

Controle de capim-amargoso com herbicidas graminicidas após diferentes períodos de restrição hídrica

Control of sourgrass with graminicide herbicides after different water restriction periods

Abílio F. Lopes^a, João H. V. de Almeida Junior^a, Guilherme S. Gimenez^a, Guilherme M. P. de Oliveira^a, Giliardi Dalazen^{a*}

^aDepartamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, Brasil.

Resumo: Introdução: Os inibidores da enzima Acetil-CoA carboxilase (ACCCase) são herbicidas pós-emergentes recomendados para o controle de capim-amargoso (*Digitaria insularis*). O estresse hídrico pode influenciar nos processos fisiológicos e na eficácia desses herbicidas nas plantas daninhas.

Objetivo: Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficácia de inibidores da ACCase no controle de capim-amargoso após diferentes períodos de restrição hídrica.

Métodos: Os tratamentos foram organizados em esquema fatorial (8x4). O fator A foi composto por períodos de restrição hídrica antes da aplicação dos herbicidas (0; 2; 4; 6; 8; 10; 12 e 14 dias). O fator B foi composto pelos herbicidas cletodim (144 g i.a. ha⁻¹), quizalofop-P-tefural (72 g i.a. ha⁻¹) e [cletodim + quizalofop-P-ethyl] (144 + 72 g i.a. ha⁻¹), além da testemunha. As variáveis avaliadas foram o controle aos 14, 28 e 42 dias após a aplicação dos tratamentos (DAT) e a massa seca da parte aérea aos 42 DAT.

Resultados: Quando realizada a aplicação sem restrição hídrica, o controle foi superior a 80% para todos herbicidas. Contudo, com 14 dias de restrição hídrica, o controle caiu para 15% para o herbicida quizalofop-P-tefural e para 29% para a associação entre [cletodim + quizalofop-P-ethyl]. A eficácia do cletodim sofreu menor influência da restrição hídrica, com 56,6% de controle quando aplicado após 14 dias de restrição hídrica.

Conclusões: A eficácia dos inibidores da ACCase sobre o controle de capim-amargoso é consideravelmente reduzida com a redução da umidade do solo. O cletodim teve maior eficácia em solo mais seco, embora inferior à satisfatória.

Palavras-chave: cletodim, controle químico, *Digitaria insularis*, graminicidas, quizalofop, umidade do solo.

Abstract: Background: Acetyl-CoA carboxylase (ACCCase) enzyme inhibitors are post-emergent herbicides recommended for the control of sourgrass (*Digitaria insularis*). Water stress can influence the physiological processes and the effectiveness of these herbicides in weeds.

Objective: The objective of this work was to evaluate the effectiveness of ACCase enzyme inhibitors in the control of sourgrass after different periods of water restriction.

Methods: The treatments were organized in a factorial scheme (8x4). Factor A was composed of periods of water suspension before herbicide application (0; 2; 4; 6; 8; 10; 12 and 14 days). Factor B was composed of the herbicides cletodim (144 g a.i. ha⁻¹), quizalofop-P-tefural (72 g a.i. ha⁻¹) and [cletodim + quizalofop-P-ethyl] (144 + 72 g a.i. ha⁻¹), in addition to untreated treatment. The evaluated variables were the control of sourgrass at 14, 28 and 42 days after the application of treatments (DAT) and the dry shoot mass at 42 DAT.

Results: When applied without water suspension, the control was greater than 80% for all herbicides. However, with 14 days of water suspension, the control was reduced to 15% for the herbicide quizalofop-P-tefural and to 29% for the association [cletodim + quizalofop-P-ethyl]. The effectiveness of the cletodim was less influenced by water restriction, with 56.6% of control when applied after 14 days of water restriction.

Conclusions: The effectiveness of ACCase inhibitors on the control of sourgrass is considerably reduced with the reduction of soil moisture. Cletodim was more effective in drier soil, although less than satisfactory.

Keywords: chemical control, cletodim, *Digitaria insularis*, graminicides, quizalofop, soil moisture.

Journal Information:

ISSN: 2763-8332

Website: <https://www.weedcontroljournal.org/>

Jornal da Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas

Como citar: Lopes AF, Almeida Junior JHV, Gimenez GS, Oliveira GMP, Dalazen G. Controle de capim-amargoso com herbicidas graminicidas após diferentes períodos de restrição hídrica. Weed Control J. 2021;20:e202100756.

<https://doi.org/10.7824/wcj.2021;20:00756>

Aprovado por:

Editor-Chefe: Daniel Valadão Silva

Editor Associado: Guilherme Braz

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesses em relação à publicação deste manuscrito.

Recebido: Março 26, 2021

Aprovado: Setembro 08, 2021

* Corresponding author:

<giliardidalazen@gmail.com>



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Copyright: 2021

1. Introdução

O capim-amargoso (*Digitaria insularis*) é uma das principais plantas daninhas que infestam as lavouras brasileiras, com predominância em cultivos de verão nas regiões centro-oeste e centro-sul (López-Ovejero et al., 2017). Trata-se de uma espécie perene e herbácea, com capacidade de formar touceiras que podem atingir até 1,5 metros de altura (Kissmann e Groth, 1997; Lorenzi, 2014). A propagação ocorre tanto via sementes quanto via rizomas, que são produzidos a partir de 45 dias após a emergência (Machado et al., 2006; Ferreira et al., 2018). As sementes são leves e pilosas, o que favorece a dispersão da espécie pelo vento (Gomes et al., 2017).

O capim-amargoso é uma planta C4, com rápido crescimento e grande capacidade competitiva. Segundo Gazziero et al. (2019), quando a densidade de plantas de capim-amargoso em lavoura de soja é igual a 2,1 plantas por m², as perdas de rendimento podem chegar a 375 kg ha⁻¹, e com 10 touceiras por m² a produtividade pode ser 2.000 kg ha⁻¹ menor em comparação às áreas livres da presença da planta daninha. A cultura do milho também é afetada negativamente pela convivência com capim-amargoso. Em áreas infestadas, a produtividade chega a ser 32% menor em relação a uma lavoura onde é realizado o manejo do capim-amargoso (Gemelli et al., 2013).

