

Efeito do regime hídrico e da fertilização azotada na produção e qualidade do trigo-mole para panificação na região do Alto Alentejo

Em regiões de clima mediterrânico há uma sobreposição das variáveis climáticas-chave com as fases críticas do ciclo de desenvolvimento do trigo. Adicionalmente, as alterações climáticas vão contribuindo para acentuar as irregularidades sazonais e interanuais da temperatura e da precipitação. As consequências desta variabilidade climática na produção do trigo fazem-se sentir não só ao nível fenológico (ciclo vegetativo) como também no seu potencial de produção.

Nuno Pinheiro, Rita Costa, Conceição Gomes, Ana Sofia Bagulho, José Coutinho, José Moreira, João Coco, Armindo Costa, Ana Sofia Almeida, Benvindo Maçãs . INIAV, I.P.



A redução da área de cereais praganosos em Portugal atingiu, na campanha de 2018/2019, o valor mais baixo dos últimos cem anos (INE, 2018). Com efeito, em trinta anos, a área de cereais praganosos reduziu de cerca de 900 mil hectares para 257 mil hectares, aproximadamente. Esta redução representa um decréscimo da produção agrícola nacional de 10% para 3,5%, apenas na última década. Uma grande parte desta área tem vindo a ser convertida em pastagem, outra abandonada e outra ocupada com culturas economicamente mais atrativas, como o oliveiro ou o amendoal.

Uma das grandes dificuldades da produção agrícola é a manutenção da sua estabilidade, que se deve, em grande parte, à grande variabilidade do clima mediterrânico. Uma das formas para minimizar este constrangimento deverá passar pela otimização agronómica do processo produtivo através da nutrição e/ou da rega, entre outras técnicas. Paralelamente, o melhoramento genético, com a obtenção de variedades mais adaptadas e portadoras de qualidade tecnológica, será sempre um pilar fundamental.

Esta espécie possui uma relativa tolerância à deficiência hídrica quando comparada à de outras culturas, devido à sua maior eficiência no uso da água, ao ter o seu centro de origem nas regiões semiáridas. O uso da água pelo trigo depende da variedade, do estádio fenológico, das condições climáticas, da disponibilidade de água no solo



Variedade de trigo-mole 'Antequera'

e das práticas agronómicas. Uma ajustada disponibilidade de água durante determinadas fases críticas da cultura, como o início do encanamento, o emborrachamento, a floração/antese e o enchimento do grão, proporciona melhores condições para a síntese e translocação de hidratos de carbono, favorecendo o número e o tamanho dos grãos e, consequentemente, a produção final (Bottino, 2013; Tomaz et al., 2018).

Por outro lado, a aplicação fracionada da fertilização azotada ao longo do ciclo vegetativo da cultura tem sido uma abordagem usual para a redução de perdas de azoto por lixiviação e aumento da sua eficiência por parte da planta. Este macronutriente é considerado um elemento essencial para a obtenção de elevados rendimentos e o seu teor é amplamente considerado como um fator com impacto direto na qualidade tecnológi-

ca, ao afetar o armazenamento de proteínas no grão, bem como a qualidade dessas mesmas proteínas.

De modo a fazer face às necessidades da cultura e melhorar a eficiência do uso dos fatores (água e azoto), num contexto de previsíveis mudanças no padrão climático, torna-se necessário encontrar compromissos de gestão integrados entre os diferentes aspectos quantitativos e qualitativos, adequando os fertilizantes, as doses, o fracionamento e o período mais recomendado para a sua aplicação (Tomaz et al., 2017).

Tendo como base estas considerações, e na sequência de resultados de estudos anteriores, surgiu o projeto INTERATrigo – Avaliação do rendimento e qualidade em trigo-mole em função das interações água-azoto. Os principais objetivos deste projeto foram:

- Avaliar os efeitos combinados dos regimes hídricos com os tratamentos de fertilização azotada nas respostas produtiva e de qualidade tecnológica de uma variedade de trigo-mole melhorador 'Antequera', inscrito na LVR – Lista de Variedades Recomendada para trigos-moles e trigos-duros de qualidade, nos anos 2016-2019.
- Identificar as combinações, regime hídrico x fertilização azotada que podem proporcionar os melhores resultados de produção e qualidade do grão.

