

Rotação de herbicidas em trigo para prevenir a resistência das infestantes em condições Mediterrânicas

Rotation of herbicides in wheat to prevent weed resistance under Mediterranean conditions

José Barros* e José Calado

Departamento de Fitotecnia, Escola de Ciências e Tecnologia, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, Instituto de Investigação e Formação Avançada, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, 7002-554, Évora, Portugal

(*E-mail: jfcb@uevora.pt)

<https://doi.org/10.19084/rca.19169>

Recebido/received: 2020.01.02

Aceite/accepted: 2020.03.04

RESUMO

A mistura de herbicidas é largamente recomendada para prevenir a resistência das infestantes a estes produtos químicos. Nos anos agrícolas de 2016/2017 e 2017/2018 realizaram-se dois ensaios de campo, na Herdade do Passinho (Elvas) e na Herdade da Almocreva (Beja), respetivamente. O objetivo destes ensaios, foi estudar o efeito de diferentes misturas de herbicidas pertencentes a diferentes grupos ou modos de ação, no controlo de infestantes e na produtividade da cultura do trigo mole (*Triticum aestivum* L.). Realizaram-se seis tratamentos diferentes, com as seguintes substâncias ativas: diflufenicão, flufenacete e metribuzina, aplicadas em pré-emergência ou em pós-emergência precoce da cultura e propoxycarbazona-sódio, iodossulfurão-metilo-sódio, mesossulfurão-metilo, bromoxinil (octanoato) e o 2,4 DB- etilhexil éster aplicadas em pós-emergência. Não houve diferenças significativas entre os diferentes tratamentos, em relação à eficácia no controlo das infestantes, para os dois anos de ensaios. No 1º ano, os tratamentos também não revelaram diferenças significativas relativamente à produção de grão por unidade de área, tendo no 2º ano de ensaios, o tratamento testemunha produzido significativamente menos, que qualquer um dos outros tratamentos.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L, herbicidas de pré-emergência, herbicidas de pós-emergência, eficácia, produtividade.

ABSTRACT

Herbicide mixtures are widely recommended to prevent weed herbicide resistance. Two field trials were carried out on 2016/2017 and 2017/2018 at the Experimental farms of Passinho (Elvas) and Almocreva (Beja), respectively. The aim of these trials was to study the effect of herbicide mixtures with different sites of action or groups, in the weed control and grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). In six different applications (treatments) the active ingredients studied were diflufenican, flufenacet and metribuzin applied in crop pre-emergence or early post-emergence and propoxycarbazone-sodium, mesosulfuron-methyl, iodosulfuron-methyl-sodium, bromoxynil octanoate and 2.4-DB – ethylhexyl ester, applied in crop post-emergence. There were no significant differences between the different treatments in relation to the efficacy in the control of the weeds for the two experimental years. In the first year, the treatments also did not reveal significant differences in grain yield per unit of area, but in the second year, the control treatment obtained a significantly less grain yield per unit of area than any of the other treatments.

Keywords: *Triticum aestivum* L., pre-emergence herbicides, post-emergence herbicides, efficacy, grain yield per unit of area.

INTRODUÇÃO

As infestantes são uma das principais causas da redução da produção das culturas, porque competem com estas pela luz, água, nutrientes e espaço, aumentando o banco de sementes e consequentemente, potenciando futuras reinfestações. De acordo com Waheed *et al.* (2009) a redução da produção na cultura do trigo pode variar entre 37 e 50 %. Kniss (2017) refere que os herbicidas são o meio mais eficaz que os agricultores têm ao seu dispor em todo o mundo para controlar infestantes e, segundo Owen (2016), está provado que o controlo químico é o método mais eficiente e mais económico, no controlo das infestantes. Os herbicidas estão organizados em grupos, consoante o seu local de ação na planta. Nandula (2010) definiu local de ação como o local, usualmente uma enzima na planta, onde a substância ativa do herbicida se liga e interfere com os processos fisiológicos. Atualmente, os herbicidas mais recomendados para controlar infestantes em trigo, são as sulfonilureias (inibidores da enzima Acetolactato sintase (ALS), o que tem resultado num acréscimo do número de espécies resistentes a estas substâncias ativas, em todo o mundo (Beckie e Reboud, 2009). Há três sistemas de classificação para o local de ação dos herbicidas: i) sistema de classificação Australiano, baseado em letras e usado na Austrália ii) sistema WSSA (Weed Science Society of America) baseado em números, usado nos Estados Unidos da América e Canadá e iii) HRAC (Herbicide-Resistance Action Committee), que é um sistema baseado em letras, mas não as mesmas do sistema de classificação Australiano e usado em muitos países (Heap, 2018). Todos os herbicidas do mesmo grupo matam as plantas do mesmo modo (Bhatti *et al.*, 2013). De acordo com Norsworthy *et al.* (2012) e Bhatti *et al.* (2013), o uso repetido de um herbicida ou de herbicidas que matam as plantas do mesmo modo (mesmo local de ação, ou mesmo grupo) permite, que algumas plantas sobrevivam e se reproduzam. O número de plantas resistentes na população aumenta até que o herbicida não as controla efetivamente. Também Neve *et al.* (2009) referem, que a resistência aos herbicidas é agora largamente reconhecida, como o resultado da evolução adaptativa das populações de infestantes à intensa pressão de seleção exercida pelos herbicidas e continua a ser um problema crescente (Owen, 2016). Vencill *et al.* (2012) definiram tolerância aos herbicidas como a capacidade

inerente das espécies sobreviverem e se reproduzirem depois da aplicação destes produtos químicos. Isto implica que não houve seleção ou manipulação genética para a planta ficar tolerante, ou seja, ela é naturalmente tolerante. A resistência aos herbicidas é a capacidade inerente da planta sobreviver e se reproduzir após a exposição a uma dose de herbicida normalmente letal. Quando as populações de infestantes são resistentes a herbicidas de diferentes famílias químicas e essas famílias compartilham o mesmo local de ação, designa-se de resistência-cruzada e a resistência aos herbicidas com diferentes locais de ação, denomina-se de resistência múltipla (Campbell *et al.*, 2011; Powles e Gaines, 2016). A redução das doses de herbicida é outro importante fator na evolução da resistência das infestantes. Muitos agricultores, na tentativa de reduzir os custos de produção, optam por usar doses menores do que as doses recomendadas e que são eficazes, todavia esta estratégia aumenta a seleção para a resistência aos herbicidas (Gressel, 2011). O uso de doses reduzidas de herbicida, pode resultar num número elevado de infestantes, que sobrevivem ao tratamento. Essas infestantes poderão ter genes, que fornecem uma resistência mínima aos herbicidas, podendo acumular-se em gerações subsequentes, em espécies de infestantes de polinização cruzada (Gressel, 2011; Manalil *et al.*, 2011).