Além da grande capacidade competitiva e de dispersão do capim-amargoso, a ocorrência de biótipos resistentes ao glyphosate (inibidor da 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase- EPSPS) (Heap, 2022) é um agravante que tornou essa espécie ainda mais problemática. Estima-se que mais de 8 milhões de hectares no Brasil sejam infestados com capim-amargoso resistente a este herbicida (Adegas et al., 2017). Dessa forma, faz-se necessária a utilização de herbicidas com outros mecanismos de ação.

Para o controle em pós-emergência, os inibidores da ACCase são

considerados como a principal alternativa de controle químico, incluindo os grupos químicos das ciclohexanodionas (DIMs) e dos ariloxifenoxipropanoatos (FOPs). Vários trabalhos têm demonstrado a eficácia desses herbicidas no controle de capim-amargoso (Melo et al., 2012; Adegas et al., 2017; Gomes et al., 2017; Takano et al., 2020; Gomes et al., 2020). Contudo, ressalva-se que além da resistência ao glyphosate, também há registros de resistência aos inibidores da ACCase do grupo químico dos FOPs, tanto em resistência simples quanto em resistência múltipla com os inibidores da EPSPS (Takano et al., 2020; Heap, 2022). Mas, mesmo assim, os inibidores da ACCase permanecem como a principal opção de controle químico de capim-amargoso em pós-emergência.

Alguns fatores ambientais, como a temperatura do ar, umidade relativa e a luminosidade, podem afetar a eficácia dos herbicidas inibidores da ACCase no controle das plantas daninhas (Ramsey et al., 2005; Xu et al., 2010; Cieslik et al., 2013). Além desses, a baixa umidade do solo também é considerada um fator muito importante, uma vez que plantas que se desenvolvem em condições de déficit hídrico têm controle reduzido, devido à baixa absorção e translocação dos herbicidas (Coupland, 1989; Hatterman-Valenti et al., 2006; Cieslik et al., 2013).

O controle de capim-amargoso deve ser priorizado antes mesmo do estabelecimento da cultura no campo, na operação chamada de dessecação pré-semeadura. Em muitas regiões do Brasil, a dessecação coincide com períodos de baixa disponibilidade hídrica no solo. Sendo assim, a eficácia no controle de capim-amargoso utilizando herbicidas inibidores da ACCase é supostamente afetada quando a aplicação é realizada em condições de estresse hídrico. Mediante o exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o controle de capim-amargoso em resposta à aplicação de herbicidas inibidores da ACCase em pós-emergência, após diferentes períodos de restrição hídrica.

2. Material e Métodos

Local e Material Vegetal

Sementes de capim-amargoso coletadas na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, foram semeadas em bandejas plásticas (30 x 20 x 7 cm) preenchidas com substrato orgânico peneirado. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação e irrigadas diariamente. Após 21 dias, três plântulas de capim-amargoso foram transplantadas para vasos de 8 dm³.

Os vasos (unidades experimentais) foram preenchidos com mistura de solo e areia (2:1). Após a mistura, registraram-se as seguintes características para o substrato: 30% de areia, 25% de silte e 45% de argila; pH (CaCl₂) 5,30; 20,10 g kg⁻¹ de matéria orgânica e 9,90 cmol_c dm⁻³ de capacidade de troca catiônica. As plantas foram mantidas em casa de vegetação e irrigadas diariamente.

Delineamento Experimental e Tratamentos

Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, em esquema fatorial 8 x 4. O fator A foi composto por períodos de restrição hídrica antes da aplicação dos herbicidas, sendo eles:

0; 2; 4; 6; 8; 10; 12 e 14 dias. O fator B foi composto por uma testemunha sem aplicação e por três herbicidas inibidores da enzima ACCase recomendados para o controle do capim-amargoso, sendo clethodim (Select 240 EC®, 240 g L⁻¹ de i.a., EC, UPL), na dose de 144 g i.a. ha⁻¹, quizalofop-P-tefuril (Panther 120 EC®, 120 g L⁻¹ de i.a., EC, UPL), na dose de 72 g i.a. ha⁻¹, e a mistura comercial de [clethodim + quizalofop-P-ethyl] (Kroll®, 240 + 120 g L⁻¹ de i.a., EC, UPL) na dose de 144 + 72 g i.a. ha⁻¹.

Os períodos de restrição da irrigação resultaram em umidades do solo equivalentes a 23,5; 17,04; 16,18; 11,77; 11,35; 9,13; 7,33 e 6,84%, respectivamente. A determinação da umidade do solo foi realizada por meio da coleta de amostras de solo de todos os vasos, utilizando trado holandês, momentos antes da aplicação dos herbicidas, e colocadas em sacos plásticos vedados. Em seguida as amostras foram pesadas e colocadas para secagem em estufa a 105°C durante 48 horas. Após a secagem, todas as amostras foram novamente pesadas, e através da diferença entre massa inicial e final calculou-se a umidade do solo a partir do método gravimétrico.

Para cada período de restrição hídrica havia um tratamento controle. Nesse tratamentos foi aplicada apenas água no dia da aplicação dos herbicidas. Nos tratamentos compostos pelos herbicidas, foi adicionado adjuvante alquil ester etoxilado do ácido fosfórico (Lanzar®, 280 g L⁻¹, UPL) na proporção de 0,5% v/v, conforme recomendação do fabricante.

Instalação e Aplicação dos Tratamentos

A restrição hídrica foi realizada antes da aplicação dos tratamentos, ou seja, a restrição da irrigação teve início 14 dias antes da aplicação dos herbicidas, até o dia 0, respeitando o intervalo de 2 dias entre a restrição da irrigação dos diferentes períodos. Para o período de 0 dias de restrição hídrica, os vasos correspondentes foram irrigados pela manhã (9:00 h), no dia da aplicação dos herbicidas, a qual foi realizada no período da tarde (17:00 h), sob condições adequadas de umidade relativa do ar (75%) e temperatura (28°C).