Este artigo apresenta os principais resultados deste projeto, na EMP – Estação de Melhoramento de Plantas (INIAV – Elvas), relativamente aos componentes: produção de grão (kg/ha), número de grãos/m², peso de mil grãos (g), massa do hectolitro (kg/hl), teor de proteína no grão (%) e parâmetros alveográficos (força da massa – W, em 10⁻⁴ J, e a relação equilíbrio – P/L entre a tenacidade (P) e a extensibilidade (L), ambas em mm).

Material e métodos

Nos anos 2018 e 2019 instalaram-se a 3 e 4 de janeiro, respetivamente, dois ensaios de campo nos terrenos experimentais da EMP, em solos “Mediterrâneos Pardos de Quartzodioritos (Pmg)”, com dois fatores de estudo: regime hídrico e fertilização azotada (tipo de fertilizante e fracionamento/época de aplicação).

O desenho experimental adotado foi o de parcelas subdivididas (*split-plot*), com três repetições em blocos casualizados. Relativamente ao regime hídrico, as modalidades de rega foram as seguintes:

- **R₁**, que correspondeu ao regime de sequeiro, pelo que não se efetuou qualquer rega;
- **R₂** que correspondeu a rega deficitária, com rega a 100% ETc nas fases críticas de desenvolvimento vegetativo da cultura (emborrachamento, floração/antese e durante o enchimento do grão).

Nos oito tipos de fertilização azotada adotados, cuja dose total foi de 180 kg/ha, utilizaram-se quatro fertilizantes diferentes:

- **A1** e **A2**, tratamentos com o adubo clássico Foskamónio 12-24-12;
- **A3** e **A4**, tratamentos com o adubo Entec 20-10-10 que incorpora um inibidor de nitrificação;
- **A5** e **A6**, tratamentos com o adubo de libertação controlada Nericetic 20-8-6;
- **A7** e **A8**, tratamentos com o adubo Duramon Fuerza 20-5-5 que dispõe de um inibidor da urease.

Nas fertilizações de cobertura, ao afilhamento utilizou-se a Ureia 46% e ao encanamento e emborrachamento o adubo Nitro-

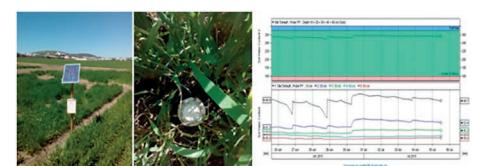


Figura 1 – Sonda capacitiva de registo contínuo para monitorizar a humidade do solo ao longo do ciclo da cultura, instalada no ano 2018



Figura 2 – Sonda Watermark de registo pontual para monitorização da humidade do solo durante o ciclo cultural, instalada no ano 2019

TABELA 1 – TIPOS DE FERTILIZAÇÃO AZOTADA, FRACIONAMENTO EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DE APLICAÇÃO (%) E ADUBOS DE FUNDO E DE COBERTURA UTILIZADOS

Tratamento de fertilização azotada	Fertilizante	Sementeira	Afilhamento	Encanamento	Emborrachamento
A1	Foskamónio	25	50	–	25
A2	12-24-12	25	25	25	25
A3	Entec	100	–	–	–
A4	20-10-10	50	–	–	50
A5	Nergetic	100	–	–	–
A6	20-08-10	50	–	–	50
A7	Duramon	100	–	–	–
A8	20-05-05	50	–	–	50
Fertilizante de cobertura		–	Ureia 46%	Nitrolusal 27%	Nitrolusal 27%

lusal 27%. Na Tabela 1 indicam-se os fracionamentos da aplicação dos fertilizantes ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Procedeu-se também à monitorização da humidade do solo durante os dois anos de ensaio, utilizando-se para tal uma sonda capacitiva de registo contínuo instalada pelo COTR (Centro Operativo e Tecnológico para o Regadio) no ano 2018 (Figura 1), sendo substituída por sondas Watermark de regis-

to pontual (Figura 2) no segundo ano (2019). No que se refere às condições climáticas que ocorreram durante os dois anos de ensaio, apresentamos a distribuição intra-anual da precipitação e o registo diário das temperaturas máximas e mínimas ocorridas desde a sementeira dos ensaios até ao momento da sua colheita, sendo também assinaladas as datas em que as regas suplementares foram realizadas (Figuras 3 e 4).