Durante quase cinco décadas tem ocorrido resistência das infestantes aos herbicidas e na atualidade há globalmente cerca de 490 casos (espécies x local de ação) de infestantes resistentes aos herbicidas, com 254 espécies – 148 dicotiledóneas e 106 monocotiledóneas (Owen, 2016). As infestantes têm desenvolvido resistência a 23 dos 26 herbicidas com local de ação conhecido e a 163 herbicidas diferentes. A resistência das infestantes aos herbicidas tem sido referida em 92 culturas de 70 países (Heap, 2018). Presentemente, há 5 infestantes resistentes aos herbicidas (resistência cruzada), referidas em Portugal e 36 em Espanha (resistência cruzada e resistência múltipla) (Heap, 2018). De acordo com Vencill *et al.* (2012) e Powles e Gaines (2016), para prevenir e atrasar o desenvolvimento da resistência das infestantes aos herbicidas, muitas práticas de gestão podem ser incluídas num plano integrado: rotações de culturas, rotações de herbicidas, sistemas de mobilização do solo, usar herbicidas de baixo efeito residual,

mistura de herbicidas com diferentes locais de ação no mesmo tratamento, uso de herbicidas com diferentes locais de ação em rotações anuais, uso de doses de herbicidas recomendadas e épocas de aplicação também recomendadas e ainda, prevenir o movimento de sementes de infestantes e usar sementes certificadas. Atualmente, um dos problemas mais complicados que se coloca na gestão das infestantes, prende-se com o facto de nas últimas três décadas não terem sido identificados e desenvolvidos herbicidas com novos locais de ação (Powles e Gaines, 2016).

Rotações de herbicidas e misturas de herbicidas com diferentes locais de ação são largamente recomendados na gestão da resistência das infestantes aos herbicidas (Beckie e Reboud, 2009; Vencill *et al.*, 2012; Evans *et al.*, 2016; Owen, 2016). De acordo com Rey-Caballero *et al.* (2017), a variação na época de aplicação dos herbicidas (aplicações precoces em pós-emergência ou combinando pré-emergência com pós-emergência precoce ou com pós-emergência) deve ser incluída na gestão da resistência das infestantes aos herbicidas.

Diflufenicão [N-(2,4-difluorofenil)-2-[3-(trifluorometil)fenoxi]piridina-3-carboxamida, IUPAC] pertence ao grupo químico das piridinocarboxamidas. É um herbicida com ação de contato e residual, sendo absorvido pelas folhas e raízes das infestantes e atua através da inibição da síntese dos carotenoides (HRAC, grupo F1). Está indicado para o controlo de infestantes dicotiledóneas anuais, em pré- e pós-emergência precoce de várias culturas, incluindo cereais. Para aumentar o seu espectro de ação pode ser misturado com outras substâncias ativas, tais como, flufenacete, iodossulfurão-metilo-sódio, mesossulfurão-metilo, bromoxinil, etc. (Haynes e Kirkwood, 1992).

Flufenacete [N-(4-fluorofenil)-N-propano-2-il-2-[[5-(trifluorometil)-1,3,4-tiadiazol-2-il]oxi] acetamida, IUPAC] pertence ao grupo químico das oxiacetamidas. É um herbicida sistémico de pré- e pós-emergência precoce, sendo absorvido essencialmente pelas raízes e parcialmente na germinação, estando indicado para o controlo de infestantes gramíneas anuais e algumas dicotiledóneas em diversas culturas, incluindo os cereais. Atua através da inibição da biossíntese dos ácidos gordos de cadeia muito longa (HRAC, grupo K3). Para alargar

o seu espectro de ação, pode ser misturado com outras substâncias ativas, como por exemplo a metribuzina (Chhokar *et al.*, 2006).

Metribuzina (4-amino-6-tert-butil-3-metilsulfanilo-1,2,4-triazina-5-1, IUPAC), pertence à família química das triazinonas, é um herbicida residual e sistémico, usado em pré- e pós-emergência para controlar infestantes gramíneas e dicotiledóneas, sendo absorvido principalmente pelas raízes, mas também pelas folhas. Atua através da inibição da fotossíntese, por interrupção do fotossistema II (HRAC, grupo C1) (Laurence *et al.*, 1993).

Propoxicarbazona-sódio [(4,5-dihidro-4-metil-5-oxo-3-propoxi-1H-1,2,4-triazol-1-ilcarbonil)(2-methoxycarbonilfenilsulfonil) azanida, IUPAC] pertence à família química das sulfonilaminocarboniltriázolinonas, sendo um herbicida seletivo e sistémico, indicado para controlar infestantes gramíneas e dicotiledóneas, em pós-emergência do trigo. Atua através da inibição da enzima ALS (HRAC, grupo B) (Yilmaz *et al.*, 2013).

Iodossulfurão-metilo-sódio [sodio;(5-iodo-2-metoxicarbonilfenil)sulfonil-[(4-metoxi-6-metil-1,3,5-triazina-2-1)carbamoil]azanida, IUPAC] pertence à família química das sulfonilureias. É um herbicida seletivo e sistémico, indicado para controlar infestantes gramíneas e dicotiledóneas em pós-emergência do trigo, milho e soja. Atua através da inibição da enzima ALS (HRAC, grupo B) (Trabold *et al.*, 2000).