A aplicação dos herbicidas foi realizada quando as plantas estavam no estágio de quatro a cinco perfilhos. A pulverização foi realizada com pulverizador costal pressurizado por gás carbônico (CO₂), dotado de barra com duas pontas tipo leque TeeJet 110.02 com indução de ar, com pressão de trabalho de 30 psi e volume de calda equivalente a 120 L ha⁻¹. Na manhã seguinte à aplicação dos herbicidas, retomou-se a irrigação dos vasos, realizando-a diretamente ao solo, sem aspergir as folhas para evitar a remoção dos herbicidas.

Avaliações

As avaliações de controle do capim-amargoso foram realizadas aos 14, 28 e 42 dias após aplicação dos tratamentos (DAT). Para essa avaliação foi usada a escala de zero a 100%, em que 0 significa ausência de sintomas e 100 corresponde ao controle total (morte) das plantas (Frans e Crowley, 1986). As avaliações de controle foram realizadas por dois avaliadores de forma independente, e em seguida considerada a média. Cada tratamento foi comparado à sua respectiva

testemunha, com período de restrição hídrica equivalente.

Para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) as plantas foram coletadas aos 42 DAT e colocadas em sacos de papel. Após isso, as amostras foram mantidas em estufa a 65°C por 72 horas e posteriormente pesadas. Os dados foram expressos em g planta⁻¹.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$) e a significância da interação dos fatores foi analisada. Quando os efeitos dos períodos de restrição hídrica foram significativos, os dados foram submetidos à análise de regressões ($p < 0,05$). Para o fator herbicida, quando o efeito foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) dentro de cada período de restrição hídrica.

3. Resultados e Discussão

Os resultados de controle de capim-amargoso estão

apresentados na Figura 1 e na Tabela 1. De maneira geral, observa-se que para todos os herbicidas, o controle foi reduzido com o aumento do período de restrição hídrica, porém em intensidades diferentes para cada herbicida. Aos 14 DAT (Figura 1A), a mistura de [clethodim + quizalofop-P-ethyl] teve o decréscimo de controle mais acentuado em resposta ao aumento do período de restrição hídrica, com 40% de controle quando não houve restrição, e de apenas 10% de controle após 14 dias de restrição hídrica. Já o herbicida clethodim teve a menor redução na eficácia de controle em relação ao período de restrição hídrica. Conforme apresentado na Figura 1A, o herbicida clethodim resultou em controle que variou de 25 a 16%, para os períodos de zero e quatorze dias de restrição hídrica, respectivamente. Já o herbicida quizalofop-P-tefural, que teve os piores índices de controle aos 14 DAT em comparação aos demais graminicidas, teve seu controle variando de 15% quando não houve suspensão hídrica, para 0% no maior período de restrição hídrica. Em períodos de restrição hídrica iguais ou superiores a 10 dias, o controle proporcionado por quizalofop-P-tefural não diferiu do tratamento testemunha (Tabela 1).

