



X Congreso Ibérico de Agroingeniería X Congresso Ibérico de Agroengenharia

Huesca, 3-6 septiembre 2019



Uso da água e produtividade do trigo mole sob diferentes estratégias de rega e fertilização azotada

A. Canatário Duarte^{1,2}, M. Patanita^{3,4}, A. Tomaz^{3,4}, J. Dôres³, T. Ramos³, L. Boteta⁵, J. Guerreiro⁵

¹ Instituto Politécnico de Castelo Branco - Escola Superior Agrária, acduarte@ipcb.pt

² GEOBIOTEC – Pólo da Universidade da Beira Interior

³ Instituto Politécnico de Beja - Escola Superior Agrária, mpatanita@ipbeja.pt

⁴ GEOBIOTEC – Pólo da Universidade Nova de Lisboa

⁵ Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, luis.boteta@cotr.pt

Resumo: Nos ambientes mediterrânicos, a gestão da água de rega e a estratégia de fertilização azotada são determinantes nas respostas produtivas e de qualidade tecnológica do trigo para panificação. Neste estudo foram avaliados os efeitos da rega e da fertilização azotada sobre a produtividade do trigo mole na região do Alentejo, Sul de Portugal, em 2018. Testaram-se 3 tratamentos de rega e 8 tratamentos de tipo/fracionamento do fertilizante azotado. Os tratamentos de rega foram: R1 (rega com reposição de 100% da evapotranspiração cultural (ETc); R2 (rega com reposição de 100% da ETc apenas em quatro fases: início do encanamento, emborrachamento, ântese, enchimento do grão); R3 (sequeiro). Os tratamentos de fertilização azotada incluíram 4 tipos de adubos (clássico; de libertação controlada; com inibidor de nitrificação; com inibidor da urease) aplicados totalmente à sementeira ou fracionados ao longo do ciclo. O ano hidrológico de 2017/2018 decorreu de forma anómala no que respeita à distribuição e volume de precipitação: a precipitação acumulada durante o ciclo de desenvolvimento cifrou-se em 479 mm; entre 26 de Fevereiro e 19 de Março, e entre 18 e 24 de Maio, registaram-se volumes de precipitação de 222.3 mm e 82.5 mm, respectivamente. Nas modalidades R1 e R2 apenas se verificaram dois pequenos períodos de stress hídrico na fase inicial da cultura. Na modalidade R3, verificaram-se períodos mais prolongados de stress hídrico e em maior número, que coincidiram com o final da fase de afilhamento e na fase de enchimento do grão. No que respeita à avaliação agronómica, não se verificaram efeitos significativos dos factores em estudo em qualquer dos parâmetros analisados, nomeadamente na produção de grão e seus componentes. Este conjunto de resultados reflecte o comportamento bastante semelhante do balanço de água no solo nas três modalidades de rega em estudo, como consequência da forma anormal como decorreu o ano hidrológico em causa.

Palavras chave: necessidades hídricas; fertilizantes azotados; rega deficitária; produção de grão; *Triticum aestivum* L.

1. Introdução

Nas culturas com sementeira outono-invernal, nomeadamente nos cereais praganosos como a cevada e o trigo, o fornecimento de água através da rega pode ser decisivo para a obtenção de elevadas produtividades, e para potenciar a qualidade industrial do grão. Os baixos volumes de água que habitualmente satisfazem as necessidades hídricas dos cereais praganosos, possibilitam realizar estas culturas em áreas com menor disponibilidade de água e/ou permitem, com a mesma disponibilidade de água, regar áreas mais extensas do que com culturas típicas de regadio, de consumos mais elevados [1]. As regiões de clima Mediterrânico são marcadas por uma elevada

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

irregularidade, típica deste tipo de clima e cada vez mais sujeitas a incerteza resultante da mudança global. A dotação e oportunidade de rega dos cereais praganosos é decisivamente influenciada pela forma com decorre o ano agrícola, nomeadamente no que se refere à precipitação, e o sucesso da cultura depende em larga medida da combinação de estratégias adequadas de gestão da rega e da fertilização [2,3]. Nesta, assume particular destaque a fertilização azotada pela importância decisiva no teor de proteína do grão e, consequentemente, na sua qualidade tecnológica [4].

A rega tem por objetivo compensar as plantas pelas perdas de água ocorridas através da evapotranspiração, sendo a quantidade de água a fornecer e o momento mais favorável dependentes de vários fatores, nomeadamente meteorológicos, da cultura e seu estado fenológico, do desenvolvimento radicular e das propriedades do solo. O conceito de necessidades hídricas da cultura pode ser definido como a quantidade de água de rega, complementar à precipitação, que é requerida pela cultura para alcançar os níveis de produção pretendidos dentro de padrões de qualidade requeridos, ao mesmo tempo que permite manter um equilíbrio no balanço de sais na zona radicular [5]. Numa acepção simplificada do balanço de água no solo, o volume de água requerido pela cultura será o que, num determinado período de tempo e em determinadas condições de exploração e do meio, foi perdido por evaporação e por transpiração num processo conjunto denominado de evapotranspiração [6,7].

As perdas de água por evaporação, processo essencialmente físico, verificam-se sobretudo a partir da superfície do solo; as perdas por transpiração, processo essencialmente fisiológico, ocorrem a partir dos estomas das plantas. Dado serem diferentes as características da atividade fisiológica dos vários tipos de plantas, bem como as condições de exploração e do meio (tipo de solo, rega, fertilizações, controlo de doenças), são estabelecidos vários conceitos de evapotranspiração [6,8].

1.1. Objectivos

O presente estudo tem por objectivo estudar a influência de diferentes regimes hídricos e diferentes tratamentos de fertilização azotada (fertilizantes convencionais e específicos de libertação gradual de azoto), nos aspectos quantitativos e qualitativos da produção de trigo da variedade de trigo *Antequera*, através da implementação de um esquema experimental adequado a este propósito, nomeadamente na região em que se verifica a sua produção. O estabelecimento do balanço hídrico do solo para o período do ciclo cultural, configura-se como de grande interesse para, através da percepção da evolução do teor de humidade do solo, mais facilmente se compreender o impacte dos diferentes regimes hídricos na produção do trigo.

2. Materiais e métodos

2.1. Dispositivo experimental

O dispositivo experimental foi instalado durante o ano agrícola 2017/2018 na Quinta da Saúde (Beja), com a cultivar *Antequera* de trigo mole, classificada como “Melhorador” pela indústria moajeira. A sementeira, em solos da categoria de Barros derivados de calcários, foi realizada em 22 de Dezembro de 2017, e colheita em 25 de Julho de 2018. O clima é temperado húmido com verão seco e quente, normalmente conhecido como clima Mediterrânico (*Csa*, na classificação de Köppen). No período de 1981-2010 a temperatura média das máximas e a temperatura média das mínimas foi de 22,2 e de 10,0 °C respectivamente, cifrando-se a precipitação média anual em 558 mm [12]. Relativamente às variáveis anteriores, no ano hidrológico de 2017/2018 registaram-se, respectivamente, 23,6°C, 10,1°C e 605 mm [13]. Na modalidade de rega/regime hídrico com cobertura de 100% da ETc durante todo o ciclo da cultura, foi instalada uma sonda capacitiva (Sonda EnvironSCAN - Sentek Technologies) (Figura

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

1), com o objectivo de monitorização da água e auxilio na decisão da oportunidade das regas. A prática da rega foi realizada com rampa pivotante (center-pivot), tendo as dotações praticadas e a oportunidade das regas sido avaliada através da informação meteorológica local e do teor de água no solo obtido através de sonda capacitiva.



