundamentais do desenvolvimento do trigo, sendo a mais limitante o período de enchimento do grão. Assim, a regularidade da produção de uma determinada variedade, em diferentes locais e durante vários anos, torna-se prioridade relativamente à superioridade produtiva anual.

## **Melhoramento genético**

O principal objetivo do programa de melhoramento genético de cereais autogâmicos da Estação Nacional de Melhoramento de Plantas em Elvas (ENMP), INIAV-Polo Elvas, é a obtenção de novas variedades de trigo-mole, trigo-duro, triticale, cevada, aveia e, mais recentemente, de arroz, e sua inscrição no Catálogo Nacional de Variedades (CNV). Procura-se adaptabilidade às condições impostas pelo clima mediterrânico, de modo a permitir a sustentabilidade dos sistemas de agricultura do país.

O recurso a cruzamentos artificiais permite a obtenção de variabilidade genética, requisito fundamental em qualquer programa de melhoramento de plantas. Nas gerações segregantes, identificam-se os genótipos portadores de genes de maior interesse transmitidos pelos progenitores, que, ao fim de cerca de 5/6 gerações, são testados e avaliados em ensaios de adaptação multilocal, para validação da estabilidade e regularidade, tanto agronómica como de qualidade tecnológica.

## **Interação Genótipo × Ambiente (G × A)**

A interação entre o genótipo (G) e o ambiente (A) é definida como o efeito do ambiente sobre o genótipo, resultando na resposta diferencial deste, face à variação de determinado ambiente. Esta interação é um grande desafio para os melhoradores, pois é possível que o melhor genótipo num determinado ambiente não o seja noutra e vice-versa.

## **Objetivo**

Este estudo pretende mostrar a resposta diferenciada na produção de grão, de diversos genótipos promissores do programa de melhoramento genético de cereais da ENMP durante dois anos agrícolas e em dois locais.

## **Material e métodos**

Utilizou-se como material vegetal 12 linhas avançadas do programa de melhoramento de trigo-duro do INIAV-ENMP, que incluem: a) genótipos obtidos por seleção de linhas segregantes provenientes de cruzamentos realizados nessa Instituição; b) linhas provenientes do programa de melhoramento do CIMMYT/ICARDA, fruto da longa colaboração existente entre estes organismos, e 3 variedades-testemunhas (2 portuguesas obtidas pelo INIAV-Elvas, Fado e Vadio, e 1 italiana, Antalis).

Os ensaios foram instalados em Elvas (INIAV-ENMP) e em Beja (Quinta da Saúde, IPBeja) nos anos agrícolas 2020/21 e 2021/22, delineados em blocos completamente casualizados de duas repetições, com talhões de 9,6 m<sup>2</sup>.

## **Técnicas culturais utilizadas e padrão climático**

Na Tabela 1 estão descritas as técnicas culturais utilizadas na condução dos ensaios durante os dois anos agrícolas avaliados.

As Figuras 1, 2, 3 e 4 ilustram os dados climáticos registados nos 2 anos de ensaio (2020/21 e 2021/22), em cada um dos locais.

No ano 2020/21 a precipitação total (1 dez–15 jun) foi de 338 mm em Elvas e 309 mm em Beja (Figuras 1 e 2). Existiu uma ligeira diferença entre ambos os locais no padrão de distribuição da precipitação, mas o registo das temperaturas (máximas e mínimas) foi mais ou menos semelhante. Ao nível das regas, houve uma diferença de 39 mm a mais, em Beja.

O ano 2021/22 foi considerado um ano seco, principalmente em Elvas, onde caíram 169 mm de precipitação comparativamente aos 256 mm de Beja (Figuras 3 e 4). Tendo em conta a baixa precipitação ocorrida, recorreu-se a regas suplementares, tendo

sido distribuídos 166 mm na Quinta da Saúde, através de *pivot*, e 70 mm na ENMP, através de um canhão de rega. Outro aspeto marcante neste ano foi o efeito das temperaturas máximas durante o período de enchimento do grão. A subida brusca da temperatura máxima verificada a meados de abril e no início do mês de maio, aliada ao *stress* hídrico e a valores elevados de evapotranspiração, condicionaram em grande parte os rendimentos deste ano agrícola.