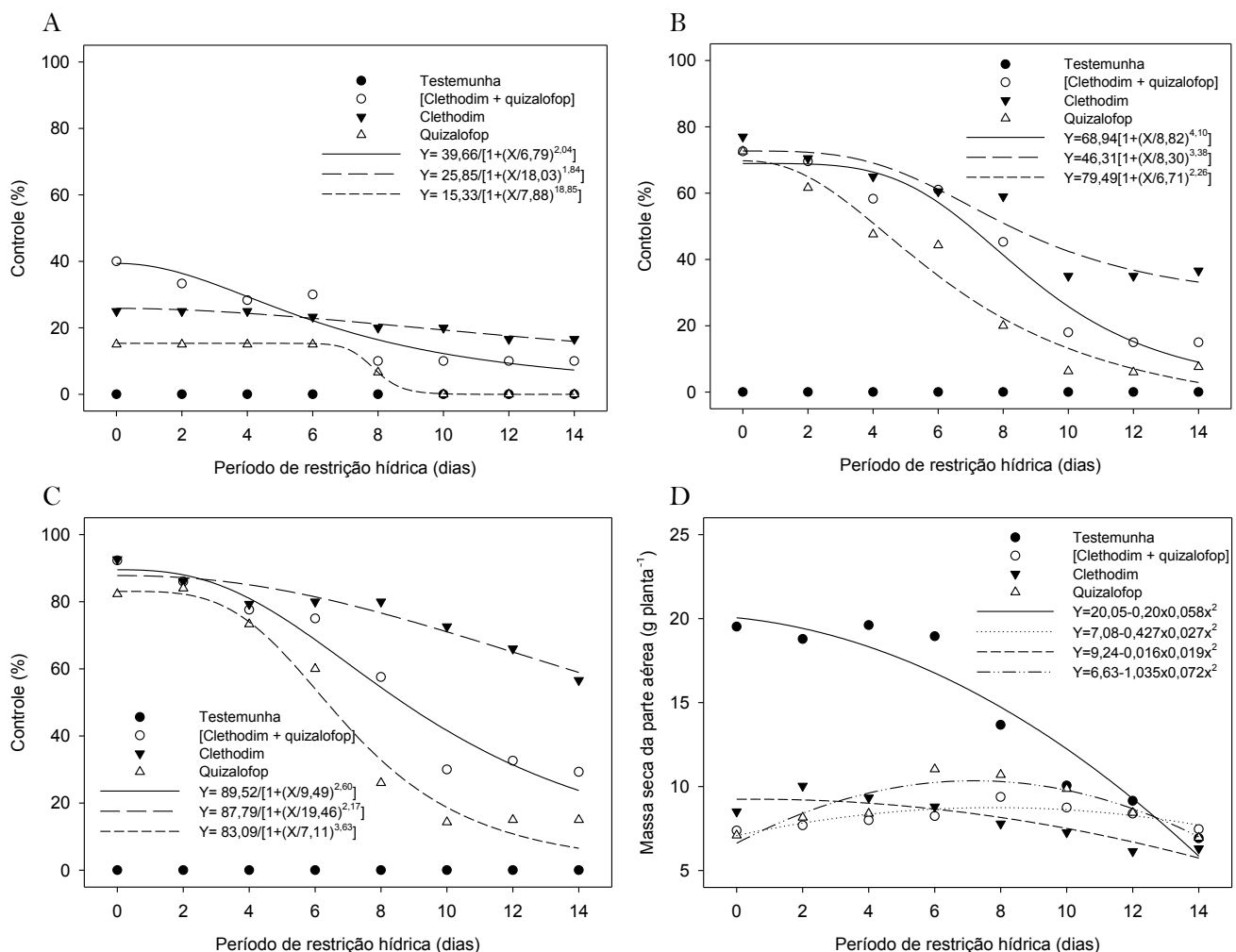


Figura 1. Controle (%) de capim-amargoso aos 14 (A), 28 (B) e 42 (C) dias após o tratamento (DAT) e massa seca da parte aérea (MSPA) aos 42 dias (D) em resposta à aplicação de inibidores da ACCase após diferentes períodos de restrição hídrica.

Tabela 1. Desdobramento da interação do fator herbicida dentro de cada período de restrição hídrica para as variáveis controle de capim-amargoso (%) aos 14, 28 e 42 dias após o tratamento (DAT) e massa seca da parte aérea aos 42 dias (MSPA).

Herbicida	Período de restrição hídrica (dias)							
	0	2	4	6	8	10	12	14
Controle (%) aos 14 DAT								
Testemunha	00,0 d	00,0 d	00,0 c	00,0 d	00,0 d	00,0 c	00,0 c	00,0 c
[Clethodim + quizalofop]	40,0 a	33,3 a	28,3 a	30,0 a	10,0 b	10,0 b	10,0 b	10,0 b
Clethodim	25,0 b	25,0 b	25,0 a	23,3 b	20,0 a	20,0 a	16,6 a	16,6 a
Quizalofop	15,0 c	15,0 c	15,0 b	15,0 c	6,6 c	0,0 c	0,0 c	0,0 c
CV (%)	8,48%							
Controle (%) aos 28 DAT								
Testemunha	00,0 b	00,0 b	00,0 c	00,0 b	00,0 c	00,0 c	00,0 d	00,0 d
[Clethodim + quizalofop]	72,7 a	69,6 a	58,3 ab	61,0 a	45,0 ab	18,3 b	15,0 b	15,0 b
Clethodim	77,0 a	70,3 a	65,0 a	60,5 a	58,6 a	35,5 a	35,0 a	36,6 a
Quizalofop	72,6 a	61,6 a	47,6 b	44,3 a	20,0 b	6,3 b	6,0 c	7,6 c
CV (%)	19,38%							
Controle (%) aos 42 DAT								
Testemunha	00,0 c	00,0 b	00,0 b	00,0 c	00,0 c	00,0 a	00,0 d	00,0 c
[Clethodim + Quizalofop]	92,3 a	86,0 a	77,6 a	75,0 a	57,6 b	30,0 b	32,6 b	29,3 b
Clethodim	92,6 a	86,0 a	80,0 a	80,0 a	80,0 a	72,6 a	66,0 a	56,6 a
Quizalofop	82,3 b	84,0 a	73,3 a	60,0 b	26,0 b	14,3 c	15,0 c	22,0 b
CV (%)	12,6%							
MSPA (g planta ⁻¹)								
Testemunha	19,5 a	18,8 a	19,6 a	18,9 a	13,7 a	10,1 a	9,2 a	6,9 a
[Clethodim + quizalofop]	7,4 b	7,7 b	8,0 b	8,2 b	9,4 ab	8,7 ab	8,4 ab	7,4 a
Clethodim	8,5 b	10,0 b	9,3 b	8,8 b	7,8 b	7,3 b	6,1 b	6,3 a
Quizalofop	7,1 b	8,2 b	8,4 b	11,0 b	10,7 a	9,9 b	8,4 ab	6,9 a
CV (%)	11,83%							

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na segunda avaliação de controle, aos 28 DAT (Figura 1B), o efeito da umidade de solo tornou-se ainda mais evidente, com decréscimo da eficácia dos herbicidas com a ampliação do período de restrição hídrica antes da aplicação dos graminicidas. Quando não houve restrição hídrica, o controle variou entre 72 e 77% para todos herbicidas, sem diferença estatística (Tabela 1). Em contrapartida, quando a restrição hídrica foi de 14 dias, o controle foi reduzido para 36,6% para o herbicida clethodim, 15% para os herbicidas [clethodim + quizalofop-P-ethyl] e para 7,6% para o herbicida quizalofop-P-tefuril. Assim como aos 14 DAT, em condições de solo com menor disponibilidade hídrica, o herbicida clethodim teve maior eficácia em comparação aos demais herbicidas avaliados (Tabela 1).

Aos 42 DAT, assim como nas demais avaliações, a eficácia de controle foi reduzida consideravelmente para todos herbicidas com o aumento do período de restrição hídrica (Figura 1C). Quando realizada aplicação em plantas que não tiveram a irrigação suspensa anteriormente à aplicação, o controle foi superior a 92% para os herbicidas clethodim e [clethodim + quizalofop-P-ethyl], diferindo dos 82% obtidos pelo quizalofop-P-tefuril (Tabela 1). Contudo, com 14 dias de restrição hídrica, o controle de capim-amargoso foi reduzido para 22% para o herbicida quizalofop-P-tefuril, e para 29% para o herbicida [clethodim + quizalofop-P-ethyl].