Mesossulfurão-metilo [metil2-[(4,6-dimetoxipirimidin-2-il)carbamoilsulfamoil]-4-(metanesulfonamidometil)benzoato, IUPAC] pertence à família química das sulfonilureias. É um herbicida sistémico para controlar infestantes gramíneas e dicotiledóneas em pós-emergência no trigo, triticale e centeio. É sempre aplicado juntamente com o “safener” mafenpir-dietilo, o qual transmite a seletividade ao herbicida. Atua, inibindo a enzima ALS (HRAC, grupo B) (Hacker *et al.*, 2001).

Bromoxinil octanoato [(2,6-dibromo-4-cianofenil) octanoato, IUPAC] pertence ao grupo químico hidroxibenzonitrilo. É um herbicida de contato e parcialmente sistémico, usado para controlar infestantes dicotiledóneas em pós-emergência dos cereais, incluindo trigo, cevada, aveia, triticale, etc.

Atua pela inibição da fotossíntese (fotossistema II) (HRAC, grupo C3) (Buckland *et al.*, 1973).

2,4-DB- Etilhexil éster [2-etilhexilo 2-(2,4-diclorofenoxi)acetato, IUPAC] é membro da família de herbicidas fenoxi. É um herbicida seletivo e sistêmico para controlo de infestantes dicotiledóneas em várias culturas, incluindo os cereais. É uma auxina sintética (HRAC, grupo O), que causa encarquilhamento do caule, murchidão das folhas e morte das plantas. É absorvido através das folhas e translocado para os meristemas da planta. O 2,4-D é aplicado tipicamente como um sal de amina (Song, 2014).

Mefenepir-dietilo [Dietilo (*R,S*) 1-(2,4-diclorofenilo)-5-metilo-2-pirazolina-3,5-dicarboxilato] é um “safener”, usado em combinação com certos herbicidas, como o fenoxaprope-*P*-etilo (inibidor da enzima acetil-CoA carboxilase) e sulfonilureias como por exemplo o iodossulfurão-metilo-sódio e o mesossulfurão-metilo, para aumentar a tolerância das culturas a estes herbicidas, como no caso dos cereais (Rosenhauer *et al.*, 2016).

Biopower (alkileter-sulfato de sódio) é um surfactante aniónico usado para melhorar a eficácia de herbicidas foliares através da redução da superfície de tensão em sistemas aquosos (Yilmaz e Dane, 2013).

O objetivo deste trabalho consistiu em estudar o efeito de diversos herbicidas, com diferentes locais de ação nas plantas e diferentes épocas de aplicação, no controlo de infestantes e na produção de grão na cultura do trigo mole (*Triticum aestivum* L.), de modo a determinar programas alternativos para prevenir, ou pelo menos atrasar, o aparecimento de populações de infestantes resistentes.

MATERIAL E MÉTODOS

Local dos ensaios

Para estudar o efeito de várias misturas de herbicidas (substâncias ativas), com diferentes locais de ação nas infestantes, foram realizados dois ensaios de campo, nos anos agrícolas de 2016/2017 e 2017/2018.

Ensaio 1

Este ensaio, realizou-se no ano agrícola de 2016/2017 na Estação de Melhoramento de Plantas de Elvas, INIAV (Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária). O solo onde se realizou o ensaio está cartografado por Cardoso (1965a) como Bpc (Barros pretos muito descarbonatados de dioritos ou gabros). Este solo, apresenta uma textura argilosa ao longo de todo o seu perfil, com um pH em água de 7,8 no horizonte superficial e aproximadamente 7,9 nos horizontes inferiores, sendo o teor de matéria orgânica no horizonte superficial de 1,8 %.

A cultura do trigo foi instalada em meados de dezembro com uma densidade de sementeira de 200 kg ha⁻¹, sendo a cultivar utilizada o ‘Nabão’, cujo ciclo é semi-precoce. A parcela onde se realizou o ensaio, estava incluída na rotação grão-de-bico → trigo → aveia. Para controlar infestantes em pré-sementeira e preparar o solo para a sementeira, realizaram-se duas gradagens e duas passagens com um vibrocultor. A cultura foi adubada em fundo, com 200 kg ha⁻¹ do adubo ternário N-P-K (20-08-10) e em cobertura, com 100 kg ha⁻¹ de um adubo nitroamoniaco 27%.

Ensaio 2

Este ensaio, realizou-se na Herdade da Almocreva (Beja), Universidade de Évora, no ano agrícola de 2017/2018. O ensaio teve lugar num solo cartografado por Cardoso (1965b) como Vc (solos calcários vermelhos de calcários) com textura argilo-arenosa nos horizontes A e B e areno-limosa no horizonte C. O pH em água era de 7,3 nos horizontes A e B e 7,7 no horizonte C. O teor de matéria orgânica no horizontal mais superficial era aproximadamente 1,3%. A cultura do trigo foi instalada em meados de novembro, também com uma densidade de sementeira de 200 kg ha⁻¹, utilizando-se a cultivar ‘Nogal’, de ciclo semi-tardio. A parcela do ensaio fazia parte da rotação grão-de-bico → trigo → girassol → trigo. Para o controlo de infestantes em pré-sementeira e a preparação do solo para a sementeira, foram efetuadas duas passagens de vibrocultor. Aplicaram-se, como adubação de fundo, 200 kg ha⁻¹ de um adubo ternário N-P-K (18-46-0) e em cobertura, 100 kg ha⁻¹ de um adubo simples (ureia), que doseia 47 % de azoto. Neste ano, pelo

facto de terem surgido alguns sintomas de septoriose na cultura, fez-se uma aplicação do fungicida com as substâncias ativas protriocanazol + tebuconazol, produto comercial Prostaro®. Este fungicida foi aplicado, na dose de 125 + 125 g s.a. ha⁻¹, em 300 litros de água.