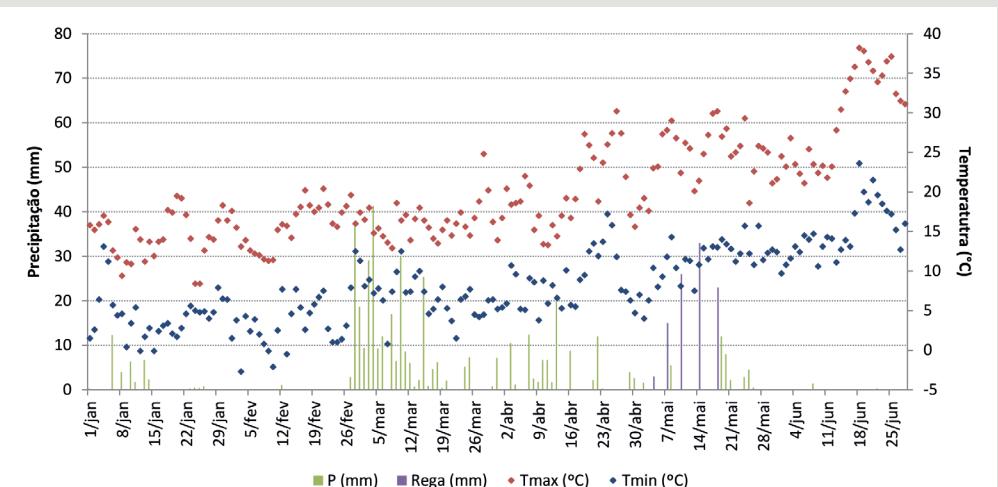


Figura 3 – Gráfico termopluviométrico com o registo diário da precipitação, temperatura máxima e mínima e regas suplementares do ano 2018 em Elvas

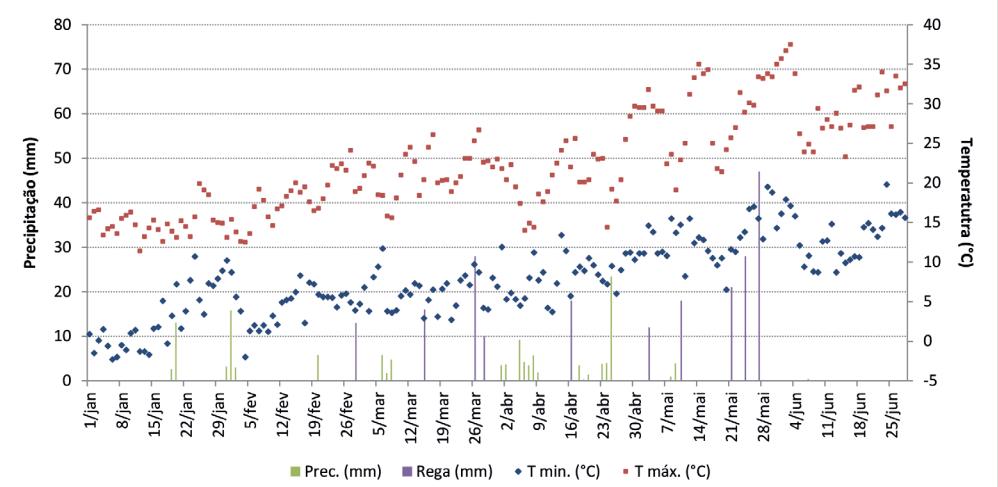


Figura 4 – Gráfico termopluviométrico com o registo diário da precipitação, temperatura máxima e mínima e regas suplementares do ano 2019 em Elvas

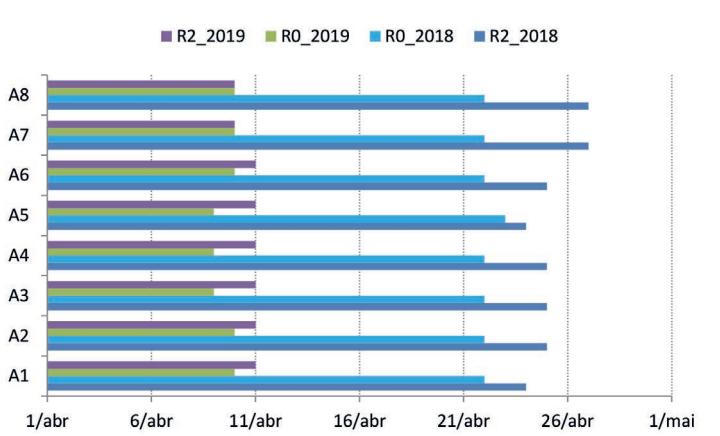


Figura 5 – Datas de espigamento nos dois regimes hídricos (R0 e R2), para os oito tipos de fertilização azotada na variedade Antequera, nos dois anos de ensaio 2018 e 2019