O herbicida clethodim foi o que alcançou melhor desempenho entre os herbicidas no controle de capim-amargoso sob as condições de solo mais seco, com 56,6% com 14 dias de restrição hídrica (Tabela 1). Observa-se que para o clethodim o controle manteve-se satisfatório ($\geq 80\%$) mesmo

que em aplicações após oito dias de restrição hídrica. Para os demais herbicidas, esse índice de controle apenas foi observado até quatro dias de restrição hídrica. Na Figura 2 é possível observar o efeito dos tratamentos aos 42 DAT, evidenciando a maior mortalidade de capim-amargoso em condições de solo mais úmido, e a maior eficácia de clethodim, mesmo após maiores períodos de restrição hídrica.

Os diferentes níveis de controle de capim-amargoso acarretam em diferenças na massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de capim-amargoso em relação aos períodos de restrição hídrica (Figura 1D e Tabela 1). Observa-se que na testemunha ocorreu acentuado decréscimo na MSPA das plantas com o aumento do período de restrição hídrica, o que pode ser visualizado também na Figura 2. Isso ocorreu pelo efeito da deficiência hídrica sobre o crescimento das plantas.

Nas plantas que não passaram por restrição hídrica, a MSPA foi de 19,52 g planta⁻¹, enquanto que para o maior período foi de apenas 6,9 g planta⁻¹. Considerando a aplicação de herbicidas, observa-se que todos herbicidas levaram à redução da MSPA em relação à testemunha em períodos iguais ou inferiores a seis dias de restrição hídrica (Tabela 1). A partir desse período até 10 dias de restrição hídrica, observa-se a redução da MSPA com a aplicação de clethodim em comparação ao tratamento testemunha, corroborando com os resultados de controle aos 42 DAT (Figura 1C). Contudo, quando a suspensão hídrica foi de 12 ou 14 dias, a aplicação dos herbicidas não resultou em redução significativa da MSPA (Tabela 1), provavelmente em decorrência do menor desenvolvimento das plantas e da menor eficácia dos herbicidas aplicados em condições de déficit hídrico.

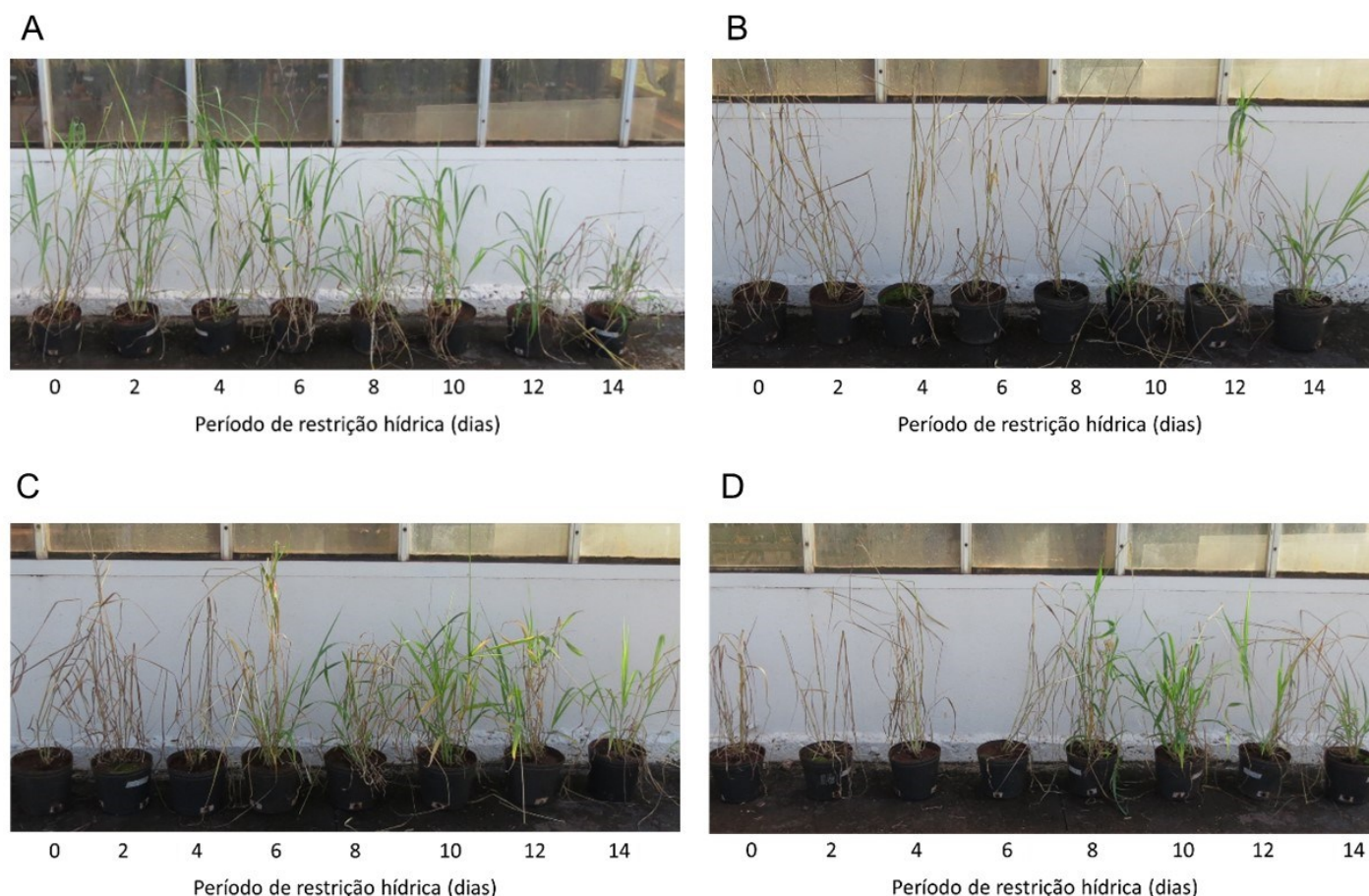


Figura 2. Plantas de capim-amargoso aos 42 DAT em resposta à aplicação dos inibidores da ACCase após diferentes períodos de restrição hídrica. (A) Testemunha; (B) clethodim; (C) quizalofop-P-tefutil; e (D) [clethodim + quizalofop-P-ethyl].