Delineamento dos ensaios

Os ensaios foram delineados em blocos causalizados com sete tratamentos (Quadro 1), com quatro repetições (talhões) por cada modalidade de tratamento herbicida. A dimensão dos talhões em ambos os ensaios, foi de 10 m x 3 m e a área de colheita, correspondeu a 13,5 m² (10 m x 1,35 m) da parte central de cada talhão, para evitar o efeito de bordadura, utilizando-se para tal, uma ceifeira-debulhadora própria para ensaios, cuja largura de trabalho é de 1,35 m. A colheita foi efetuada na 2ª quinzena de junho e a produção de grão por unidade de área foi determinada diretamente, depois da correção da humidade (8%). As doses de herbicidas aplicadas foram as recomendadas pela Empresa Bayer CropScience e o volume de calda utilizado foi de 250 L ha⁻¹, usando-se para tal, um pulverizador de pressão de jato projetado próprio para ensaios, marca Baumann Saatzuchtbedarf e modelo PL1. Este pulverizador tem uma barra horizontal de 3 m de largura e está equipado com bicos de fenda espaçados 50 cm entre si, com um

ângulo de abertura do jato de 110° e um diâmetro do orifício de 1,2 mm (110-12). Para aplicar os 250 L ha⁻¹ de calda, a pressão de funcionamento foi de 300 kPa fornecida por oxigénio armazenado em garrafa de ar comprimido e a presença de um velocímetro, auxilia a manter uma velocidade de avanço constante, que no caso, foi de 3 km h⁻¹, ao longo do comprimento dos talhões.

Eficácia dos tratamentos

As espécies de infestantes foram identificadas e contadas em dois quadrados de 50 x 50 cm, na parte central de cada um dos talhões dos ensaios. Os quadrados foram colocados na mesma posição para todas contagens e as infestantes não foram removidas. Os táxones infestantes contados, foram expressos em número de plantas por metro quadrado. No Quadro 2, apresenta-se a densidade média de infestantes por metro quadrado, contadas antes da aplicação dos herbicidas de pós-emergência.

Para determinar a eficácia dos tratamentos T2 e T3, as infestantes foram contadas 30, 60, 90 e 120 dias após a aplicação dos herbicidas (DAA) e no tratamento T4, 30 e 60 dias depois da aplicação do herbicida de pré-emergência. Para o tratamento T4 (aplicação em pós-emergência), T5, T6 e T7, fizeram-se duas contagens de infestantes, sendo a primeira imediatamente antes do tratamento e a segunda,

Quadro 1 - Tratamentos, substâncias ativas, épocas de aplicação em relação à cultura e doses aplicadas

	Modalidades	Épocas de aplicação	Doses (g s.a. ha ⁻¹)
T1	Testemunha	-	-
T2	diflufenicão + flufenacete + metribuzina	pré-emergência	99,2+99,2+ 37,12
T3	diflufenicão + flufenacete + metribuzina	pós-emergência precoce	119,7+119,7+ 44,8
	diflufenicão + flufenacete + metribuzina	pré-emergência	99,2+99,2+ 37,12
T4	mesossulfurão-metilo-sódio + propoxicarbazona-sódio + mefenepir-dietilo + alkileter sulfato sódio	pós-emergência	15,5+22,28+ 29,7+165,9
T5	amidossulfurão + iodossulfurão-metilo-sódio + mesossulfurão-metilo-sódio + mefenepir-dietilo+ alkileter-sulfato de sódio	pós-emergencia	15+3+9+27+ 165,9
T6	amidossulfurão + iodossulfurão-metilo-sodio + mesossulfurão-metilo-sodio + mefenepir-dietilo + alkileter - sulfato de sódio	pós-emergência	25+5+15 +45 +165,9
T7	mesossulfurão-metilo-sódio+propoxicarbazona-sódio + mefenepir-dietilo		15,5+22,28+ 29,7
	bromoxinil octanoato + 2,4 DB etilhexil + alkileter- sulfato de sódio	pós-emergência	280+280+ 165,9

Quadro 2 - Densidade de infestantes (nº por m²) antes da aplicação dos herbicidas nos tratamentos T1 (testemunha), T4 (pré-emergência de diflufenicão+flufenacete+metribuzina combinado com a pós-emergência de mesossulfurão-metilo-sódio+propoxicarbazona-sódio+mefenepir-dietilo+alkileter-sulfato de sódio), T5 (pós-emergência com aplicação de amidossulfurão + iodossulfurão-metilo-sódio + mesossulfurão-metilo-sódio + mefenepir-dietilo+ alkileter-sulfato de sódio), T6 (pós-emergência com aplicação de amidossulfurão + iodossulfurão-metilo-sódio + mesossulfurão-metilo-sódio + mefenepir-dietilo + alkileter - sulfato de sódio) e T7 (pós-emergência com aplicação de mesossulfurão-metilo-sódio+propoxicarbazona-sódio +mefenepir-dietilo e bromoxinil octanoato + 2,4 DB etilhexil + alkileter-sulfato de sódio). Média de 8 repetições

Anos	Tratamentos				
	T1	T4	T5	T6	T7
Densidade de infestantes antes da aplicação dos herbicidas (nº por m ²)					
2016/2017	69	24	97	65	76
2017/2018	88	12	75	157	99

cerca de dois meses depois. Para determinar a eficácia dos tratamentos T2, T3 e T4 (pré-emergência até 60 DAA), usou-se a fórmula de Abbot:

$$Ef = (1 - T/Co) * 100, \text{ (fórmula de Abbot)}$$

onde: Ef – Eficácia do tratamento (%), T- número de infestantes por metro quadrado contadas depois do tratamento, Co – número de infestantes por metro quadrado, nos talhões testemunha (reinfestação).