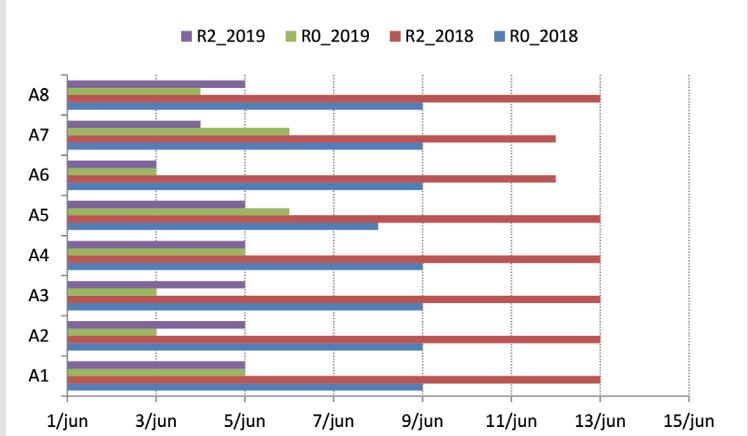


Figura 6 – Datas da maturação fisiológica nos dois regimes hídricos (R0 e R2), para os oito tipos de fertilização azotada na variedade Antequera, nos dois anos de ensaio 2018 e 2019

O ano agrícola de 2017/18 foi um ano bastante chuvoso (592,6 mm de precipitação total), tendo-se registado um total de 461 mm de precipitação desde a sementeira (janeiro) até ao final do ciclo da cultura (junho). O período invernal (janeiro e fevereiro) foi seco, facto que, dadas as reduzidas necessidades hídricas da cultura na fase inicial de crescimento, não parece ter afetado a formação do rendimento. Ao contrário, na primavera (março a maio), verificou-se um maior volume de precipitação com evidente benefício para a cultura, dado que ocorreu no período de maior exigência hídrica. Perante esta distribuição da precipitação, as regas de apoio ou suplementares aplicadas foram de apenas 100 mm na modalidade R2, distribuídas em 5 aplicações, a primeira a 5 de maio e a última a 18 do mesmo mês (Figura 3). De destacar a subida da temperatura máxima no final do mês de abril, motivo pelo qual se recorreu à rega de forma a garantir um bom estado hídrico da cultura na fase final do enchimento do grão. O ano agrícola 2018/19 foi um ano seco (367,6 mm de precipitação total), com apenas

130 mm de precipitação desde a sementeira (janeiro) até ao final do ciclo da cultura (junho), com distribuição irregular, tendo que se iniciar as regas suplementares logo ao encanamento e posteriormente ao longo do ciclo vegetativo da cultura, totalizando 211 mm distribuídos em 11 regas. O comportamento das temperaturas, principalmente da temperatura máxima, foi notoriamente diferente daquele ocorrido no ano anterior. Durante o mês de março registaram-se valores superiores a 25 °C (Figura 4), o que contribuiu para acelerar o desenvolvimento vegetativo do trigo (Figuras 5 e 6). Posteriormente, durante a fase do enchimento do grão, alguns dias com 35 °C foram penalizantes no período da maturação fisiológica, com impacto no rendimento final.

Resultados

O regime hídrico influenciou a produção final de grão nos dois anos de ensaio (Tabela 2), sendo os resultados altamente significativos no ano 2018 e significativos ($p < 0,01$) em 2019. No primeiro ano de ensaio os resultados terão sido consequência não só da ocorrê-

cia de precipitação a partir do encanamento, como também da sua distribuição bastante regular até mais de metade do período de enchimento do grão (Figura 3) e do apoio das cinco regas suplementares realizadas no término desse período, o que contribuiu para as diferenças verificadas entre as duas modalidades estudadas (R0 e R2). A Figura 7 reflete, de forma esquemática e baseado nas leituras efetuadas pela sonda capacitiva, aquilo que foi a evolução da humidade no solo ao longo do desenvolvimento vegetativo do trigo.