De maneira geral, o controle de capim-amargoso foi reduzido conforme se aumentou o período de restrição hídrica antecedendo a aplicação dos graminicidas. Tendo em vista que, para ocorrência de controle satisfatório, os herbicidas pós-emergentes precisam ser absorvidos e translocados até o local de ação, em que a máxima eficácia é alcançada quando as plantas daninhas possuem condições fisiológicas favoráveis para absorvê-los e translocá-los em doses suficientes para inibir o processo bioquímico desempenhado pela enzima alvo, neste caso a ACCase (Penckowski et al., 2003).

A diminuição da eficácia é explicada pela resposta evolutiva das plantas ao estresse hídrico por meio da produção de uma cutícula mais espessa e com maior cerosidade, a fim de reduzir a perda de água para o meio via transpiração cuticular. A cutícula das folhas é responsável pela regulação da entrada de produtos químicos nas plantas, entre eles os herbicidas. Hatterman-Valenti et al. (2006) constataram que a quantidade de cera nas folhas de capim-rabo-de-raposa-gigante (*Setaria faberi*) cultivado em solo com umidade na capacidade de campo foi equivalente a $11,5 \text{ ug cm}^{-2}$, e em condições de estresse hídrico a quantidade de cera epicuticular passou a ser de $15,5 \text{ ug cm}^{-2}$. Outra estratégia utilizada pelas plantas em condições de estresse hídrico é a alteração na composição da cutícula, como o aumento na proporção de alcanos e cutina (Palacios et al., 2013). Portanto, o estresse hídrico antes da aplicação dos herbicidas tem potencial para causar modificações na estrutura da cutícula da lâmina foliar das plantas daninhas, o

que afeta o processo de absorção dos herbicidas.

A cera epicuticular faz parte da estrutura da cutícula foliar, sendo composta por substâncias apolares que não têm afinidade com a água e com herbicidas polares. A quantidade e a composição da cera epicuticular dependem das condições meteorológicas, do organismo estudado e da fenologia da planta. A cera epicuticular é uma complexa mistura de diferentes compostos alifáticos (Ferreira et al., 2005). A presença de grandes quantidades de ceras na superfície das folhas repele a água, que é o principal veículo utilizado na pulverização de herbicidas, por consequência a absorção de herbicidas é comprometida. Além da composição da cutícula, plantas em estado de estresse hídrico possuem também modificações na orientação de suas folhas, sendo que plantas estressadas têm folhas mais verticalizadas que o normal, podendo assim reduzir a exposição da área foliar a ser aplicado o herbicida, acarretando em menor retenção das gotas pulverizadas (Levene e Owen, 1995).

Além da absorção, a translocação dos herbicidas também é prejudicada em condições de estresse hídrico, podendo explicar a menor eficácia dos graminicidas com o aumento do período de restrição hídrica antecedendo a aplicação. Os inibidores da ACCase caracterizam-se por ter uma translocação limitada, devido à sua baixa solubilidade em água, sendo que a maior parte do herbicida fica na folha que recebeu a aplicação. Para o clethodim, mais de 79% do ingrediente ativo ficou retido na folha de aplicação em grama-

seda (*Cynodon dactylon*) (Nandula et al., 2007). Para outros herbicidas, incluindo os FOPs, a translocação é ainda mais limitada, sendo que mais de 98% do total de fluazifop aplicado ficou retido na folha tratada em capim-rabo-de-raposa (*Setaria viridis*) (Carr et al., 1986). Peregoy et al. (1990) observaram que a redução da umidade do solo reduziu tanto a absorção quanto a translocação de haloxyfop em capim-massambará (*Sorghum halepense*) e capim-colchão (*Digitaria sanguinalis*), resultando em menor eficácia do produto.

Embora a redução no controle com o aumento do período de restrição hídrica tenha ocorrido para todos os herbicidas, observou-se que esse efeito foi menor para o clethodim (Figuras 1 e 2, e Tabela 1). De maneira semelhante, Boydston (1990) observou que o herbicida setoxydim teve melhor controle de capim-rabo-de-raposa (*Setaria viridis*) em condições de solo seco em comparação a herbicidas FOPs, como fluazifop, fenoxaprop e haloxyfop. Contudo, em capim-pé-de-galinha (*Eleusine indica*), o melhor controle em solo seco foi observado para o fluazifop em comparação ao setoxydim e haloxyfop (Pereira et al., 2015), demonstrando haver resposta variável para cada espécie de planta daninha.

Os inibidores da ACCase possuem características físico-químicas distintas que devem ser levadas em consideração para um melhor aproveitamento e eficácia destes produtos. Dentre essas características estão o pKa, que é a capacidade de uma molécula ser ionizada, e o log Kow, uma importante propriedade que mensura a afinidade entre os herbicidas e a água, conferindo maior ou menor solubilidade das moléculas na água, assim como com a cutícula apolar. Quanto mais polar for o herbicida, maior é sua afinidade com a água, sendo então considerado hidrofílico e, em contrapartida, herbicidas com características apolares são considerados lipofílicos (maior log Kow). Como possuem características físico-químicas diferentes, a absorção e a translocação variam entre o clethodim (log Kow: 1,6; pKa: 4,1) e o quizalofop (log Kow: 4,66; pKa: 1,25) (Shaner, 2014). Dessa forma, em teoria, o herbicida clethodim possui maior capacidade de se translocar (Bromilow et al., 1990), o que pode explicar o melhor resultado alcançado, mesmo em condições de solo mais seco.