### Análise estatística

Os dados foram analisados recorrendo a uma análise de variância (ANOVA), onde se avaliaram as diferenças entre as produções dos diferentes genótipos (G) nos 2 locais e nos dois anos agrícolas (A). Como se observou interação do  $G \times A$ , calculou-se a adaptabilidade e a estabilidade da produção através do 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.

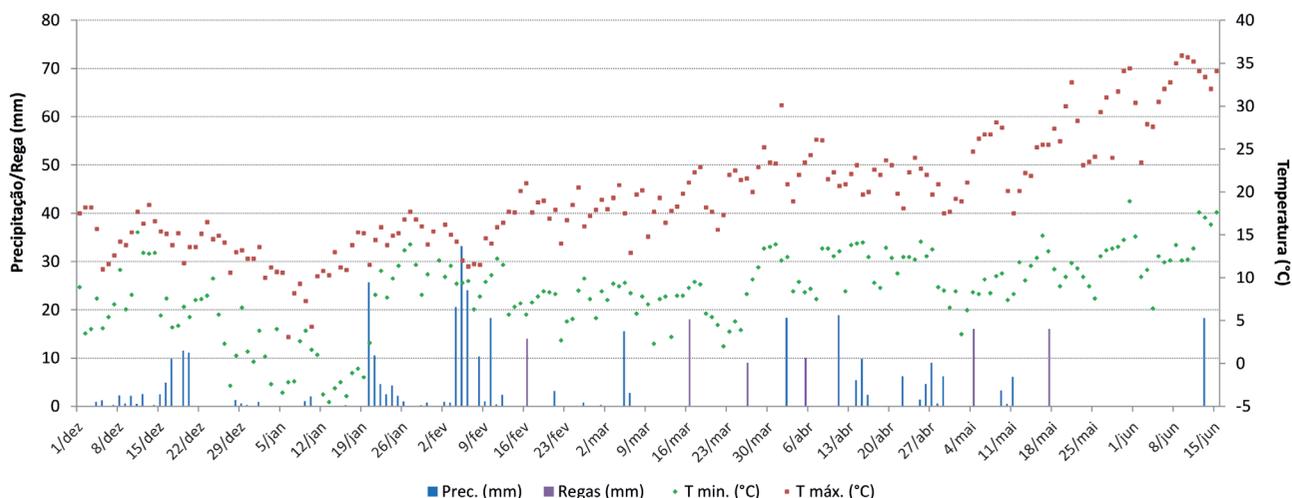
### Rendimento final de grão

Na Tabela 2 são apresentados os valores da produção, em kg/ha, nos dois locais (Elvas e Beja) durante os anos agrícolas 2020/21 e 2021/22. Analisando os dados, verifica-se que em 2020/21, um ano do ponto de vista climatológico bastante semelhante nos dois locais, as produções médias obtidas foram ligeiramente superiores em Beja (cerca de 1000 kg/ha), consequência da diferença verificada na data de sementeira, cerca de 3 semanas mais cedo (Tabela 1), e sobretudo a superior capacidade de armazenamento de água do solo, em Beja.