Figura 1 – Observações/medições de características ecofisiológicas nas parcelas do regime hídrico R1, e sonda capacitiva instalada na mesma parcela.

2.2. Metodologias usadas

2.2.1. Modelação do balanço hídrico

Para a modelação do balanço hídrico do solo, que corresponde à modalidade P1, foi usada a metodologia da FAO (Food and Agriculture Organization), baseada na utilização da Equação de Penman-Monteith para cálculo da evapotranspiração de referência [9], e nos coeficientes K_c , que integram todas as diferenças físicas e fisiológicas das plantas cultivadas, com enfoque na separação dos processos de evaporação (K_e) e transpiração (K_{cb}) [6]. O balanço hídrico foi estabelecido entre a data de sementeira (22/12/2017) e a senescência completa da cultura (15/06/2018). As condições iniciais e outros dados de entrada para os cálculos, traduzem-se nos seguintes valores: i) fração máxima de cobertura do solo pela cultura, 100%; ii) fração de água facilmente utilizável, 0.55; iii) profundidade máxima das raízes, 0.60 m; iv) lâmina de água à capacidade de campo, 437.7 mm/m; v) lâmina de água ao coeficiente de emurcheçimento, 210.5 mm/m; vi) deficit de água no início do balanço de água, 19.6 mm. Os valores do coeficiente basal da cultura (K_{cb}) são valores tabelados para o trigo de Inverno ($K_{cb,ini}=0.15$; $K_{cb,med}=1.10$; $K_{cb,fin}=0.15$), sendo a duração de cada fase do ciclo as seguintes: fase inicial, 55 dias, fase de desenvolvimento, 50 dias, fase média ou de maturação, 35 dias, fase final, 36 dias. Os valores do coeficiente de evaporação (K_e), dependem das condições de humidade à superfície do solo e das condições meteorológicas que afectam o processo de evaporação (radiação solar, temperatura do ar, humidade atmosférica e velocidade do vento), e são calculados pelas expressões seguintes [6]:

$$K_e = Kr (K_{c,max} - K_{cb}) \leq few K_{c,max}$$

em que:

K_e – coeficiente de evaporação,

K_{cb} – coeficiente basal da cultura,

$K_{c,max}$ – valor máximo de K_c depois de um evento de humedecimento,

Kr – coeficiente de redução da evaporação na camada superficial do solo,

few – fração do solo que se encontra simultaneamente humedecido e exposto à incidência da radiação solar directa (fracção da superfície do solo a partir da qual ocorre a maior parte da evaporação).

$$Kc_{max} = \max \left\{ \left[1,2 + (0,04(u2 - 2) - 0,004(HRmin - 45)) \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \right] \right\}, \{Kcb + 0,05\}$$

onde:

$u2$ – velocidade do vento medido a 2 m de altura (m/s),

$HRmin$ – humidade relativa mínima (%),

h – altura máxima da cultura em cada fase de desenvolvimento da cultura (inicial, desenvolvimento, média ou de maturação e final).

$$Kr = \frac{AET - D_{e,i-1}}{AET - AFE}$$

na qual:

AET – lâmina acumulada máxima de evaporação na camada superficial do solo, ou seja quando $Kr=0$ (mm),

$D_{e,i-1}$ – lâmina acumulada de evaporação na camada superficial do solo no final do dia $i-1$ (dia anterior) (mm),

AFE – lâmina acumulada de água facilmente evaporável (no final da etapa 1, Figura 2) (mm).

$$AET = 1000 (\theta_{FC} - 0,5\theta_{WP})Ze$$

em que:

θ_{FC} – teor de humidade no solo à capacidade de campo (m^3/m^3),

θ_{WP} – teor de humidade no solo ao coeficiente de emurchecimento (m^3/m^3),

Ze – espessura da camada superficial do solo sujeita a dessecção devido à evaporação (10-15 cm).

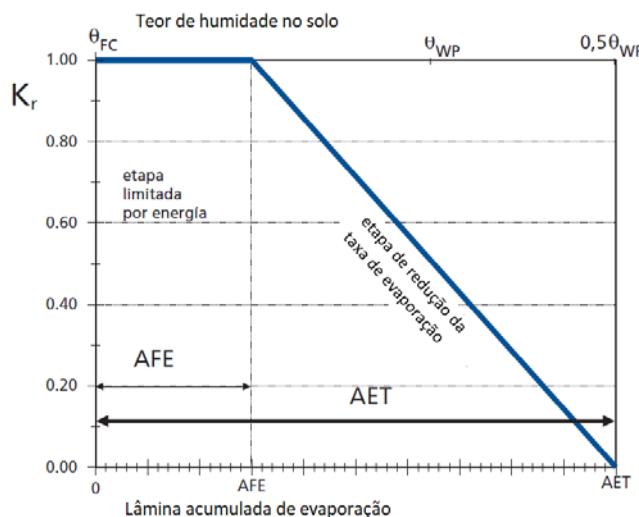


Figura 2 – Coeficiente de redução da evaporação da água na camada superficial do solo (Adaptado de Allen *et al*, 1998).

2.1.2. Desenho experimental e avaliação da produção

O desenho experimental, julgado mais adequado para cumprimento dos objectivos deste estudo, foi do tipo bifatorial em parcelas subdivididas («split-plot») com quatro repetições (Figura 3) [14]. O factor regime hídrico localizou-se nas parcelas principais, com as seguintes modalidades de gestão da rega: R1, correspondente ao conforto hídrico, com rega a 100% das necessidades de água ao longo de todo o ciclo da cultura, recomendadas pelo uso de sondas capacitivas; R2, referente a rega deficitária, com rega a 100% da ETc nas fases críticas da cultura, que, de acordo com [15], são encanamento, emborrachamento, ântese e enchimento do grão; R3, respeitante ao regime de sequeiro, ou seja sem prática da rega. Foi ainda simulado o cenário de

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 setembro 2019, Huesca - Espanha

plenamente conforto hídrico da cultura, através do balanço de água do solo, com o objectivo de comparação com os resultados da gestão da rega com recurso a sondas capacitivas.

O factor fertilizações azotadas (fertilizantes e fracionamento) localizou-se nas parcelas secundárias, tendo sido praticadas de acordo com os seguintes tratamentos: A1 e A2, com o fertilizante clássico FOSKAMONIO 12-24-12; A3 e A4, com o fertilizante ENTEC 20-10-10, que incorpora um inibidor da nitrificação; A5 e A6, com o fertilizante de libertação controlada NERGETIC 20-8-6; A7 e A8, com o fertilizante DURAMON FUERZA 20-5-5 que dispõe de um inibidor da urease (Quadro 1). Considerando o referido anteriormente, o itinerário técnico, excepto a rega, foi idêntico em todas as parcelas, nomeadamente a dose de 180 kg N/ha, tendo-se ainda utilizado nas fertilizações de cobertura ao afilhamento Ureia 46% e ao encanamento e embrorrachamento Nitrolusal 27%. Na modalidade de sequeiro (R3) apenas se aplicou 2/3 da dose de azoto aplicada nas modalidades de regadio (R1 e R2).