Nos tratamentos T4 (pós-emergência), T5, T6 e T7 a eficácia expressa-se em percentagem de infestantes controladas em relação ao total, sendo calculada pela seguinte expressão:

$$Ef = 100 - [(C2 - d)/C1] \times 100,$$

onde: Ef – eficácia do tratamento (%), C1 – número de infestantes por metro quadrado contadas antes do tratamento, C2 – número de infestantes por metro quadrado, contadas após o tratamento e d – diferença no número de infestantes por metro quadrado, contadas nos talhões testemunha (reinfestação).

Aquando da aplicação dos herbicidas em pós-emergência – tratamentos T4, T5, T6 e T7 , a cultura

encontrava-se no início do afilhamento (estádio 21 da escala de Zadoks; Zadoks *et al.*, 1974), cerca de 70 a 80 % das infestantes gramíneas (*Avena sterilis* L. e *Lolium rigidum* Gaudin), também na fase inicial do afilhamento e aproximadamente 70 a 80% das infestantes dicotiledóneas, na fase de desenvolvimento de 2 a 4 pares de folhas.

No primeiro ano de ensaios, a média de infestantes (mono e dicotiledóneas) presentes em todos os tratamentos, foi de 86 infestantes m⁻² e no segundo ano de ensaios, foi de 98 infestantes m⁻².

Análise estatística

A análise de variância da eficácia dos tratamentos no controlo de infestantes e da produção de grão na cultura por unidade de área em cada um dos anos dos ensaios, foi feita de acordo com o delineamento experimental destes, tendo-se verificado os pressupostos da ANOVA, ou seja, as amostras são aleatórias e independentes, as populações apresentam uma distribuição normal e as variâncias populacionais são iguais. A separação de médias foi efetuada com recurso ao teste F para um nível de significância de 5 % (p ≤ 5%) de acordo com o teste de separação múltipla de médias de Duncan. O programa estatístico utilizado foi o MSTAT-C (versão 1.42) (Michigan State University). Na análise de variância da eficácia dos tratamentos, utilizaram-se os modelos 7 e 15 deste programa e na análise de variância da produção de grão por unidade de área em cada um dos anos dos ensaios, utilizou-se o modelo 7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro ano de ensaios (2016/2017) as infestantes mais representativas por ordem decrescente, foram as seguintes: *Sinapis arvensis* L. (mostarda-dos-campos); *Calendula arvensis* L. (erva-vaqueira); *Convolvulus arvensis* L. (corriola) e *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (grama). Além destas, também estavam também presentes, as seguintes: *Cyperus esculentus* L. (junça); *Centaurea melitensis* L. (beija-mão); *Chenopodium album* L. (catassol); *Picris echinoides* L. (raspa-saias); *Lavatera cretica* L. (malva-bastarda); *Galium aparine* L. (amor-de-hortelão); *Lactuca serriola* L. (alface-brava-menor); *Geranium rotundifolium*

L. (geranio); *Daucus carota* L. (cenoura-brava); *Polygonum aviculare* L. (sempre-noiva); *Cirsium arvense* (L.) Scop (cardo-corredor); *Urtica urens* L. (urtiga-menor); *Bromus* spp. (bromus); *Sonchus asper* (L.) Hill (serralha-áspera); *Avena sterilis* L. (balanco-maior) e *Lolium rigidum* G. (erva-febra).

No segundo ano de ensaios (2017/2018) as infestantes mais representativas por ordem decrescente, foram as seguintes: *Avena sterilis* L. (balanco-maior);

Convolvulus arvensis L. (corriola); *Sonchus asper* (L.) Hill (serralha áspera); *Anchusa italica* Retz (língua-de-vaca) e *Eryngium campestre* L. (cardo-corredor), estando também presentes: *Chrysanthemum segetum* L. (pampilho-das-searas); *Chamaemelum mixtum* (L.) All. (margaça); *Picris echioides* L. (raspa-saias); *Sinapis arvensis* L. (mostarda-dos-campos); *Lolium rigidum* G. (erva-febra); *Lactuca serriola* L. (alface-brava-menor); *Raphanus raphanistrum* L. (saramago); *Silybum marianum* (L.) Gaertn. (cardo

Quadro 3 - Eficácia (%) observada nas modalidades T2, T3 e T4 e análise de variância dos resultados obtidos. T2 (pré-emergência com aplicação de diflufenicão+flufenacete+metribuzina), T3 (pós-emergência precoce com aplicação de diflufenicão+flufenacete+metribuzina) e T4 (pré-emergência de diflufenicão+flufenacete+metribuzina combinado com a pós-emergência de mesossulfurão-metilo-sódio+propoxicarbazona-sódio+mefenepir-dietilo+alkileter-sulfato de sódio)

Anos	Tratamentos	Eficácia (%)			
		Dias após a aplicação dos herbicidas (DAA)			
		30	60	90	120
2016/2017	T2	-	85,6	75,4	73,7
	T3	-	85,3	70,6	67,8
	T4	-	83,1	-	-
2017/2018	T2	84,9	90,6	90,2	88,7
	T3	89,1	92,1	89,7	86,7
	T4	87,7	89,0	-	-

Fatores	Graus de liberdade	Valor de F	Quadrado médio	Valor de K (prob.)
Anos de 2016/2017 e 2017/2018 – 60 DAA (T2-T3-T4)				
Anos	1	5,2422	207,682	0,0620
Erro	6	-	39,167	-
Tratamentos	2	0,8208	15,438	-
Anos x tratamentos	2	0,0937	1,763	-
Erro	12	-	18,809	-

CV (coeficiente de variação) = 4,95 %

Anos de 2016/2017 e 2017/2018 – 90 DAA (T2-T3)				
Anos	1	13,0794	1147,516	0,0111
Erro	6	-	87,735	-
Tratamentos	1	0,4950	28,356	-
Anos x tratamentos	1	0,3116	17,851	-
Erro	6	-	57,281	-

CV (coeficiente de variação) = 6,57 %

Anos de 2016/2017 e 2017/2018 – 120 DAA (T2-T3)				
Anos	1	16,0067	1152,602	0,0071
Erro	6	-	72,007	-
Tratamentos	1	2,3020	62,410	0,1800
Anos x tratamentos	1	0,5610	15,210	-
Erro	6	-	27,112	-

CV (coeficiente de variação) =

Ano de 2017/2018 – 30 DAA (T2-T3-T4)				
Tratamentos	2	0,1441	17,923	-
Erro	6	-	124,388	-

CV (coeficiente de variação) = 12,79 %

leiteiro); *Cirsium arvense* L. Scop (cardo-corredor); *Anagallis arvensis* L. (morrião) e *Foeniculum vulgare* Mill (funcho).