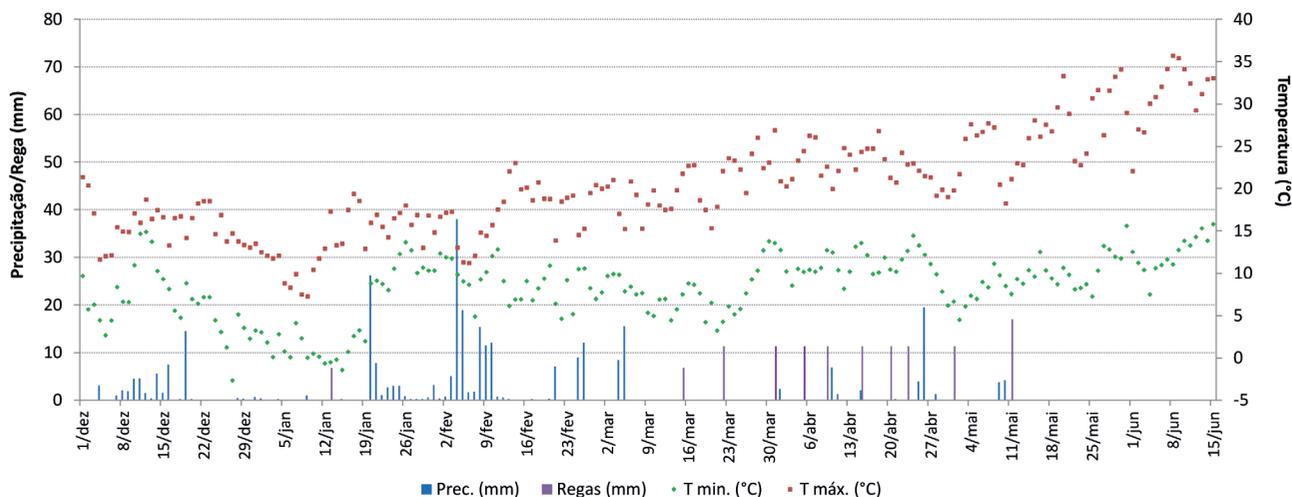
As condições climatológicas no ano agrícola 2021/22 foram adversas, com a ocorrência de pouca precipitação ao longo do ciclo vegetativo das plantas e com temperaturas máximas muito elevadas no período do enchimento do grão. Este padrão climático teve um impacto direto nas produções obtidas, principalmente em Elvas, com uma média geral do ensaio de 3599 kg/ha. Em Beja, os 87 mm de diferença na quantidade de precipitação verifi-

**Tabela 1 – Itinerário técnico utilizado ao longo dos dois anos 2020/21 e 2021/22 nos locais dos ensaios**

	2020/21		2021/22	
	ENMP (Elvas)	Quinta da Saúde (Beja)	ENMP (Elvas)	Quinta Saúde (Beja)
<b>Sementeira</b>	19/01/2021	26/12/2020	16/12/2021	14/12/2021
<b>Adubação de fundo</b>	200 kg/ha Duramon Única 207 07/12/2020	350 kg/ha Amicote 10-20-6 26/12/2020	300 kg/ha NPK 10-5-15 c/ Zn 10/12/2021	300 kg/ha NPK 12-24-12 13/12/2021
<b>1.ª adubação cobertura</b>	300 kg/ha Nitrolusal 27% 22/02/2021	250 kg/ha Nergetic Dynamic Ds+24 15/02/2021	250 kg/ha Nitrolusal 27% 10/02/2022	250 kg/ha Nergetic Dynamic Ds+24 24/02/2022
<b>2.ª adubação cobertura</b>	220 kg/ha Nitrolusal 27% 08/04/2021	200 kg/ha Nergetic Dynamic Ds+24 15/03/2021	150 kg/ha Nitrolusal 27% 02/03/2022	250 kg/ha Nergetic Dynamic Ds+24 04/03/2022
<b>3.ª adubação cobertura</b>	110 kg/ha Nitrolusal 27% 14/04/2021	200 kg/ha Nitrolusal 27% 12/04/2021	100 kg/ha Nitrolusal 27% 30/03/2022	250 kg/ha Nergetic Dynamic Ds+24 15/04/2022
<b>Herbicida pré-emergência</b>	–	Glyphosan (6 L/ha) 27/12/2020	Trigonil (2,5 L/ha) 15/12/2021	–
<b>Herbicida pós-emergência</b>	Atlantis (400 g/ha) 05/03/2021	Biathlon Extra (70 g/ha) 18/02/2021	Pacífica Plus (0,5 kg/ha) 27/01/2022	Galope (200 g/ha) 21/01/2022
<b>1.ª aplicação de fungicida</b>	Prosaro (1 L/ha) 09/03/2021	Trunfo (1 L/ha) 29/03/2021	Prosaro (1 L/ha) 18/04/2022	Tubetop Gold (1 L/ha) 18/03/2022
<b>2.ª aplicação de fungicida</b>	–	–	–	Trunfo (1 L/ha) 06/04/2022
<b>Debulha</b>	24/06/2021	13/07/2021	14/06/2022	01/07/2022



**Figura 1** – Temperaturas máxima e mínimas diárias, precipitação e regas registadas em Elvas em 2020/21. Precipitação total 337,5 mm. Regas 83 mm.