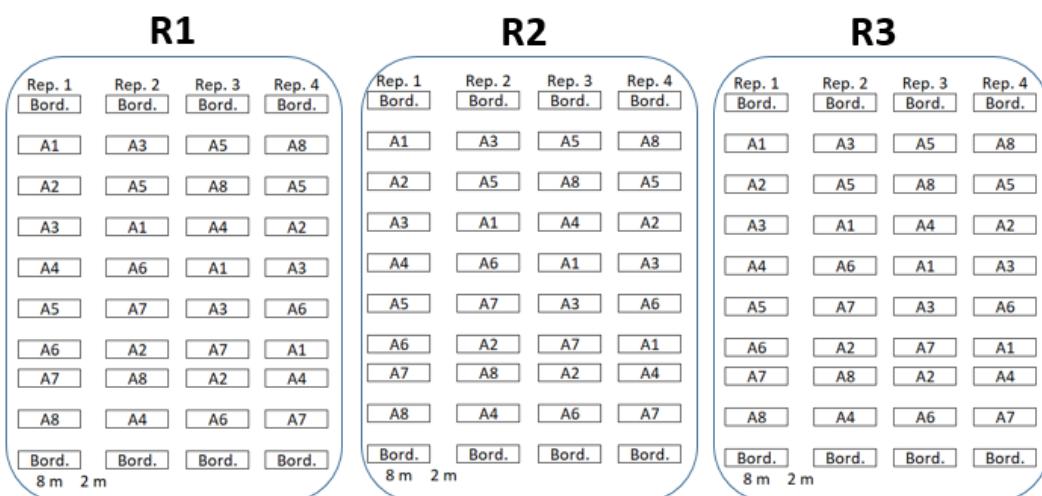


Figura 3 - Desenho dos campos experimentais com quatro repetições para cada modalidade de rega, e replicações das modalidades de fertilização azotada.

Quadro 1 - Tratamentos da fertilização azotada, fracionamento e época de aplicação de fertilizantes de fundo e cobertura

Tratamento	Fertilizante	Sementeira	Afilhamento	Encanamento	Emborrachamento
A1	Foskamónio 12-	25	50		25
A2	24-12	25	25	25	25
A3	Entec	100			
A4	20-10-10	50			50
A5	Nergetic 20-08-	100			
A6	10	50			50
A7	Duramon 20-	100			
A8	05-05	50			50

As variáveis da quantidade e qualidade da produção avaliadas foram as seguintes: produção de grão (kg/ha), componentes da produção (peso de 1000 grãos e número de grãos/m²), qualidade tecnológica (massa do hectolitro e teor de proteína do grão), valor nutricional do grão e características ecofisiológicas.

3. Resultados e discussão

3.1. Balanço hídrico do solo

3.1.1. Coeficientes Kcb, Ke e Kc

A Figura 4 mostra uma evolução regular do coeficiente Kcb em virtude dos seus valores serem tabelados para a fase inicial, média e final, sendo constantes durante as fases inicial e média. Entre o fim da fase inicial e o início da fase média, e o fim desta fase e o fim da fase final, assume-se que a variação do coeficiente Kcb é linear. A variação do coeficiente Ke depende, como foi referido anteriormente, do teor de humidade na camada superficial do solo e das condições meteorológicas em cada dia. De acordo com a metodologia usada, o coeficiente basal da cultura (Kcb) assume os mesmos valores independentemente da modalidade de rega. No caso da modalidade de sequeiro, os valores do coeficiente Ke, e portanto do coeficiente Kc, apenas está dependente dos eventos de humedecimento da precipitação, pelo que assumirá sempre valores iguais ou inferiores, e nunca superiores, relativamente aos valores das outras modalidades de rega. Na fase inicial de desenvolvimento o valor do coeficiente Kcb é compreensivelmente baixo, apresentando o coeficiente Kc valores relativamente elevados dado as condições meteorológicas favoráveis à evaporação a partir da camada superficial do solo, que nesta altura se apresenta sem vegetação. Ainda no final daquela fase e início da fase seguinte, o coeficiente Ke evolui com oscilações, que se reflectem no coeficiente Kc, menos acentuadas no cenário P1 e mais acentuadas na modalidade R3, já que nesta modalidade se verificam menos eventos de humedecimento do solo. A partir do final de Março, encontrando-se a superfície do solo ensombrada e com menos humidade, o processo de evaporação perde importância relativamente ao coeficiente Kcb, que agora influencia decisivamente os valores elevados do coeficiente Kc.

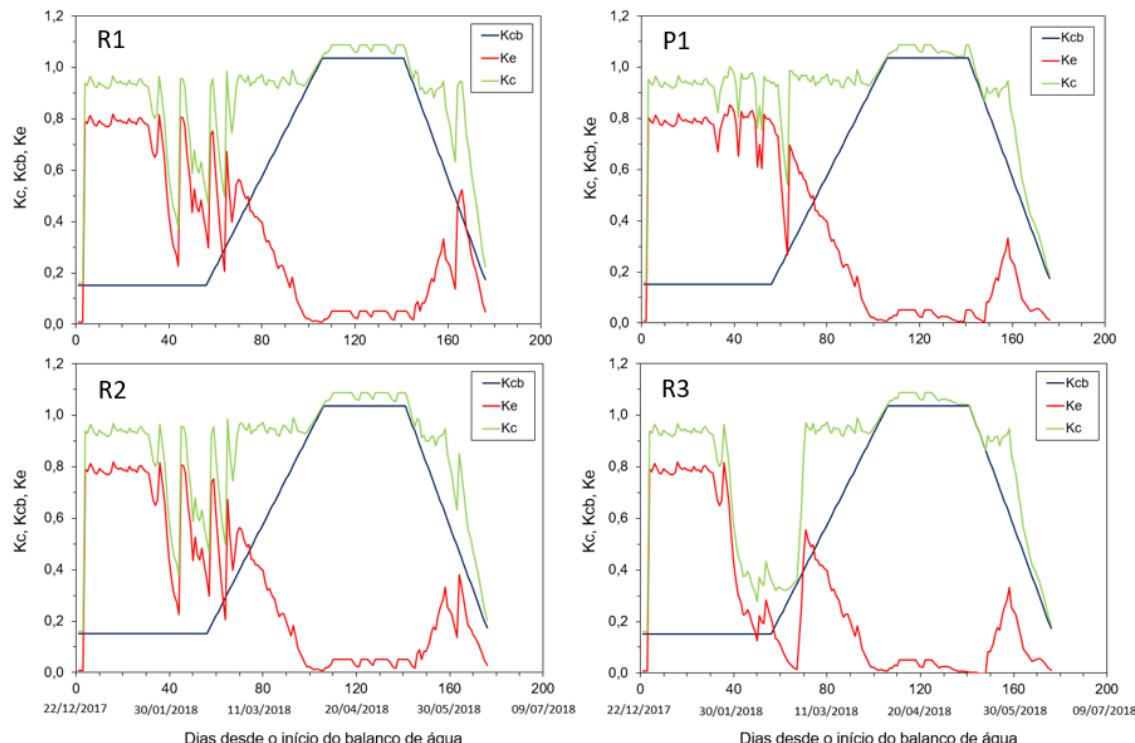


Figura 4 - Evolução dos factores Kcb, Ke e Kc ao longo do ciclo da cultura do trigo (variedade Antequera), nas modalidades do ensaio R1 (rega praticada com 100% ETc), P1 (rega programada com 100% ETc), R2 (rega praticada nas fases críticas), R3 (cultura em sequeiro).