Ainda que os herbicidas DIMs e FOPs inibam o mesmo local de ação, a enzima ACCase, suas estruturas químicas são diferentes, resultando em variações de afinidade com o sítio catalítico da enzima. O sítio catalítico da enzima ACCase é formado por vários aminoácidos, e alguns deles são compartilhados por herbicidas de ambos os grupos químicos (Rendina et al., 1990; Liu et al., 2007; Jang et al., 2013). Isso quer dizer que quando uma molécula de FOP estiver ocupando o sítio catalítico, é impossível a entrada simultânea de uma molécula de DIM. Isso explica por que a mistura formulada de [clethodim + quizalofop-P-ethyl] utilizada neste experimento não incrementou o controle de capim-amargoso em relação à aplicação isolada de clethodim.

Por outro lado, a utilização dessa mistura pode reduzir

a chance de seleção de plantas daninhas resistentes. Até o momento foram identificadas oito mutações no sítio de ligação da ACCase que impedem a ligação de herbicidas FOPs, mas apenas três dessas levam à resistência simultânea aos DIMs (Powles e Yu, 2010). Portanto, nem sempre a resistência é cruzada, ou seja, plantas resistentes aos FOPs podem ser controladas por DIMs e vice-versa, dependendo do mecanismo de resistência (Jang et al., 2013). Em capim-amargoso, recentemente foi identificada a mutação na posição 2027 do gene ACCase, com a substituição do aminoácido triptofano por cisteína, afetando a interação dos FOPs com a enzima ACCase, mas sem afetar a interação com DIMs (Takano et al., 2020).

Na prática, a menor eficácia dos graminicidas em condições de solo seco demanda maior planejamento por parte dos produtores. Recomenda-se que medidas de controle sejam adotadas durante o período chuvoso, evitando que plantas adultas permaneçam no campo, principalmente nas operações de dessecação pré-semeadura da safra de verão. Além das plantas adultas serem menos sensíveis aos herbicidas (Cassol et al., 2019), a dificuldade de controle aumenta sob condições de estresse hídrico. Ressalta-se ainda que sob condições de estresse, a dose de herbicida que chega até o local de ação é menor, e trabalhos já demonstraram que a utilização consecutiva de subdoses pode levar à evolução de plantas resistentes (Yu et al., 2012). Além disso, outras medidas integradas que diminuam a ocorrência de capim-amargoso devem ser adotadas durante todo o ano, com o objetivo de reduzir as infestações.

4. Conclusões

A umidade do solo no momento da aplicação dos graminicidas clethodim, [clethodim + quizalofop-P-ethyl] e quizalofop-P-tefuril influencia diretamente no controle de capim-amargoso.

O herbicida clethodim possui melhor eficácia sobre capim-amargoso em condições de solo seco. No entanto, o controle só é satisfatório (>80%) quando aplicado em plantas que não passaram por estresse hídrico.

Portanto, para uma melhor eficiência no controle de capim-amargoso, a aplicação dos graminicidas deve ser realizada com solo úmido. É desejável que a umidade do solo no momento da aplicação seja superior a 16,18% para que se tenha um controle de capim-amargoso satisfatório, independentemente do graminicida utilizado.

Agradecimentos

Agradecemos à UPL do Brasil Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários S.A., pelo fornecimento das amostras dos herbicidas e adjuvantes utilizados nesta pesquisa.

Referências

Adegas FS, Vargas L, Gazziero DLP, Karam D, Silva AF, Agostinetto D. Impacto econômico da resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil. Londrina: Embrapa Soja; 2017.

Boydston RA. Soil water content affects the activity of four herbicides on green foxtail (*Setaria viridis* L.). Weed Sci. 1990; 38(6):578-82. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0043174500051523>