**Figura 2** – Temperaturas máxima e mínimas diárias, precipitação e regas registadas em Beja em 2020/21. Precipitação total 308,7 mm. Regas 122 mm.

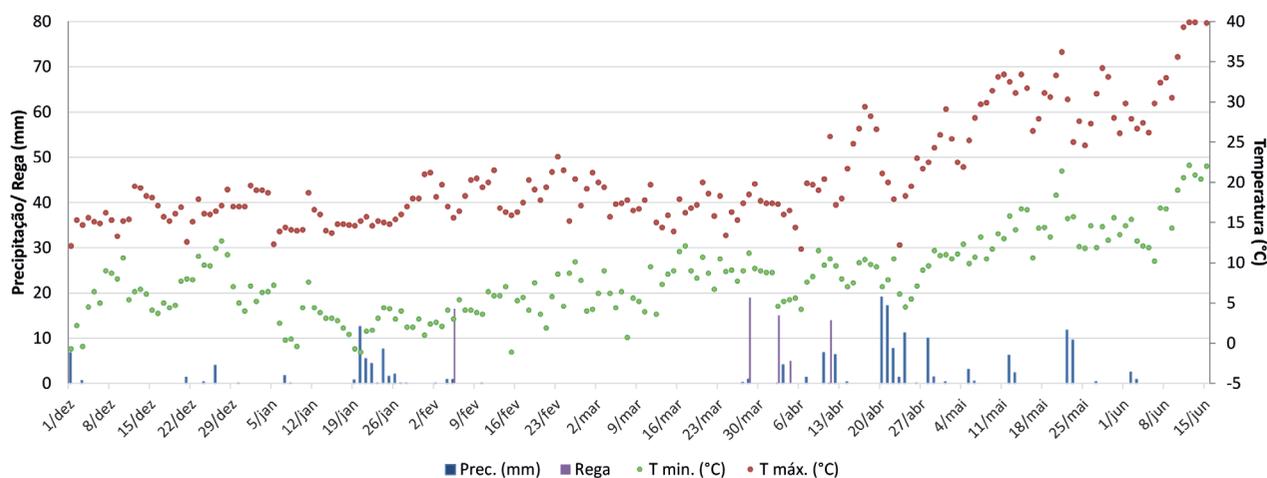
cada e os 96 mm nas regas, contribuíram para uma melhoria significativa das condições, com reflexos nos resultados obtidos (Tabela 2).

### Adaptabilidade e estabilidade

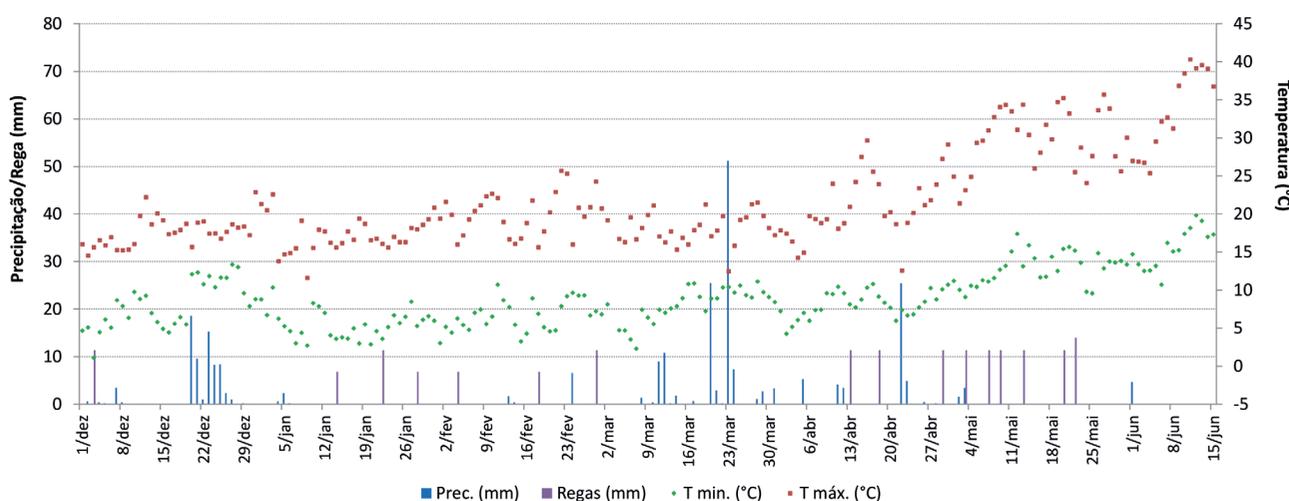
Considera-se que a adaptabilidade consiste na capacidade dos diferentes genótipos responderem positivamente a uma melhoria do ambiente ou, ainda, a capacidade de apresentarem produções elevadas e constantes em ambientes desfavoráveis, mas com aptidão de resposta a melhorias nas condições ambientais (Coco, 2013). Estabilidade define-se co-