3.1.2. Evapotranspiração

Relativamente à evolução dos valores da evapotranspiração, os períodos em que a ETc real apresenta valores inferiores à ETc potencial correspondem aos períodos em que as plantas deixam de estar em conforto hídrico, ou seja, começam a ser afectados os seus processos fisiológicos fundamentais e, por consequência, o volume e os aspectos qualitativos da produção [16]. Nas estratégias de rega correspondentes à plena satisfação das necessidades de água das plantas em todo o ciclo (R1) e durante as fases críticas (R2), a evapotranspiração que realmente ocorreu é igual ao que potencialmente se poderia verificar (Figura 5), exceptuando dois pequenos períodos no final de Janeiro e meio de Fevereiro, contribuindo para a obtenção de uma produção próximo do máximo no que respeita ao factor de produção água. No início de Junho, já consumada a maturação completa da cultura, a evapotranspiração decresce abruptamente no final da fase de senescência, quando o factor Kc apresenta valores relativamente baixos. Podemos constatar na mesma figura que na modalidade R3, e nos mesmos períodos referidos anteriormente, a ETc real apresenta valores mais baixos pois nesta modalidade não se verificaram alguns eventos de humedecimento (regas), que ocasionam coeficientes Ke mais baixos, e por consequência diminuição do valor do coeficiente Kc

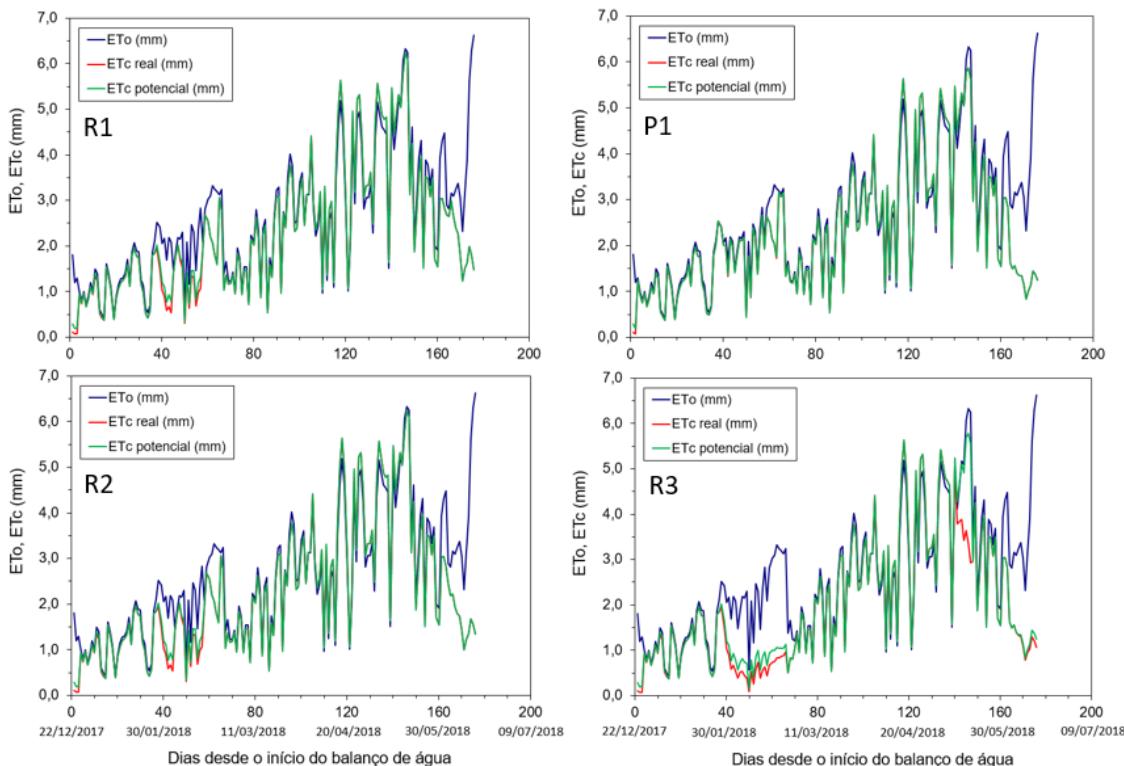


Figura 5 - Evolução da ET₀, ET_c real e ET_c potencial, ao longo do ciclo da cultura do trigo (variedade Antequera), nas modalidades do ensaio R1 (rega praticada com 100% ET_c), P1 (rega programada com 100% ET_c), R2 (rega praticada nas fases críticas), R3 (cultura em sequeiro).

3.1.3. Precipitação e regas

O ano hidrológico de 2017/2018 decorreu de forma anómala no que respeita à distribuição e volume de precipitação em algumas alturas do ano, tal como ser observado na Figura 6. O volume de precipitação acumulada entre 22 de Dezembro e 15 de Junho, cifrou-se em 465,2 mm. Relativamente aos valores médios de precipitação registados no período 1971-2000 na estação meteorológica de Beja [17], os valores registados na estação udométrica do campo experimental

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

foram os seguintes: Janeiro 65.5% (48.3 mm, 73.7 mm média), Fevereiro 28.3% (17.4 mm, 61.5 mm média), Março 519.3% (220.7 mm, 42.5 mm média), Abril 129.9% (80.8 mm, 62.2 mm média), Maio 182.3% (85.7 mm, 47.0 mm média). Claramente os meses em que os valores da precipitação registados apresentam maior anormalidade são Fevereiro, Março e Maio, com destaque para os dois primeiros meses. As regas praticadas nas modalidades R1 e R2 ocorreram nas fases críticas da cultura, em número de 10 e com dotações de 11.4 mm para as três primeiras, de 7.7 mm para a quarta, e de 17.0 mm para as seis últimas, sendo a dotação da última rega na modalidade R2 de apenas 8.5 mm. Da soma destas dotações de rega obtém-se o valor de 143.9 mm para a modalidade R1, e 135.5 mm para a modalidade R2, ou seja valores ligeiramente inferiores à dotação total para satisfação plena das necessidades de água durante todo o ciclo da cultura (Cenário P1). Esta situação deve-se ao facto da gestão da rega ter sido feita com base nas leituras da sonda capacitiva, que, como se verá adiante, apresenta valores de deficit de água diferentes dos obtidos na modelação do balanço hídrico do solo. Refira-se ainda que entre 22 de Dezembro (data da sementeira) e 27 de Fevereiro, altura em que normalmente é concentrada uma boa parte da precipitação anual nesta região, apenas se verificaram 71.5 mm (Figura 6). Neste período, o teor de humidade julgado como conveniente no solo foi assegurada com 3 regas nas modalidades R1 e R2, com um adotação total de 34.2 mm.