Não se verificaram diferenças significativas na eficácia entre os tratamentos T2 e T3 até aos 120 dias após a aplicação dos herbicidas e entre estes e o tratamento T4 até 60 dias após a aplicação dos herbicidas, em ambos os anos de ensaios (Quadro 3). No primeiro ano de ensaios, a muito reduzida precipitação verificada, terá sido a causa para a não emergência de qualquer infestante até 30 dias após a aplicação dos herbicidas, não se verificando também, a emergência da própria cultura. Visualmente, constatou-se que os tratamentos T2 e T3 revelaram uma baixa eficácia no controlo do balanço-maior e da erva-vaqueira e principalmente das infestantes de emergência tardia, como a grama, a junça e a corriola. O tratamento 4 (até 60 DAA e antes da aplicação de pós-emergência), apresentou uma baixa eficácia no controlo do balanço-maior e da erva-vaqueira. Contudo, a baixa eficácia destes tratamentos no controlo destas infestantes, não foi suficiente para reduzir significativamente a produção de grão por unidade de área (Quadro 5).

Pela análise de variância (Quadro 4), verifica-se não existirem diferenças significativas entre os tratamentos T4, T5, T6 e T7 na eficácia do controlo de infestantes (Quadro 4). Em ambos os anos de ensaios, o tratamento T4 (pós-emergência), T5, T6 e

T7, controlaram eficazmente as infestantes de folha larga presentes, com exceção da corriola. Contudo, a emergência desta infestante verificou-se principalmente, após a aplicação dos herbicidas. Visualmente, foi possível verificar que o tratamento 7, foi pouco eficaz no controlo da língua-de-vaca, não mostrando a maior parte da população desta infestante, quaisquer sintomas do efeito do herbicida. Nos dois anos de ensaios, uma grande parte da grama e da junça, também emergiram depois da aplicação dos herbicidas. Todos os tratamentos foram eficazes no controlo da erva-febra.

Comparando os tratamentos T5 e T6, verifica-se que o acréscimo das doses dos herbicidas amidossulfurão + iodossulfurão-metilo-sódio + mesossulfurão-metilo-sódio + mefenepir-dietilo + alkileter sulfato de sódio não aumentou significativamente, nem a eficácia (Quadro 4), nem a produção de grão por unidade de área (Quadro 5).

O Quadro 5 mostra que, no 2º ano de ensaios, as infestantes causaram uma redução significativa na produtividade da cultura na testemunha (T1), o que está de acordo com o referido por Waheed *et al.* (2009), não se tendo verificado o mesmo, no 1º ano de ensaios, onde a testemunha (T1) produziu significativamente o mesmo, que todos os outros tratamentos. Em ambos os anos, não houve diferenças significativas na produção de grão por unidade de área, entre os diferentes tratamentos, onde

Quadro 4 - Eficácia (%) observada nas modalidades T4, T5, T6 e T7, 60 DAA, em relação à testemunha não tratada, e análise de variância dos resultados obtidos. T4 (pré-emergência de diflufenicão+flufenacete+metribuzina combinado com a pós-emergência de mesossulfurão-metilo-sódio+propoxicarbazona-sódio+mefenepir-dietilo+alkileter-sulfato de sódio), T5 (pós-emergência com aplicação de amidossulfurão + iodossulfurão-metilo-sódio + mesossulfurão-metilo-sódio + mefenepir-dietilo+alkileter-sulfato de sódio), T6 (pós-emergência com aplicação de amidossulfurão + iodossulfurão-metilo-sódio + mesossulfurão-metilo-sódio + mefenepir-dietilo + alkileter - sulfato de sódio) e T7 (pós-emergência com aplicação de mesossulfurão-metilo-sódio+propoxicarbazona-sódio +mefenepir-dietilo e bromoxinil octanoato + 2,4 DB etilhexil + alkileter-sulfato de sódio)

Anos	Eficácia (%) 60DAA em relação à testemunha Tratamentos				Eficácia média (%)
	T4	T5	T6	T7	
2016/2017	90,2	94,8	94,4	93,8	93,2
2017/2018	93,8	95,5	93,7	95,1	94,5
Média	91,9	95,1	94,1	94,5	
Fatores	Graus de liberdade		Valor de F	Quadrado médio	Valor de K (prob.)
Anos	1		0,3960	11,640	-
Erro	6		-	29,395	-
Tratamentos	3		0,3912	14,460	-
Anos x tratamentos	3		0,1710	6,320	-
Erro	18		-	36,969	-

CV (coeficiente de variação): 6,48 %

Quadro 5 - Efeito dos tratamentos herbicidas, na produção de trigo mole (g m^{-2}) nos dois anos de ensaios e análise de variância dos resultados obtidos. T1 (testemunha), T2 (pré-emergência com aplicação de diflufenicão+flufenacete+metribuzina), T3 (pós-emergência precoce com aplicação de diflufenicão+flufenacete+metribuzina), T4 (pré-emergência de diflufenicão + flufenacete+ metribuzina, combinado com a pós-emergência de mesossulfurão-metilo-sódio+propoxicarbazona-sódio+mefenepir-dietilo+alkileter-sulfato de sódio), T5 (pós-emergência com aplicação de amidossulfurão + iodossulfurão-metilo-sódio + mesossulfurão-metilo-sódio + mefenepir-dietilo+ alkileter-sulfato de sódio), T6 (pós-emergência com aplicação de amidossulfurão + iodossulfurão-metilo-sódio + mesossulfurão-metilo-sódio + mefenepir-dietilo + alkileter - sulfato de sódio) e T7 (pós-emergência com aplicação de mesossulfurão-metilo-sódio+propoxicarbazona-sódio + mefenepir-dietilo e bromoxinil octanoato + 2,4 DB etilhexil + alkileter-sulfato de sódio)