mo a capacidade que um determinado genótipo apresenta em função das variações ambientais.

Uma vez que a análise de variância revelou interações estatisticamente significativas, quer para o ano, quer para o local, e com o objetivo de estudar a adaptabilidade e estabilidade da produção dos genótipos em avaliação, utilizou-se a metodologia de regressão conjunta proposta por Finlay e Wilkinson (1963), considerando que os genótipos com melhor adaptação geral são aqueles que apresentam um  $b$  (declive da reta de regressão) maior ou igual a 1 e a produção superior à média geral dos ensaios, nos



**Figura 3** – Temperaturas máxima e mínimas diárias, precipitação e regas registadas em Elvas em 2021/22. Precipitação total 169 mm. Regas 70 mm.



**Figura 4** – Temperaturas máxima e mínimas diárias, precipitação e regas registadas em Beja em 2021/22. Precipitação total 255,7 mm. Regas 166 mm.

dois anos e nos dois locais (que se considerou como o índice ambiental – IA). Esta análise forneceu os resultados que se apresentam nas Figuras 5, 6 e 7. Do ponto de vista do melhoramento, a seleção de genótipos ou linhas avançadas do programa de melhoramento do INIAV-Elvas, tendo como objetivo principal a adaptabilidade e estabilidade, deverá incidir naqueles que respondam a ambientes desfavoráveis, mas que correspondam positivamente à sua melhoria, como é o caso do regadio. Na Figura 5 podemos observar o comportamento das duas novas variedades inscritas em 2021 e 2022,

Gingão (EA11) e Bridão (EA12), comparativamente a duas testemunhas do ensaio, Fado e Vadio. A variedade Gingão apresenta uma estabilidade produtiva superior às testemunhas, quando o ambiente lhe é desfavorável (isto é, para a situação com potencial produtivo inferior a 4500 kg/ha), mas o seu potencial não é tão elevado aquando da melhoria do ambiente, como o Fado e o Vadio. A variedade Bridão, apesar de ter um  $b$  superior a 1 (Figura 5), não responde a ambientes mais desfavoráveis (abaixo dos 3500 kg/ha), mas apresenta potencial genético de produção face à melhoria ambiental.