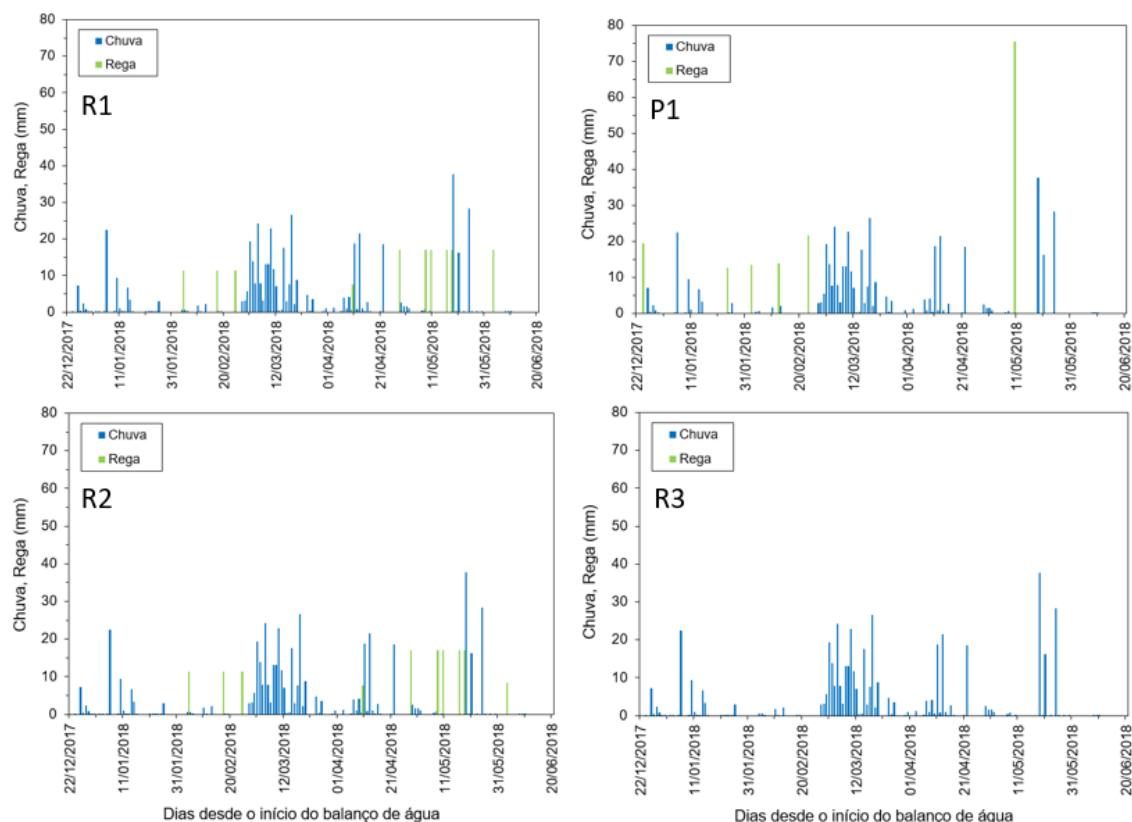


Figura 6 - Eventos de precipitação e rega ao longo do ciclo da cultura do trigo (variedade Antequera), nas modalidades do ensaio R1 (rega praticada com 100% ETc), P1 (rega programada com 100% ETc), R2 (rega praticada nas fases críticas), R3 (cultura em sequeiro).

3.1.4. Balanço hídrico

A forma como decorreu meteorologicamente o ano hidrológico de 2017/2018 determinou, para a modalidade de 100% da ETc, necessidades totais de rega para a cultura do trigo de 143.9 mm. Em ano meteorologicamente normal as necessidades de rega seriam com certeza mais elevadas, pelo que se depreende que o ano em questão terá sido globalmente favorável para as culturas de sequeiro. Atendendo à informação da Figura 7, correspondente aos balanços hídricos do solo nas várias modalidades de rega, podemos constatar que nas modalidades R1 e R2 o déficit de água no solo evolui sempre acima do limite inferior da fracção de água facilmente utilizável, exceptuando dois pequenos períodos na fase inicial de desenvolvimento, o primeiro entre os dias 10 e 15 e o segundo entre os dias 37 e 58 do ciclo da cultura. Na modalidade de sequeiro (R3), para além do primeiro período referido para as modalidades R1 e R2, a cultura experimentou stress hídrico entre os dias 38 e 67, 139 e 148 e a partir do dia 168 do seu ciclo. Obviamente que nesta modalidade as situações de stress hídrico seriam, numa situação normal, francamente mais frequentes comparativamente às outras modalidades de rega. No cenário P1 (regas programadas), atendendo às condições impostas na metodologia usada, o teor de água no solo nunca desce abaixo do nível de conforto hídrico. O momento de regar imposto na programação das regas (consumo de toda a reserva de água facilmente utilizável), numa fase avançada do desenvolvimento da cultura, determina que a última rega apresente uma dotação elevada (75.5 mm).

Podemos ainda verificar na mesma figura que os valores das leituras da sonda capacitiva utilizada na gestão da rega relativos ao déficit de água no solo, seguem a mesma tendência dos valores apurados na modelação do balanço hídrico. Ainda assim, alguns valores diferem entre si com uma amplitude mais ou menos elevada, o que deixa perceber uma eventual necessidade de calibração ou recalibração da sonda usada.

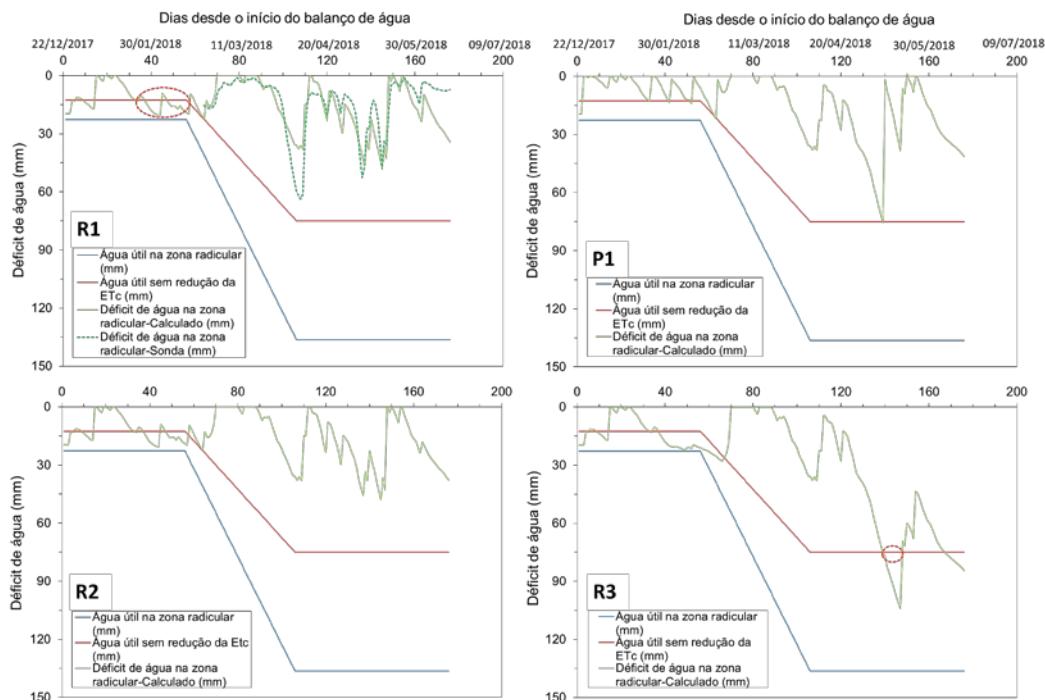


Figura 7 - Evolução do teor de humidade do solo ao longo do ciclo da cultura do trigo (variedade Antequera), nas modalidades do ensaio R1 (rega praticada com 100% ETc), P1 (rega programada com 100% ETc), R2 (rega praticada nas fases críticas), R3 (cultura em sequeiro), com identificação dos períodos de deficit hídrico (C).