Para os componentes do rendimento avaliados, o número de grãos/m² e o peso de mil grãos tiveram também diferenças significativas entre as duas modalidades, exceto o peso de mil grãos em 2019 (Tabela 2).

O ano de 2019, bastante difícil do ponto de vista agrícola, penalizou não só a componente fenológica como principalmente a produção final de grão. Os valores obtidos ao nível da produção de grão e seus componentes foram o reflexo das condições ambientais desfavoráveis descritas anteriormente, o que, apesar das regas efetuadas,

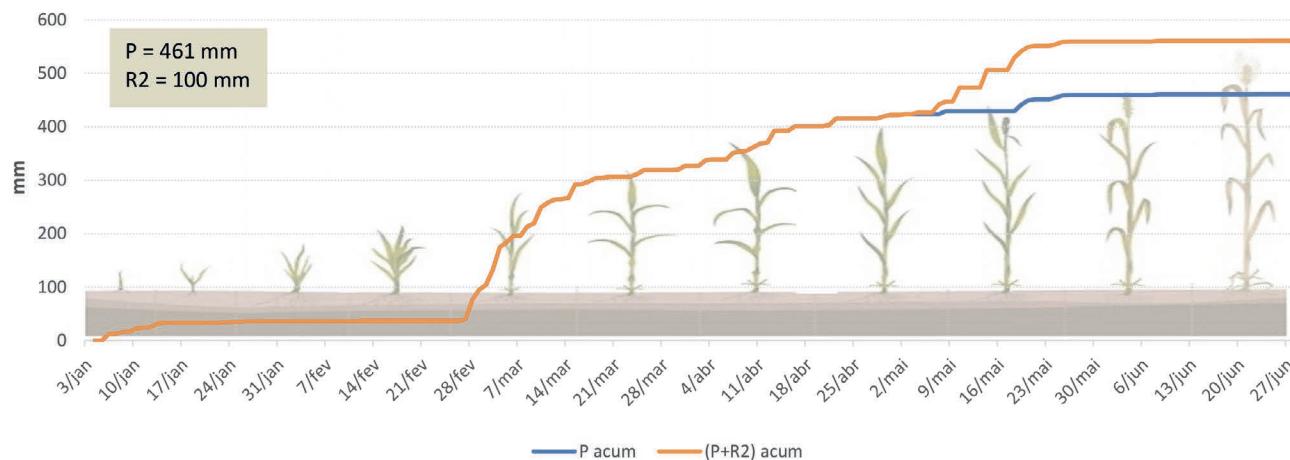


Figura 7 – Evolução da humidade do solo, precipitação + regas suplementares no ano 2018

TABELA 2 – EFEITO DO REGIME HÍDRICO E DA FERTILIZAÇÃO AZOTADA (TIPO/FRACIONAMENTO/ÉPOCA DE APLICAÇÃO) NA PRODUÇÃO DE GRÃO (kg/ha), GRÃOS/m² E PESO DE MIL GRÃOS (g) EM ELVAS EM 2018 E 2019

	Produção (kg/ha)		Grãos/m ² (n.º)		Peso mil grãos (g)	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Ano	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Regime hídrico	***	*	**	*	*	n.s.
R0	2208 b	1780 b	5368 b	5368 b	41,03 b	33,13
R2	5508 a	2146 a	11163 a	7144 a	49,31 a	30,23
CV (%)	5,48	7,64	12,75	20,84	10,11	9,82
Fertilização azotada	*	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.
A1	4357 ab	2018	9238 ab	6351	46,28	31,87
A2	3782 abc	2065	7833 bc	6680	45,93	31,23
A3	3179 c	1779	6860 c	5756	45,18	31,27
A4	3825 abc	2069	8494 abc	6524	44,32	32,20
A5	4007 abc	1940	8698 abc	6220	44,48	31,63
A6	3591 bc	2067	7593 bc	6515	45,02	31,92
A7	3354 bc	1753	7332 bc	5554	43,72	31,77
A8	4770 a	2014	10 077 a	6450	46,42	31,57
Interação (Regime x Fertilização)	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
Média geral	3858	1963	8266	6256	45,17	31,68
CV (%)	14,98	11,54	13,26	13,20	4,61	3,62