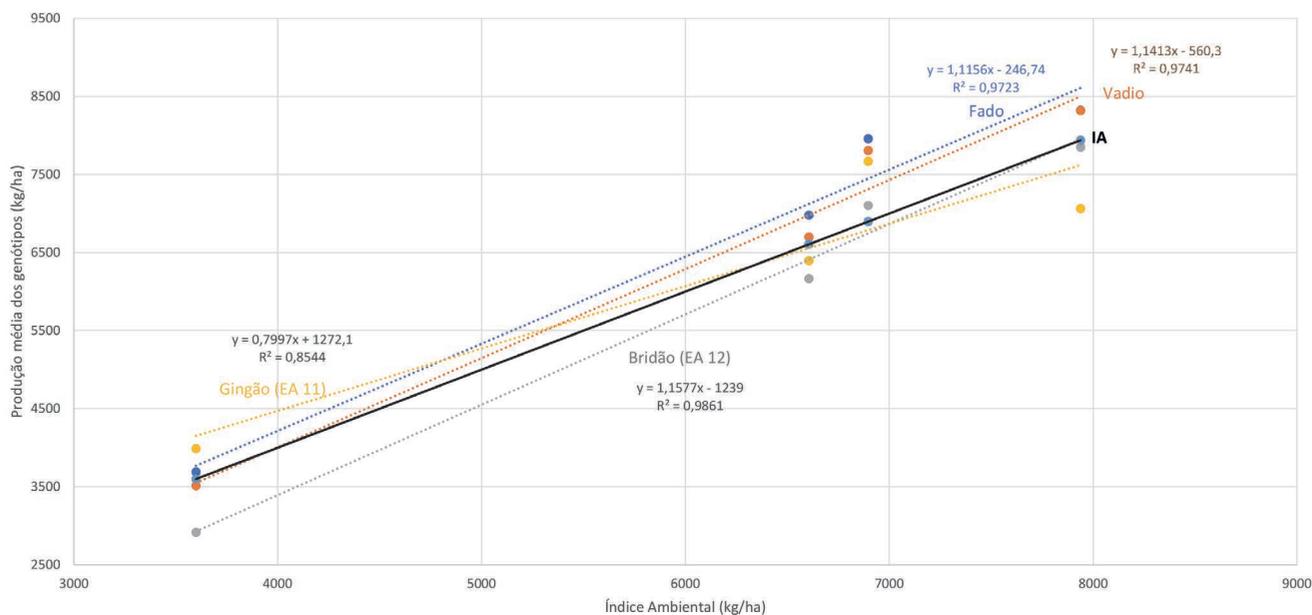
**Tabela 2 – Produção dos diferentes genótipos nos 2 locais e nos 2 anos de ensaio, e as respetivas médias, por genótipo (kg/ha)**

Genótipos	2020/2021			2021/2022		
	ENMP (Elvas)	Quinta Saúde (Beja)	Média genótipo	ENMP (Elvas)	Quinta Saúde (Beja)	Média genótipo
EA 1	7099	7521	7310	3760	6516	5138
EA 2	6703	8266	7485	3576	6026	4801
EA 3	6969	8583	7776	4116	7813	5965
EA 4	6109	7000	6555	3760	6422	5091
FADO	<b>7958</b>	<b>8323</b>	<b>8141</b>	<b>3690</b>	<b>6979</b>	<b>5335</b>
EA 6	6141	7375	6758	3463	5474	4469
EA 7	6568	7735	7152	3478	6328	4903
EA 8	6880	8707	7794	3502	6177	4840
EA 9	7271	7402	7337	4049	5755	4902
ANTALIS	<b>6370</b>	<b>8141</b>	<b>7256</b>	<b>3458</b>	<b>7724</b>	<b>5591</b>
EA 11	7667	7063	7365	3988	6396	5192
EA 12	7052	7848	7450	2916	6167	4542
EA 13	6000	8241	7121	3408	6422	4915
EA 14	6865	8589	7727	3309	7771	5540
VADIO	<b>7807</b>	<b>8317</b>	<b>8062</b>	<b>3513</b>	<b>7172</b>	<b>5343</b>
Média	<b>6897</b>	<b>7939</b>	<b>7398</b>	<b>3599</b>	<b>6609</b>	<b>5104</b>
Desvio Padrão	<b>697</b>	<b>608</b>	–	<b>353</b>	<b>913</b>	–
Mínimo	<b>5698</b>	<b>6906</b>	–	<b>2875</b>	<b>5156</b>	–
Máximo	<b>8385</b>	<b>9146</b>	–	<b>4325</b>	<b>8542</b>	–