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 setembro 2019, Huesca - Espanha

3.2. Aspectos quantitativos e qualitativos da produção

Relativamente à produção e seus componentes, a análise de variância (ANOVA) para a produção de grão, corrigida para 12% de humidade, indica efeito significativo apenas do factor fertilização azotada, enquanto que para as componentes da produção, peso de 1000 grãos e número de grãos/m², se verifica efeito significativo dos dois factores de estudo, regime hídrico e fertilização azotada (Quadro 2). A interação regime hídrico × fertilização azotada não se revelou significativa para qualquer das variáveis, o que indica que o efeito da fertilização azotada não dependeu do regime hídrico.

Quadro 2 - ANOVA da produção de grão (kg/ha) corrigida para 12% de humidade, peso de 1000 grãos (g) e nº de grãos/m².

Origem da Variação	GL a)	Produção de grão 12% H (kg/ha)		Peso 1000 grãos (g)		Nº grãos/m ²	
		QM b)	F	QM b)	F	QM b)	F
Regime hídrico (R)	2	3954546	6,5	114,77	38,02***	4,852*10 ⁷	12,03
Fertilização azotada (A)	7	517576	4,96***	4,70	3,78***	2630293	4,27***
R×A	14	142517	1,37	0,892	0,72	786337	1,28
Coef. Variação (CV)			4,62		2,43		5,13

a) Graus de Liberdade; b) Quadrados Médios; *; **; *** significativo para 0,05; 0,01 e 0,001 respetivamente

A análise por fator, mostra-nos que o regime hídrico R1-Rega 100 ETc ao longo do ciclo da cultura apresentou a média de produção de grão mais elevada (7286 kg/ha), embora com valor estatisticamente semelhante aos restantes regimes hídricos, R3-sequeiro e R2-Rega 100% ETc nas fases críticas, respectivamente com 7083 kg/ha e 6932 kg/ha (Quadro 3). Para este resultado poderá ter contribuído a ocorrência de precipitação ao longo do ciclo da cultura muito acima da média anual e também a sua regular distribuição, principalmente na fase final do ciclo, atenuando/eliminando as diferenças entre os distintos regimes hídricos.

Quadro 3 - Médias da produção de grão (kg/ha) corrigida para 12% de humidade, do peso de 1000 grãos (g) e do nº de grãos/m², por regime hídrico e fertilização azotada e teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Tratamento	Produção de grão 12% H (kg/ha)		Peso 1000 grãos (g)		Número de grãos/m ²	
	Médias	Tukey≤0,05	Médias	Tukey≤0,05	Médias	Tukey≤0,05
Regime hídrico						
R3	7083	a	43,82	c	16182	a
R1	7286	a	47,57	a	15814	ab
R2	6932	a	46,14	b	14583	b
Fertilização azotada						
A1	7378	a	45,72	ab	16158	a
A2	7337	a	45,51	ab	16145	a
A3	7244	ab	45,42	ab	15991	ab
A4	7091	abc	46,69	a	15236	ab
A5	6793	c	45,13	b	15091	b
A6	6999	abc	46,33	ab	15138	ab
A7	6873	bc	45,27	ab	15219	ab
A8	7089	abc	46,66	a	15242	ab
Média geral	7100		45,84		15527	

Nota: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas para $p \leq 0,05$, entre os níveis de cada fator de estudo, de acordo com o teste de Tukey.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 setembro 2019, Huesca - Espanha

Estes resultados apontam para a influência determinante da variabilidade climática típica do clima Mediterrânico do Sul de Portugal no rendimento agronómico do trigo mole. De facto, estudos anteriores semelhantes realizados em anos com escassez de precipitação nos meses de primavera, tal como se verificou em 2017, resultaram em efeito significativo da rega na produção de grão e suas componentes [18,19,20,1]. O ano de 2018 caracterizou-se por uma distribuição vantajosa da precipitação, coincidente com as fases de emborrachamento e enchimento do grão, críticas na resposta produtiva da cultura.

Quanto ao efeito da interação do regime hídrico com a fertilização azotada (Figura 8), embora não se tenha revelado significativa, o tratamento que apresentou maior produção de grão foi R1A2 (rega a 100% da ETc ao longo do ciclo cultural e fertilizante azotado clássico mais fraccionado) com o valor de 7809 kg/ha. Observa-se ainda na Figura 8, que todos os tratamentos do regime hídrico R2 apresentaram valores de produção de grão inferiores aos outros dois regimes hídricos, sendo que o valor mais baixo foi obtido no tratamento R2A5 (rega a 100% ETc nas fases críticas e fertilizante Nergetic com aplicação única à sementeira) com 6700 kg/ha.

Na Figura 8 onde se apresenta a interação entre o regime hídrico e a fertilização azotada, observa-se claramente que o regime de sequeiro, R3, apresenta valores de peso de 1000 grãos bastante inferiores aos obtidos nos regimes hídricos de regadio para todos os tratamentos de fertilização azotada, sendo que o valor mais elevado foi registado em R2A8 com 48,88 g. Os resultados obtidos estão de acordo com [18] quando refere que o peso do grão, expresso em peso de 1000 grãos (g), permite estudar a influência dos tratamentos realizados na cultura bem como a influência das condições climáticas, particularmente no período de enchimento do grão.

Quanto à componente nº de grãos/m², o regime hídrico separa apenas os valores de R3 (16182 g) de R2 (14583 g). Os tratamentos com maior produção de grão foram os que registaram também maior nº de grão/m² (Quadro 9), o que revela a importância desta componente na formação da produção, comprovada pela elevada e significativa correlação entre estas variáveis ($r=0,824$; $p\leq 0,001$). Por outro lado, o efeito da fertilização azotada é muito semelhante ao referido para o peso de 1000 grãos, uma vez que separa os dois tratamentos como valores mais elevados (A1 com 16148 e A2 com 16145 g) do tratamento com valores mais baixos, que volta a ser A5 com 15091 grãos/m² (Figura 8).