***, **, * Significância para $P < 0,001$, $P < 0,01$ e $P < 0,05$ respetivamente; n.s. = não significativo; Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas para $p = 0,05$, de acordo com o teste de Tukey

a subida brusca da temperatura (princípios de abril até meados de maio) (Figura 4) coincidindo com o período de enchimento do grão, afetou negativamente estes componentes (Tabela 2). Na Figura 8 podemos verificar a diferença no balanço hídrico do solo onde, mesmo em R2, as plantas nunca estiveram em conforto hídrico, o que também contribuiu para a quebra da produção. Em relação à fertilização azotada, o seu efeito foi significativo para a produção e número de grãos/m² apenas no ano 2018, não apresentando diferenças significativas entre tratamentos e para os parâmetros estudados no segundo ano agrícola (Tabela 2). Se analisarmos de modo mais detalhado, podemos ver que o valor mais elevado de produção foi no tratamento A8 em 2018 com 4770 kg/ha, com a utilização de um adubo com inibidor da urease, o Duramon Fuerza 20-5-5, com fracionamento da adubação em 50% à

sementeira e 50% ao emborragamento, que também contribuiu para um maior número de grãos/m² e um peso de 1000 grãos mais elevado (Tabela 2). Verifica-se uma ligeira tendência para os valores mais baixos da produção nos tratamentos A3, A5 e A7, que correspondem à aplicação única à sementeira de fertilizante com libertação controlada (Entec, Nericetic e Duramon), com exceção do tratamento A5 em 2018 (4007 kg/ha). A massa do hectolitro, que depende da variedade, das condições ambientais de cada local e das técnicas culturais, entre as quais a fertilização e a rega (Costa e Patanita, 2015), é um bom indicador da adaptação varietal. Independentemente do regime hídrico, a massa do hectolitro registou valores bastante aceitáveis, entre os 79 e os 82 kg/hl. Ainda assim, são os dados de 2018 que são os indicadores de boa formação do grão e acumulação de nutrientes, principalmente amido. Neste

ano, o regime hídrico apresentou diferenças significativas do ponto de vista estatístico neste parâmetro tecnológico (Tabela 3). O teor de proteína no grão é uma característica habitualmente influenciada pelas condições ambientais e, sobretudo, pela dose e fracionamento da fertilização azotada. Através dos resultados obtidos no ano 2018 (Tabela 3), podemos verificar que este foi o fator que influenciou significativamente o valor da proteína do grão e a força da massa (W) e que os tratamentos A4, A8 e A6, correspondentes à aplicação de adubos específicos que têm em comum a aplicação de 50% do azoto na fase do emborragamento, conduziram aos valores mais elevados, o que prova que aplicações de azoto mais tardias, tal como referem Patanita *et al.* (2018), promovem o aumento dos teores de proteína no grão. A ausência do efeito do regime hídrico estará ligada à distribuição da precipitação