Ano	Tratamentos							Média
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
Produção de trigo mole (g m^{-2})								
2016/2017	197,4	264,4	281,6	267,5	280,0	277,5	311,8	268,6
Fatores	Graus de liberdade			Valor de F		Quadrado médio		Valor de K (prob.)
Tratamentos	6			1,0792		2419,149		0,4110
Erro	18			-		2241,554		-

CV (Coeficiente de variação) = 21,56 %

se aplicaram herbicidas. As substâncias ativas da família das sulfonilureias (inibidores da enzima ALS) são atualmente bastante recomendadas para controlar infestantes em cereais, incluindo o trigo, todavia tal implica um acréscimo do número de espécies resistentes a substâncias ativas desta família química (Marczewska *et al.*, 2006; Beckie e Reboud 2009). Contudo, a eficácia no controlo de infestantes (Quadros 3 e 4) e a produção de grão por unidade de área (Quadro 5) obtidas neste estudo mostraram, que em condições ambientais mediterrânicas, poderá ser possível o uso de misturas de herbicidas com diferentes locais de ação nas plantas, de modo a prevenir ou pelo menos, atrasar a resistência das infestantes aos herbicidas, o que está de acordo com o referido por Norworthy *et al.* (2012), Vencill *et al.* (2012), Bhatti *et al.* (2013), Owen *et al.* (2015), Powles e Gaines (2016) e Abbas *et al.* (2017). Os resultados obtidos no tratamento T4 (combinação de várias substâncias ativas em pré- e pós-emergência), estão de acordo com Rey-Caballero *et al.* (2017), os quais referem que a variação na época de aplicação dos herbicidas em pós-emergência precoce ou combinando pré ou pós-emergência precoce, ou pós-emergência, deve ser incluída na gestão da resistência das infestantes aos herbicidas.

CONCLUSÕES

Tendo em conta o número de anos e as condições em que se realizaram estes ensaios, é difícil retirar conclusões sobre a alternância de herbicidas, que controlem as infestantes de diferentes modos (locais de ação). No entanto, os resultados apontam para a inclusão na rotação química, herbicidas da família das sulfonilureias. Esta família química já detém as substâncias ativas atualmente mais recomendadas para controlar infestantes na cultura do trigo em condições Mediterrânicas e, por conseguinte, poderão atrasar ou mesmo, prevenir a resistência das infestantes aos herbicidas. Para os agricultores, a aplicação das misturas de herbicidas estudadas nestes ensaios, poderá ser importante para conseguirem uma adequada relação entre os custos e os benefícios. No entanto, sendo a problemática da resistência das infestantes aos herbicidas muito premente e atual, este tema deverá merecer mais investigação, sobretudo mais repetições em mais locais e em maior número de anos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade de Évora e à empresa Bayer CropScience, as quais suportaram o presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, T.; Nadeem, M.A.; Tanveer, A.; Ali, H.H. & Matloob, A. (2017) – Evaluation and management of acetyl-CoA carboxylase inhibitor resistant littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in Pakistan. *Archives of Agronomy and Soil Science*, vol. 63, n. 11, p. 1613-1622. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1296135>
- Bhatti, K.H.; Parveen, T.; Farooq, K.N.; Hussain, K. & Siddiqui, E.H. (2013) – A Critical Review on Herbicide Resistance in Plants. *World Applied Sciences Journal*, vol. 27, n. 8, p. 1027-1036. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.27.08.13731>
- Beckie, H.J. & Reboud, X. (2009) – Selecting for Weed Resistance: Herbicide Rotation and Mixture. *Weed Technology*, vol. 23, n. 3, p. 363-370. <https://doi.org/10.1614/WT-09-008.1>
- Buchland, J.L.; Collins, R.F. & Puiiin, E.M. (1973) – Metabolism of bromoxynil octanoate in growing wheat. *Pesticide Science*, vol. 4, n. 1, p. 149-152. <https://doi.org/10.1002/ps.2780040120>
- Campbell, J.; Mallory-Smith, C.; Hulting, A.G. & Weber, C.E. (2011) – *Herbicide-Resistant Weeds and Their Management*. PNW 437, University of Idaho, Oregon State University, Washington State University, p. 1-6.
- Cardoso, J.V.C. (1965a) – *Os solos de Portugal: sua classificação e gênese: I. A sul do rio Tejo*. Direção Geral dos Serviços Agrícolas, 1ª ed., p.133-135.
- Cardoso, J.V.C. (1965b) – *Os solos de Portugal: sua classificação e gênese: I. A sul do rio Tejo*. Direção Geral dos Serviços Agrícolas, 1ª ed., p. 113-117.
- Chhokar R.S.; Sharma, R.K.; Chauhan, D.S. & Mongia, A.D. (2006) – Evaluation of herbicides against *Phalaris minor* in wheat in north-western Indian plains. *Weed Research*, vol. 46, n. 1, p. 40–49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00485.x>
- Evans, J.A.; Tranel, P.J.; Hager, A.G.; Schutte, B.; Wu C.; Chatham, L.A. & Davis, A.S. (2016) – Managing the evolution of herbicide resistance. *Pest Management Science*, vol. 72, n. 1, p. 74–80. <https://doi.org/10.1002/ps.4009>
- Gressel, J. (2011) – Low pesticide rates may hasten the evolution of resistance by increasing mutation frequencies. *Pest Management Science*, vol. 67, n. 3, p. 253–257. <https://doi.org/10.1002/ps.2071>
- Hacker, E.; Bieringer, H.; Willms, L.; Lorenz, K.; Köcher, H.; Barrod, G. & Brusche, R. (2001) – Mesosulfuron-methyl – a new active ingredient for grass weed control in cereals. In: *Proceedings of the BCPC conference – Weeds*, Brighton, UK, vol. 1, p. 43-48.
- Haynes, C. & Kirkwood, R.C. (1992) – Studies on the mode of action of diflufenican in selected crop and weed species: basis of selectivity of pre- and early post-emergence applications. *Pesticide Science*, vol. 35, n. 2, p. 161-165. <http://doi.org/10.1002/ps.2780350210>
- Heap, I. (2018) – *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. www.weedscience.org
- Kniss, A.R. (2017) – Long-term trends in the intensity and relative toxicity of herbicide use. *Nature Communications*, vol. 8, art. 14865. <https://doi.org/10.1038/ncomms14865>
- Lawrence, J.R.; Eldan, M. & Sonzogni, W.C. (1993) – Metribuzin and metabolites in Wisconsin (U.S.A.) well water. *Water Research*, vol. 27, n. 8, p. 1263-1268. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(93\)90212-Z](https://doi.org/10.1016/0043-1354(93)90212-Z)
- Manalil, S.; Busi, R.; Renton, M. & Powles, S.B. (2011) – Rapid evolution of herbicide resistance by low herbicide dosages. *Weed Science*, vol. 59, n. 2, p. 210–217. <https://doi.org/10.1614/WS-D-10-00111.1>
- Marczewska, K.; Sadowski, J. & Rola, H. (2006) – Changes in branched chain amino acids content in leaves of *Apera spica-venti* biotypes resistant and susceptible to chlorsulfuron. *Journal of Plant Protection Research*, vol. 46, n. 2, p. 191–198.
- Nandula, V.K. (2010) – Herbicide resistance: definitions and concepts. In: Nandula, V.K. (Ed.) – *Glyphosate Resistance in Crops and weeds*. John Wiley & Sons, Inc. Karboken, New Jersey, United States of America, p. 35-43.
- Neve, P.; Vila-Aiub, M. & Roux, F. (2009) – Evolutionary-thinking in agricultural weed management. *New Phytologist*, vol. 184, n. 4, p. 783–793. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03034.x>
- Norsworthy, J.K.; Ward, S.M.; Shaw, D.R.; Llewellyn, R.S.; Nichols, R.L.; Webster, T.M.; Bradley, K.W.; Frisvold, G.; Powles, S.B.; Burgos, N.R.; Witt, W.W. & Barrett M. (2012) – Reducing the Risks of Herbicide Resistance: Best Management Practices and Recommendations. *Weed Science*, vol. 60, n. S1, p. 31-62. <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00155.1>