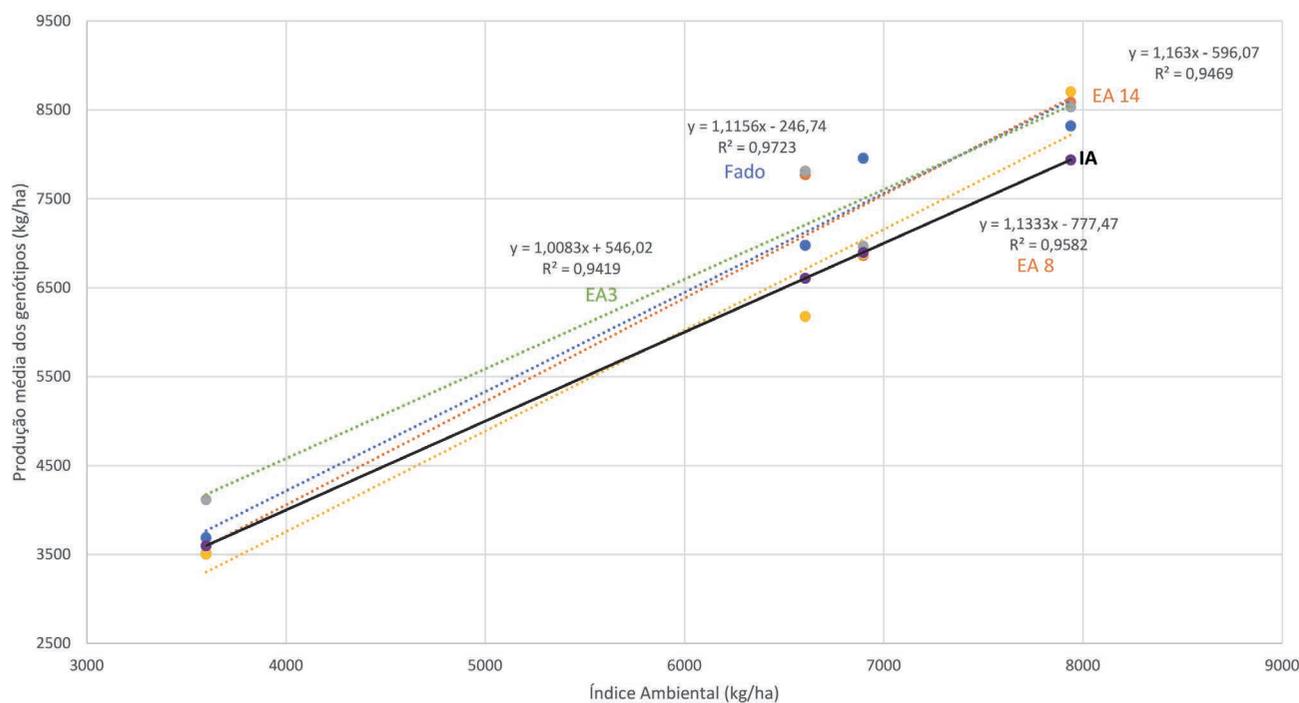
A Figura 6 mostra, para os dois anos de estudo e nos dois locais, o comportamento da testemunha Fado, face a três genótipos obtidos no programa de melhoramento de cereais: EA3, EA8 e EA14. Os genótipos EA3 e EA14 apresentam um comportamento sempre acima do Índice Ambiental (IA), destacando-se o EA3 com uma resposta positiva, com um bom comportamento quando o ambiente lhe é desfavorável e respondendo de forma semelhante à testemunha para um ambiente favorável (média EA3 – 6870 kg/ha e Fado 6737 kg/ha). O genótipo EA8 mostrou resposta abaixo do IA para ambientes mais desfavoráveis, mas com resposta positiva a ambientes favoráveis (Figura 6).

Na Figura 7 estão representados os restantes ge-

nótipos avaliados no ensaio, à exceção da terceira testemunha Antalis, que ao ser uma variedade de origem italiana, e com pouca expressão na cereali-cultura portuguesa, não foi considerada nesta análise. Como testemunha de comparação utilizou-se a variedade Vadio. Verifica-se que o comportamento deste grupo de genótipos esteve abaixo do IA, à exceção de EA4 e EA9, que mostraram resposta positiva quando as condições ambientais são mais difíceis, estando por cima da testemunha Vadio. Estes dois genótipos são linhas provenientes do programa de melhoramento do ICARDA, cuja seleção incide na resposta genética para ambientes mais difíceis.



**Figura 5** – Retas de regressão mostrando o comportamento das novas variedades inscritas comparativamente às testemunhas, nos dois anos e nos dois locais em relação ao índice ambiental (IA).