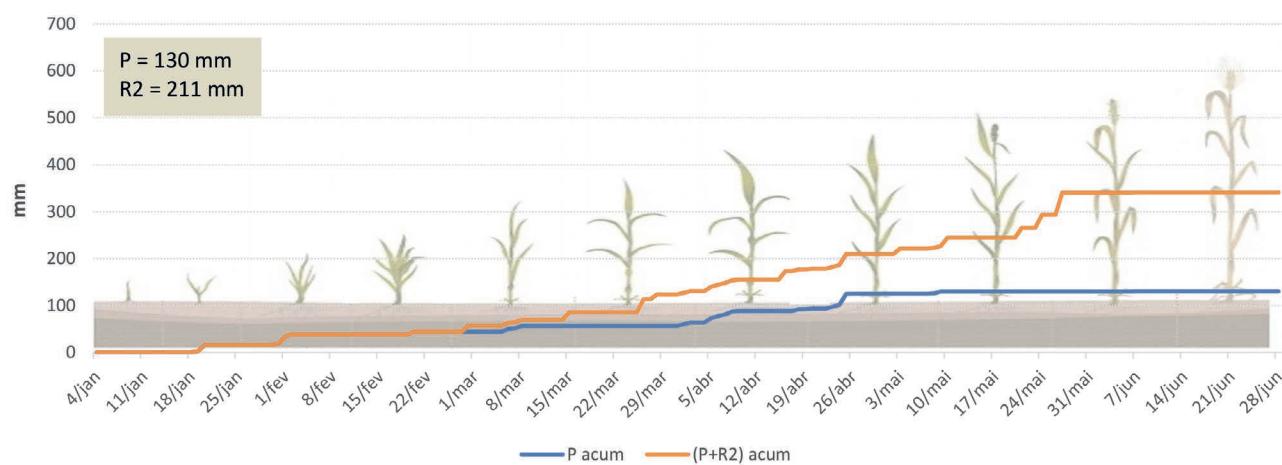


Figura 8 – Evolução da humidade do solo, precipitação + regas suplementares no ano 2019

TABELA 3 – MASSA DO HECTOLITRO (kg/hl), PROTEÍNA NO GRÃO (%), FORÇA DA MASSA – W (10^{-4} J) E EQUILÍBRIO DA MASSA – P/L, EM FUNÇÃO DO REGIME HÍDRICO E DOS TRATAMENTOS DE FERTILIZAÇÃO, EM ELVAS EM 2018 E 2019

	Massa do hectolitro (kg/hl)		Proteína no grão (%)		Força da massa W (10^{-4} J)		Equilíbrio da massa (P/L)	
	Ano	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018
Regime hídrico	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
R0	81,4 b	81,9	13,8	17,6	261	452	0,99	0,90
R2	82,2 a	79,1	13,6	17,2	297	446	1,01	0,89
Fertilização azotada	n.s.	n.s.	***	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.
A1	82,2	80,8	13,4 ab	17,4	259 b	468	1,13	1,00
A2	82,4	80,6	13,0 b	17,3	260 b	433	1,07	0,82
A3	81,4	80,8	13,0 b	17,5	259 b	447	1,07	0,77
A4	82,2	80,3	14,2 ab	17,1	302 ab	441	0,85	0,86
A5	82,2	80,0	13,3 ab	17,5	270 ab	459	1,08	0,87
A6	81,8	80,5	14,5 a	17,2	313 a	440	0,85	0,92
A7	81,0	80,8	13,9 ab	17,6	268 ab	457	1,06	0,92
A8	81,3	80,4	14,3 a	17,3	301 ab	448	0,88	0,97
Interação (Regime x Fertilização)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Média geral	81,8	80,5	13,7	17,4	279	449	1,00	0,89
CV (%)	1,2	8,9	4,8	1,7	10,66	9,99	22,6	16,1

***, **, * Significância para $P < 0,001$; $P < 0,01$ e $P < 0,05$ respetivamente; n.s. – não significativo; Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas para $p = 0,05$, de acordo com o teste de Tukey

na primavera, que poderá ter eliminado as diferenças entre as modalidades de rega. O segundo ano, com produções significativamente mais baixas e peso de mil grãos também substancialmente inferiores, conduziu a que os valores de proteína fossem bastante elevados, não apresentando diferenças significativas entre regimes hídricos e tratamentos de fertilização (Tabela 3). Estes valores excessivamente altos resultam dos menores valores de peso de 1000 grãos verificados em 2019 (para o mesmo tratamento observaram-se diferenças de mais de 13 g entre os dois anos). As condições ambientais descritas anteriormente, em particular a subida brusca da temperatura e sua manutenção durante o enchimento do grão, terão afetado negativamente a deposição de amido no grão (mais sensível às altas temperaturas que a deposição das proteínas) e, consequentemente, terão levado a um acentuado aumento do teor proteico, fruto da diminuição do peso do grão.