- Owen, M.D.K. (2016) – Diverse Approaches to Herbicide-Resistant Weed Management. *Weed Science*, vol. 64, n. S1, p. 570-584. <https://doi.org/10.1614/WS-D-15-00117.1>
- Owen, M.D.K.; Beckie, H.J.; Leeson J. Y.; Norsworthy, J.K.; Steckel, L.E. (2015) – Integrated pest management and weed management in the United States and Canada. *Pest Management Science*, vol.71, n. 3, p. 357-376. <https://doi.org/10.1002/ps.3928>
- Powles, S.B. & Gaines, T.A. (2016) – Exploring the Potential for a Regulatory Change to Encourage Diversity in Herbicide Use. *Weed Science*, vol. 64, n. S1, p. 649-654. <https://doi.org/10.1614/WS-D-15-00070.1>
- Rey-Caballero, J.; Menéndez, J.; Osuna, M. D.; Salas, M. & Torra, J. (2017) – Target-site and non-target-site resistance mechanisms to ALS inhibiting herbicides in *Papaver rhoeas*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, vol. 138, p. 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2017.03.001>
- Rosenhauer, M.; Rosinger, C. & Petersen, J. (2016) – Impact of the safener mefenpyr-diethyl on herbicide resistance evolution in *Alopecurus myosuroides* (Huds.) biotypes. *Julius-Kühn-Arch*, vol. 452, p. 50–56. <https://doi.org/10.5073/jka.2016.452.007>
- Song, Y. (2014) – Insight into the mode of action of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) as an herbicide. *Journal of Integrative Plant Biology*, vol. 56, n. 2, p. 106-113. <https://doi.org/10.1111/jipb.12131>
- Trabold, K.; Hacker, E.; Hess, M. & Huff, H.P. (2000) – Iodosulfuron – a new sulfonylurea for weed control in cereals. *Journal of Plant Diseases and Protection*, vol. 17, n. 1, p. 701-707.
- Vencill, W.K.; Nichols, R.L.; Webster, T.M.; Soteris, J.K.; Mallory-Smith, C.; Burgos, N.R.; Johnson, W.G. & McClelland, M.R. (2012) – Herbicide Resistance: Toward an Understanding of Resistance Development and the Impact of Herbicide-Resistant Crops. *Weed Science*, vol. 60, n. S1, p. 2-30. <https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00206.1>
- Waheed, A.; Qureshi, R.; Jakhar G.S. & Tareen, H. (2009) – Weed community dynamics in wheat crop of district Rahim Yar Khan, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, vol. 41, n. 1, p. 247-254.
- Yilmaz, G. & Dane, F. (2013) – Phytotoxic effects of herbicide Attribut and surfactant BioPower on the root, stem, and leaf anatomy of *Triticum aestivum* ‘Pehlivan’. *Turkish Journal of Botany*, vol. 37, n. 5, p. 886-893. <https://doi.org/10.3906/bot-1204-34>
- Yilmaz, G.; Aksoy, O.; Meric, C. & Dane, F. (2013) – Effects of Herbicide Attribut (propoxycarbazone-sodium) and Surfactant BioPower (sodium alkylether-sulphate) on DNA amounts of *Triticum aestivum* L. cv. Pehlivan by Flow Cytometry. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, vol. 2, n. 12, p. 322-324.
- Zadoks, J.C.; Chang, T.T. & Konzak, C.F. (1974) – A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, vol. 14, n. 6, p. 415-421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>