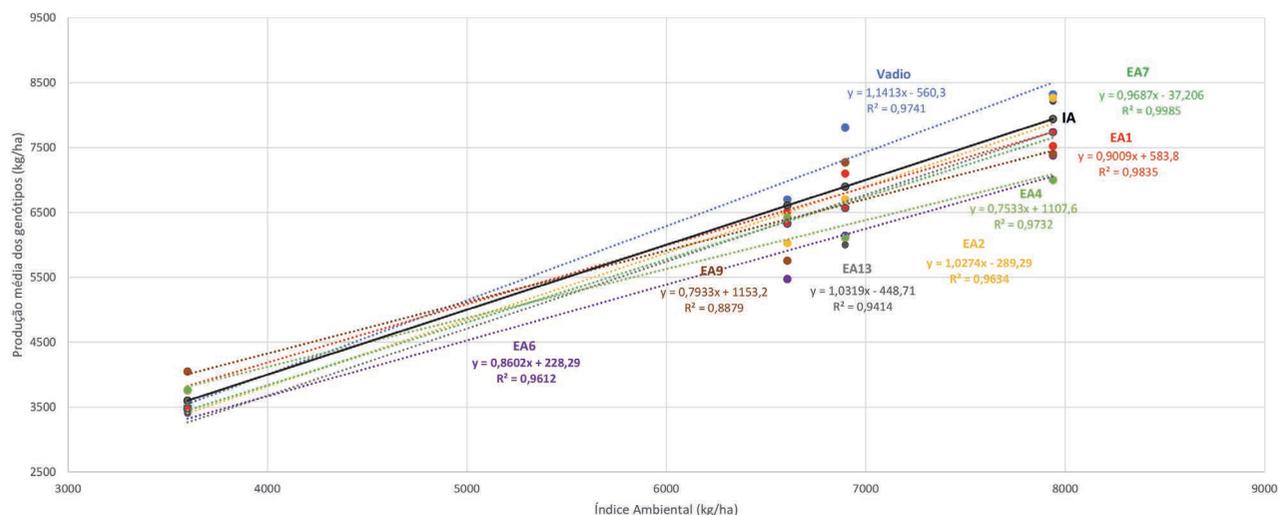


**Figura 6** – Retas de regressão. Os genótipos com comportamento acima do Índice Ambiental (IA) comparativamente à testemunha Fado, nos dois anos e nos dois locais.

## Considerações finais

O Programa de Melhoramento Genético de Cereais do INIAV-Elvas tem desempenhado um papel preponderante na identificação de genótipos com

adaptação, estabilidade e elevado potencial de produção. O melhoramento é um processo dinâmico de longa duração que acompanha a evolução dos sistemas de agricultura e das exigências da indús-



**Figura 7** – Retas de regressão. Os genótipos com comportamento abaixo do Índice Ambiental (IA) comparativamente à testemunha Vadio, nos dois anos e nos dois locais.

tria em termos de qualidade tecnológica, podendo verificar-se, através destes resultados, a forte influência do ambiente na determinação do comportamento das variedades.

A rede de ensaios de adaptação de trigo-duro engloba anualmente o conjunto dos melhores genótipos, ou linhas avançadas, identificados pelo programa de melhoramento, sendo esta a fase que antecede a candidatura de novas variedades ao Catálogo Nacional de Variedades (CNV).

Para o estudo da estabilidade e adaptabilidade efetuado, e considerando que os genótipos com melhor *performance* são aqueles que apresentam um  $b \geq 1$  e produção  $> IA$  (Índice ambiental), identificam-se os seguintes genótipos:

- EA3 – Elevada produção no ambiente mais favorável e com resposta positiva para ambientes desfavoráveis. Produção média acima do IA e das testemunhas;
- EA8 e EA14 – Elevada produção no ambiente mais favorável, elevada produção média e valor de  $b$  acima de 1.
- As testemunhas Fado e Vadio apresentaram um comportamento difícil de superar em ambos os ambientes.

A seleção e inscrição de novas variedades no CNV portadoras de características melhores e diferen-

ciadoras, considerando os cenários atuais (alterações climáticas, aumento da área irrigada e necessidade de produzir mais alimentos), é fundamental para fornecer à Agricultura Nacional – Sistema Agrícola – Agricultor, variedades cada vez mais adaptadas e mais produtivas. ☹

#### Referências bibliográficas

- Coco, J.A.C. (2013). Adaptabilidade e Estabilidade de Produção de Trigo Mole – Interação Genótipo  $\times$  Ambiente. Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Agricultura Sustentável. Escola Superior Agrária de Elvas. 103 p.
- 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.