A força da massa seguiu o mesmo comportamento do teor proteico, apresentando valores bastante mais elevados em 2019 do que em 2018, o que comprova a grande relação existente entre a proteína final do grão e a qualidade das propriedades reológicas da massa obtida, tal como foi referido por Bagulho (2008), Costa et al. (2017) e Tomaz et al. (2018). Por último, a influência da fertilização azotada na viscoelasticidade da massa dada pelo indicador – relação de equilíbrio P/L, foi menos evidente e não significativa nos dois anos, mas os tratamentos que originaram melhores valores para a proteína do grão e força da massa no ano agrícola de 2018 proporcionaram os melhores resultados para este parâmetro (valores mais baixos), tendo em conta as especificações da indústria para

trigos melhoradores ($W > 300$ e $0,5 < P/L < 1$), como acontece com a variedade Antequera. Este parâmetro apresentou valores adequados nos dois anos, verificando-se uma ligeira tendência para menores valores em 2019 para a maioria dos tratamentos de adubação, consequência, possivelmente, dos maiores teores proteicos que se considera poderem favorecer a extensibilidade da massa (L).

Conclusões

O regime hídrico influenciou a produção de grão nos dois anos, embora, em 2019, o efeito conjunto das temperaturas e a baixa queda pluviométrica penalizasse, fortemente, os principais componentes do rendimento com impacto na produtividade final desse ano agrícola. A fertilização azotada foi o fator que afetou significativamente algumas características analisadas, nomeadamente a produção do grão, o número de grãos/m², o teor de proteína no grão e a força da massa em 2018, não tendo tido qualquer efeito significativo nos parâmetros avaliados em 2019. Os resultados parecem indicar a vantagem da aplicação de fertilizantes azotados específicos com 50% da dose aplicada à sementeira e as restantes unidades de azoto em cobertura na fase fenológica do emborrachamento/início do espigamento. As diferenças verificadas entre os dois anos estudados demonstram a enorme influência da variabilidade climática típica do clima mediterrânico do sul de Portugal no rendimento agronómico do trigo-mole e na sua qualidade tecnológica. ☺

Agradecimentos

Este estudo foi suportado pelo projeto INTERATRIGO – Avaliação do rendimento e qualidade em trigo-mole em função das interações água-azoto, POCI-01-0145-FEDER-023262 e LIS-

BOA-01-0145-FEDER-023262 (SAICT-POL/23262/2016), financiado pelo FEDER através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020), do Programa Operacional Regional de Lisboa e da FCT/MCTES, através de fundos nacionais (PIDDAC).

Bibliografia

- Bagulho, A.S. (2008). *Efeito das proteínas de reserva e das associadas ao amido e aos lípidos nas propriedades reológicas da farinha de trigo mole*. Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor no ramo de engenharia Agro-Industrial. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- Boteta, Luís (2013). Gestão da Rega do trigo. *Grandes Culturas*, 1:18-21.
- Costa, M.N.; Bagulho, A.; Patanita, M. (2017). Qualidade dos Trigos (Parte III/III). Fatores que afetam a qualidade dos trigos. *Grandes Culturas*, 9:11-15.
- Costa, M.N. e Patanita, M. (2015). Qualidade dos trigos (Parte I/III). Avaliação da qualidade no trigo mole. *Grandes Culturas*, 5:5-9.
- INE (2018). Instituto Nacional de Estatística. <https://www.ine.pt/xportal/xmain>.
- Patanita, M.; Dóres, J.; Costa, M.N.; Rosa, E.; Martins, P.; Ferro Palma, J.; Tomaz, A.; Espada, R.; Boteta, L.; Costa, A.R.; Pinheiro, N.; Gomes, C.; Bagulhos, A.S.; Almeida, A.S.; Coutinho, J.; Coco, J.; Costa, A.; Maçãs, B. (2018). Otimização da aplicação de fertilização azotada em trigos melhoradores. *Voz do Campo*, 216:60-61.
- Tomaz, A.; Ferro Palma, J.; Guerreiro, I.; Patanita, M.I.; Penacho, J.; Dóres, J.; Costa, M.N.; Rosa, E.; Patanita, M. (2017). An overview on the use of enhanced efficiency nitrogen fertilizers in irrigated Mediterranean agriculture. *Biomed J. Sci. & Tech. Res.*, 1(7):2017.
- Tomaz, A.; Patanita, M.; Oliveira, P.; Dóres, J.; Boteta, L.; Ferro Palma, J.; Guerreiro, I.; Guerreiro, J. (2018). Rega e fertilização azotada de trigo em ambiente Mediterrâneo efeito no rendimento e qualidade do grão e na eficiência do uso da água de rega. *Agrotec 28 – Grandes Culturas*, 11:14-17.