- Bromilow RH, Chamberlain K, Evans AA. Physicochemical aspects of phloem translocation of herbicides. *Weed Sci.* 1990; 38(3):305-14. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0043174500056575>
- Carr JE, Davies LG, Cobb AH, Pallett KE. Uptake, translocation and metabolism of fluazifop-butyl in *Setaria viridis*. *Ann. Appl. Biol.* 1986; 108(1): 115-23. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1744-7348.1986.tb01972.x>
- Cassol M, Mattiuzzi MD, Albrecht AJP, Albrecht LP, Baccin LC, Souza, CNZ. Efficiency of isolated and associated herbicides to control glyphosate-resistant sourgrass. *Planta Daninha* 2019; 37: e019190671. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100060>
- Cieslik LF, Vidal RA, Trezzi MM. Fatores ambientais que afetam a eficácia de herbicidas inibidores da ACCase: revisão. *Planta Daninha* 2013; 31(2): 483-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000200026>
- Coupland D. Pre-treatment environmental effects on the uptake, translocation, metabolism and performance of fluazifop-butyl in *Elymus repens*. *Weed Res.* 1989; 29(4): 289-97. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3180.1989.tb00914.x>
- Ferreira EA, Demuner AJ, Silva AA, Santos JB, Ventrella MC, Marques AE, et al. Composição química da cera epicuticular e caracterização da superfície foliar em genótipos de cana-de-açúcar. *Planta Daninha* 2005; 23(4): 611-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582005000400008>
- Ferreira SD, Exteckoetter V, Gibbert AM, Barbosa JA, Costa NV. Biological cycle of susceptible and glyphosate-resistant sourgrass biotypes in two growth periods. *Planta Daninha* 2018; (36): e018175923. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582018360100077>
- Frans R, Crowley H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. In: Southern Weed Science Society. *Research Methods in Weed Science*. 3th ed. Clemson; 1986.
- Gazziero DLP, Adegas FS, Silva AF, Concenção G. Estimativas de perdas de rendimento na soja devido à interferência do capim-amargoso. *Planta Daninha* 2019; 37: e019190835. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100047>
- Gemelli A, Oliveira Jr. RS, Constantin J. Estratégias para o controle de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate, desde a dessecção de manejo até a pós-emergência da soja RR. *Informe Técnico PGA-UEM* 2013; 2(2):1-5. Disponível em: <http://www.pga.uem.br/uploads/informe-tecnico-pga-uem-004.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.
- Gomes HL, Sambatti VC, Dalazen G. Sourgrass control in response to the association of 2,4-D to ACCase inhibitor herbicides. *Biosci. J.* 2020; 36(4): 1126-36. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJ-v36n4a2020-47895>
- Gomes LJP, Santos JI, Gasparino EC, Correia NM. Chemical control and morphoanatomical analysis of leaves of different populations of sourgrass. *Planta Daninha* 2017; 35: e017158021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582017350100008>
- Hatterman-Valenti HM, Pitty A, Owen MDK. Effect of environment on giant foxtail (*Setaria faberi*) leaf wax and fluazifop-P absorption. *Weed Sci.* 2006; 54(4): 607-14. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WS-04-158R2.1>
- Heap I. The international herbicide-resistant weed database. Disponível em: <https://www.weedscience.org/Home.aspx>. Acesso em: 14 fev. 2022.
- Jang S, Marjanovic J, Gornicki P. Resistance to herbicides caused by single amino acid mutations in acetyl-CoA carboxylase in resistant populations of grassy weeds. *New Phytol.* 2013; 197(4): 1110-16. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.12117>
- Kissmann KG, Groth D. Plantas infestantes e nocivas. Tomo I. São Paulo: BASF Brasileira; 1997.
- Levene BC, Owen MDK. Effect of moisture stress and leaf age on bentazon absorption in common cocklebur (*Xanthium strumarium*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Sci.* 1995; 43(1): 7-12. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0043174500080747>
- Liu W, Harrison DK, Chalupska D, Gornicki P, O'donnell CC, Adkins SW, et al. Single-site mutations in the carboxyltransferase domain of plastid acetyl-CoA carboxylase confer resistance to grass-specific herbicides. *PNAS* 2007; 104(9): 3627-32. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0611572104>
- Lopez Ovejero RF, Takano HK, Nicolai M, Ferreira A, Melo MSC, Cavenaghi AL, et al. Frequency and dispersal of glyphosate-resistant sourgrass (*Digitaria insularis*) populations across Brazilian agricultural production areas. *Weed Sci.* 2017; 65(2): 285-94. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/wsc.2016.31>
- Lorenzi, H. Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. 7ª ed. Nova Odessa: Plantarum; 2014.
- Machado AFL, Ferreira LR, Ferreira FA, Fialho CMT, Tuffi Santos LD, Machado MS. Análise de crescimento de *Digitaria insularis*. *Planta Daninha* 2006; 24(4): 641-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582006000400004>
- Melo MSC, Rosa LE, Brunharo CACG, Nicolai M, Christoffoleti PJ. Alternativas para o controle químico de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate. *Rev. Bras. Herb.* 2012; 2(11):195-203. Disponível em:

<https://doi.org/10.7824/rbh.v11i2.145>

Nandula VK, Poston DH, Reddy KN, Koger CH. Formulation and adjuvant effects on uptake and translocation of clethodim in bermudagrass (*Cynodon dactylon*). Weed Sci. 2007; 55(1): 6-11. Disponível em: <https://doi.org/10.1614/WS-06-024.1>

Palacios C, Serra D, Torres P. Papel ecológico dos metabólitos secundários frente ao estresse abiótico. In: Lopez, A. M. et al. (Ed.). Botânica no Inverno. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2013. p.52-59.

Penckowski LH, Podolan MJ, López-Ovejero RF. Influência das condições climáticas no momento da aplicação de herbicidas pós-emergentes sobre a eficácia de controle de nabiça (*Raphanus raphanistrum*) na cultura de trigo. Planta Daninha 2003; 21(3): 435-42. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582003000300012>

Peregoy RS, Kitchen LNM, Jordan PW, Griffin JL. Moisture stress effects on the absorption, translocation, and metabolism of haloxyfop in johnsongrass (*Sorghum halepense*) and large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). Weed Sci. 1990; 38(4-5): 331-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0043174500056630>

Pereira MRR, Souza GSF, Silva JIC, Macedo AC, Martins D. Influence of soil water potential in the action of herbicides on goosegrass (*Eleusine indica* (L) Gaertn). Biosci. J. 2015; 31(1): 107-17. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n1a2015-21883>

Powles SB, Yu Q. Evolution in action: plants resistant to herbicides. Annu. Rev. Plant Biol. 2010; 61(1): 317-47. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042809-112119>

Ramsey RJL, Stephenson GR, Hall JC. A review of the effects of humidity, humectants, and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicides. Pestic. Biochem. Physiol. 2005, 82(2): 162-75. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pestbp.2005.02.005>

Rendina AR, Craig-Kennard AC, Beaudoin JD, Breen MK. Inhibition of acetyl-coenzyme A carboxylase by two classes of grass-selective herbicides. J. Agric.Food Chem. 1990; 38 (5): 1282-7, 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf00095a029>

Shaner DL. Herbicide handbook. 10th ed. Lawrence: Weed Science Society of America; 2014.

Takano HK, Melo MSC, López-Ovejero RF, Westra PH, Gaines TA, Dayan FE. Trp2027Cys mutation evolves in *Digitaria insularis* with cross-resistance to ACCase inhibitors. Pestic. Biochem. Physiol. 2020; 164(1): 1-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2019.12.011>

Xu L, Zhu H, Ozkan HE, Bagley WE, Derksen RC, Krause CR. Adjuvant effects on evaporation time and wetted area of

droplets on waxy leaves. Trans. ASABE 2010; 53(1): 13-20. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13031/2013.29495>

Yu Q, Han H, Cawthray GR, Wang SF, Powles SB. Enhanced rates of herbicide metabolism in low herbicide-dose selected resistant *Lolium rigidum*. Plant Cell Environ. 2012; 36(4): 818-27. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.12017>