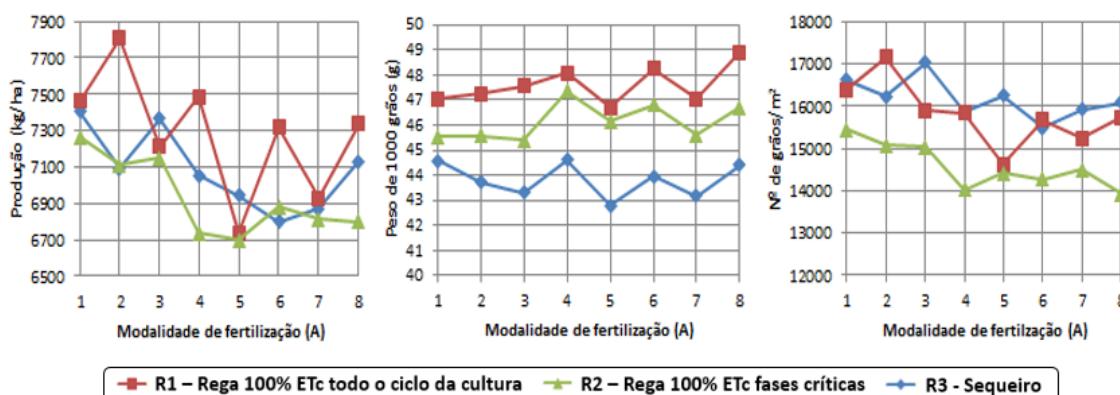


Figura 8 – Produção (kg/ha) por regime hídrico × fertilização azotada, Peso de 1000 grãos (g) por regime hídrico × fertilização azotada, e Efeito do regime hídrico × fertilização no nº de grãos/m².

Relativamente à qualidade tecnológica da produção (massa do hectolitro e teor de proteína do grão), a análise de variância (ANOVA) revelou diferenças significativas apenas para o fator fertilização azotada, enquanto que o teor de proteína mostrou efeito significativo da fertilização azotada e da interação regime hídrico × fertilização azotada, pelo que a influência desta dependeu do regime hídrico (Quadro 4). Independentemente do regime hídrico, a massa do hectolitro

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
 3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

registou cerca de 81,0 kg/hl, valor elevado, sinal de boa formação do grão e acumulação de nutrientes [21]. Embora a ANOVA indique efeito significativo ($p \leq 0,05$) da fertilização azotada, o teste de comparação de médias Tukey para $p \leq 0,05$ não as separa, variando os valores entre 81,6 e 80,8, respectivamente, para os tratamentos A2 e A6 (Quadro 5).

Quadro 4 - ANOVA da massa do hectolitro (kg/hl) e proteína (% MS).

Origem da Variação	GL a)	Massa hectolitro (kg/hl)		Teor de proteína do grão (% MS)	
		QM b)	F	QM b)	F
Regime hídrico (R)	2	1,42	2,58	4,86	1,97
Fertilização azotada (A)	7	1,11	2,36*	5,49	33,28*
R×A	14	0,45	0,95	0,59	3,61***
Coef. Variação (CV)		0,85		3,18	

a) Graus de Liberdade; b) Quadrados Médios; *, **, *** significativo para 0,05; 0,01 e 0,001 respetivamente

Quadro 5 - Médias da massa do hectolitro (kg/hl) e da proteína (% MS), por regime hídrico e fertilização azotada e teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Tratamento	Massa hectolitro (kg/hl)		Teor de proteína do grão (% MS)	
	Médias	Tuckey≤0,05	Médias	Tuckey≤0,05
Regime hídrico				
R3	81,3	a	13,18	a
R1	81,1	a	12,40	a
R2	81	a	12,74	a
Fertilização azotada				
A1	81,6	a	12,47	cd
A2	81,6	a	12,96	bc
A3	80,9	a	12,34	de
A4	81,2	a	13,56	a
A5	81,2	a	11,97	de
A6	80,8	a	13,48	ab
A7	80,8	a	11,95	e
A8	81,1	a	13,45	ab
Média geral	81,1		12,77	

Nota: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas para $p \leq 0,05$, entre os níveis de cada fator de estudo, de acordo com o teste de Tukey.

Através da análise da Figura 9 podemos verificar que a combinação que apresentou maior massa do hectolitro foi R3A1 (82,0 kg/hl), tendo-se obtido o valor mais baixo na conjugação das modalidades R2A8 (80,2 kg/hl). Assim, todos os valores se encontram entre 80 e 83 kg/hl, pelo que o trigo é classificado como «muito pesado».

O teor de proteína do grão é uma característica habitualmente influenciada pelas condições ambientais e técnicas culturais, nomeadamente pela dose e fraccionamento da fertilização azotada. Nos resultados que obtivemos este foi o fator que mostrou forte e significativa influência no valor de proteína do grão. Os tratamentos que conduziram a maiores teores de proteína no grão e estatisticamente semelhantes foram A4 (13.56%), A6 (13.48%) e A8 (13.45%), sendo que este valor foi idêntico ao registado em A2 (12.97%) (Quadro 11). A4, A6 e A8 dizem respeito aos fertilizantes específicos e têm em comum a aplicação de 50% do azoto numa fase avançada do seu ciclo vegetativo (emborrachamento), o que prova que aplicações de azoto tardias, tal como referem [22,19] promovem o aumento de proteína do grão, em relação a aplicações da mesma quantidade de azoto mas em fases mais precoces do ciclo da cultura. O tratamento A2, com

aplicação de 25% do N ao encanamento e ao emborrachamento, corresponde à aplicação do fertilizante azotado fraccionado em quatro fases. Os teores de proteínas mais baixos obtiveram-se em A3 (12,34%), A5 (11,98%) e A7 (11,95%), tratamentos com fertilizantes específicos e com a totalidade do N aplicado à sementeira.

A ausência de efeito do regime hídrico na proteína do grão estará certamente ligada à distribuição da precipitação na primavera, que eliminou as diferenças entre as modalidades de rega. De facto, não atingiu 1% a diferença entre o valor mais alto registado em R3 com 13,18% e o mais baixo obtido em R1 com 12,41% (Quadro 5).

O efeito da interação regime hídrico × fertilização azotada evidenciou-se particularmente no tratamento A2, que foi prejudicado em R2 relativamente aos tratamentos A4, A6 e A8, apresentando neste regime hídrico valor estatisticamente mais baixo (12,93%). O regime hídrico R2 foi também aquele que conduziu a maior heterogeneidade e diferenciação nos tratamentos de fertilização azotada, com A4 a apresentar o valor mais elevado no ensaio (13,92%) e A7 o valor mais baixo (11,41%). De salientar que nenhum dos tratamentos atingiu o mínimo de 14% de proteína, valor indicado para a classificação como trigo «Melhorador» e alguns não chegaram a 12,5% para a classificação como trigo «Semi-corretor», de acordo com as especificações da LVR.

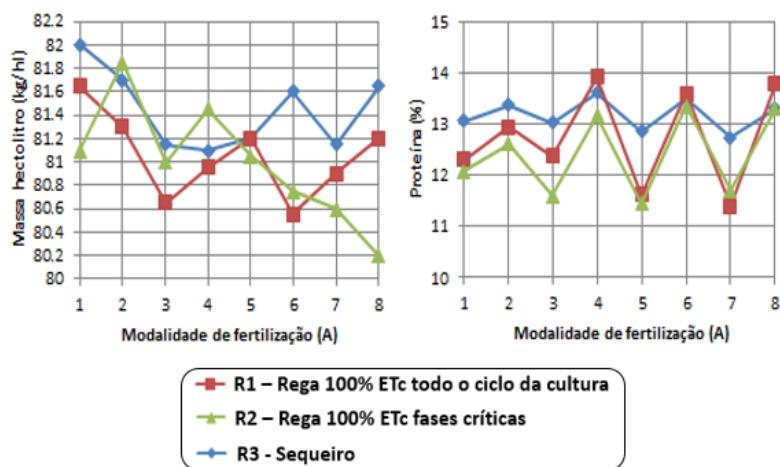


Figura 9 – Massa do hectolitro (kg/hl), e proteína (% MS) por regime hídrico × fertilização azotada.

4. Conclusões

Atendendo aos objectivos definidos no presente estudo, na sequência das metodologias aplicadas para a sua concretização e resultados obtidos, é possível apurar algumas conclusões que se referem a seguir. Deve também ser salientado que a forma anormal como decorreu o ano hidrológico, condicionou alguns dos resultados expectáveis, nomeadamente os referentes à influência das diferentes modalidades de rega na produção. Ainda assim, a leitura e análise daqueles reveste-se de enorme interesse, quando enquadrados numa aleatoriedade do clima mediterrânico, previsivelmente ampliada num quadro de alterações climáticas.

Na fase inicial de desenvolvimento da cultura, o coeficiente K_e assume valores mais ou menos elevados dependendo das condições de humidade à superfície do solo, e das condições que determinam o processo de evaporação. Nas fases mais avançadas de desenvolvimento, os valores do coeficiente basal da cultura (K_{cb}) ganham uma importância relativa acrescida para os valores do coeficiente K_c , e por consequência da ETc. A gestão da rega implementada, com base nos dados meteorológicos mas sobretudo nas indicações dos valores da sonda capacitiva utilizada, revelou-se eficaz, já que apenas em dois pequenos períodos a cultura entrou em stress hídrico. Com certeza que uma recalibração da sonda tenderia a fornecer informação mais precisa na gestão da rega; esta afirmação é confirmada pela comparação dos valores de déficit hídrico

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

fornecidos pela sonda, e os valores resultantes da modelação do balanço hídrico para as condições do ensaio.

A análise estatística referente à produção e seus componentes, revela que a modalidade de rega R1 apresentou a média de produção de grão mais elevada (7286 kg/ha), embora com valor estatisticamente semelhante aos restantes regimes hídricos (R2 e R3). Para este resultado parecemos evidente ter contribuído a ocorrência de precipitação acima do normal em alguns períodos do ciclo cultural, especialmente nos períodos críticos da cultura (emborrachamento e enchimento do grão), atenuando ou eliminando as diferenças entre os distintos regimes hídricos.

Relativamente à qualidade tecnológica da produção (teor de proteína), a análise mostra que a variável regime hídrico não apresenta diferenças estatisticamente significativas, ao contrário da variável adubação azotada que reflecte diferenças significativas. Os resultados obtidos nas modalidades A4, A6 e A8, respeitantes à fertilização com adubos específicos e com aplicações de 50% do azoto numa fase avançada do seu ciclo (emborrachamento), deixam claro que aplicações mais tardias de azoto promovem o aumento de proteína no grão, corroborando os resultados obtidos noutros estudos.

5. Agradecimentos

Este estudo foi suportado pelo projeto INTERATrigo, com as referências POCI- 01-0145-FEDER-023262 e LISBOA-01-0145-FEDER-023262 (SAICT-POL/23262/2016), financiado pelo FEDER através do COMPETE2020 e PORLisboa a a FCT/MCTES através de fundos Nacionais (PIDDAC). O trabalho é uma contribuição e contou com fundos de financiamento dos projetos UID/GEO/04035/2013 e UID/GEO/04035/2019, financiados pela FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

Referências

1. Patanita, M., Tomaz, A., Dôres, J. 2019. Ainda a rega dos cereais de sementeira outono-invernal. *Agrotec* 30: 60-61.
2. Albrizio, R., Todorovic, M., Matic, T., Stellacci, A.M., 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 115: 179–190.
3. Arrobas, M., Parada, M. J., Magalhães, P., Rodrigues, M. A., 2011. Nitrogen-use efficiency and economic efficiency of slow-release N fertilisers applied to irrigated turfs in a Mediterranean environment. *Nutr. Cycl Agroecosyst* 89: 329-339.
4. Costa, M. N., Bagulho, A., Patanita, M. 2017. Qualidade dos trigos (Parte III/III). Fatores que afectam a qualidade dos trigos. *Grandes Culturas* 11: 11-15.
5. Duarte, A. C. 2006. *Contaminación difusa originada por la actividad agrícola de riego, a la escala de la cuenca hidrográfica*. PhD Dissertation, Universidad de Córdoba, Spain.
6. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome.
7. Isidoro, D., Quílez, D., Aragüés, R. 2004. Water balance and irrigation performance analysis: La Violada irrigation district (Spain) as a case study. *Agricultural Water Management* 64: 123-142.
8. Pereira, L. S. 2005. *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publicações europa-América, Lisboa.
9. Monteith, J. L., Unsworth, M. H. 1990. *Principles of environmental physics*, 2nd edn, Edward Arnold, London.
10. Veloso, A., Duarte, A. C., Ramos, A, S. 2017. Rega deficitária na cultura do pêssego. In: +Pêssego – Inovação nas Técnicas de Produção, Volume II, Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional.
11. Pereira, L.S., Cordery, I., Iacovides, I., 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agric. Water Manag.* 108: 39–51.
12. IPMA. 2018. *Normais climatológicas 1981-2010 provisórias de Beja*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/002/>
13. COTR. 2018. *SAGRA – Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo*. Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio. <http://www.cotr.pt/cotr/sagra.asp>

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

14. Box, G., Meyer, R. D. 1986. *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery, 2nd edition.* New York, NY: Wiley-Interscience.
15. Boteta, L. 2013. Gestão da Rega do Trigo. *Grandes culturas* 1: 18-21.
16. Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M., Scardigno, A., 2014. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. *Agric. Water Manag.*, 146: 8494.
17. IPMA. 2019. *Normais climatológicas 1971-2000 provisórias de Beja.* Instituto Português do Mar e da Atmosfera. <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1971-2000/002/>
18. Oliveira, P. 2018. *Contribuição para o estudo do efeito da rega e da fertilização azotada na produção de trigo mole.* Dissertação para obtenção do grau de mestre em Agronomia. Instituto Politécnico de Beja, Beja.
19. Tomaz, A., Patanita, M., Oliveira, P., Dôres, J., Boteta, L., Ferro Palma, J., Guerreiro, I., Guerreiro, J. 2018. Rega e fertilização azotada do trigo em ambiente mediterrânico: efeito no rendimento e qualidade do grão e na eficiência do uso da água de rega. *Grandes Culturas*, 11: 14-17.
20. Oliveira, P., Patanita, M., Dôres, J., Boteta, L., Ferro Palma, J., Patanita, M.I., Guerreiro, I., Penacho, J., Costa, M.N., Rosa, E., Tomaz, A. 2019. Combined effects of irrigation management and nitrogen fertilization on soft wheat productive responses under Mediterranean conditions. *E3S Web Conf.*, 86, 00019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20198600019>
21. Costa, M.N., Patanita, M. 2016. Qualidade dos trigos. Parte I/III: Avaliação da qualidade no trigo mole. *Grandes Culturas* 3: 26-29.
22. Patanita, M., Dôres, J., Costa, M.N., Rosa, E., Martins, P. Ferro Palma, J., Tomaz, A., Espada, R., Boteta, L., Costa, A.R., Pinheiro, N., Gomes, C., Bagulho, 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: 38-39.