

Influência de herbicidas do grupo das imidazolinonas em características fisiológicas de plantas cultivadas no inverno¹

Leandro Galon², Sergio Guimarães³, Anderson Moraes de Lima², Germani Concenço⁴, Ivan Renato Cardoso Krolow⁵, Evander Alves Ferreira⁶.

Resumo - Objetivou-se com o trabalho avaliar a influência de herbicidas do grupo químico das imidazolinonas nas características relacionadas a fisiologia de espécies de inverno. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial 3 x 2, com quatro repetições. O fator A foi constituído pelas doses dos herbicidas (0, 1 e 2 vezes a dose recomendada) e o B pelos herbicidas (imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr) aplicados em pré-emergência de canola, festuca, azevém, cornichão, trevo branco e ervilhaca. Aos 60 dias após a emergência das plantas foram determinadas a massa seca da parte aérea, taxa de fotossíntese, concentração interna de CO₂ no mesófilo foliar, CO₂ consumido, taxa de transpiração, condutância estomática de vapores de água, eficiência no uso da água e gradiente térmico. O imazapic + imazapyr causou a morte de todas as espécies testadas, com exceção da ervilhaca. A mistura de imazethapyr + imazapic ocasionou redução de massa seca em todas as espécies e morte das plantas de canola, independente da dose avaliada. As características fisiológicas foram influenciadas pela ação dos herbicidas e das doses. A ervilhaca apresentou melhor comportamento frente aos herbicidas.

Palavras-chave: *Oryza sativa*. Arroz. Inibidores de ALS. Culturas de inverno.

Influence of imidazolinone herbicides on physiological traits of winter crops

Abstract - This study aimed to evaluate the influence of imidazolinone herbicides, usually applied to rice for control of red rice, on traits related to the physiology of winter crops. The experiment was installed in randomized blocks design, arranged in a 3 x 2 factorial scheme, with three replications. The first factor was composed by herbicide rates (0, 1 and 2 x the recommended dose) and factor B by the herbicides (imazethapyr + imazapic and imazapic + imazapyr) applied in pre-emergence of rapeseed, fescue, ryegrass, birdsfoot trefoil, white clover and vetch. At 60 days after emergence, shoot dry mass (g pot⁻¹), photosynthesis rate, CO₂ concentration in leaf mesophyll, consumed CO₂, stomatal conductance of water vapor, transpiration rate, temperature gradient and water use efficiency were evaluated. The mixture of imazapic + imazapyr caused death of all species tested, except vetch. The mixture of imazethapyr and imazapic caused reduction in dry mass for all plant species and plant death of rapeseed, independent of dose. Physiological traits were influenced by the action of herbicides and doses. Vetch performed better under application of the herbicides.

Key words: *Oryza sativa*. Rice. ALS inhibitors. Winter crops.

¹ Manuscrito recebido em 13/08/2014 e aceito para publicação em 06/10/2014.

² Eng. Agr. Doutor, Professor Adjunto, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Câmpus Erechim, Av. Dom João Hoffmann, 313, Bairro Fatima, CEP.: 99700-000, Erechim/RS, Tel.: (54) 3321-7060. E-mail: leandro.galon@uffs.edu.br. Bolsista em produtividade de Pesquisa do CNPq.

³ Acadêmico de agronomia da Universidade Federal do Pampa (Unipampa), Câmpus Itaqui, Itaqui/RS.

⁴ Pesquisador de Herbologia da Embrapa Agropecuária Oeste (CPAO), Dourados/MS.

⁵ Eng. Agr. Doutor, Pesquisador da Fepagro-Centro de Pesquisa Domingos Petrolino/Rio Grande/RS. Ivanrk.rk@ibest.com.br

⁶ Eng. Agr. Doutor, Bolsista PNPd, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Faculdade de Ciências Agrárias, Diamantina/MG.

Introdução

O arroz-vermelho é uma das espécies daninhas que infesta e causa os maiores prejuízos em lavouras de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, além de competir pelos recursos disponíveis no meio e ocasionar problemas na qualidade dos grãos colhidos. Por pertencer a mesma família e espécie do arroz cultivado o arroz-vermelho apresenta características morfofisiológicas e bioquímicas similares à cultura, e isso impede o uso de herbicidas para o controle químico em lavouras orizícolas, sob risco de dano à variedade cultivada. O controle de arroz-vermelho em arroz irrigado tornou-se possível em função do desenvolvimento de alguns genótipos tolerantes aos herbicidas do grupo químico das imidazolinonas, em especial às misturas compostas de imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr aplicadas no sistema conhecido como Clearfield®.

Os herbicidas pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas possuem características físico-químicas que lhes permitem persistir no ambiente por longos períodos (VENCILL, 2002). Essas características incluem, especialmente, os coeficientes de dissociação em meio ácido (pKa) e de partição octanol: água (k_{ow}), as quais regulam a dinâmica desses produtos no solo. Desse modo, esses herbicidas podem persistir no solo por período maior que o ciclo do arroz, provocando a intoxicação em culturas semeadas em sucessão (*carryover*) ou mesmo lixiviarem para camadas mais profundas no perfil do solo, podendo atingir o lençol freático.

Considerando que os referidos herbicidas inibem a enzima acetolactato sintase (ALS), impedindo a biossíntese dos aminoácidos de cadeia ramificada - valina, leucina e isoleucina (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011), seus danos às plantas podem ser avaliados pela influência indireta sobre as variáveis associadas à fotossíntese.

A atividade fotossintética das plantas é influenciada direta ou indiretamente pela deficiência hídrica, pelo estresse térmico, pela concentração interna e externa de gases, pela composição e intensidade da luz (SHARKEY e RASCHKE, 1981) e, em maior grau, pelos danos causados por herbicidas, dentre outros fatores. De acordo com Dal Magro et al. (2006), as plantas podem apresentar diferentes respostas em função do herbicida aplicado, bem como da dose utilizada.

Objetivou-se com o trabalho avaliar a influência de herbicidas, pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas, nas características relacionadas a fisiologia de espécies de inverno.

Material e Métodos

O experimento foi instalado em casa de vegetação da Universidade Federal do Pampa (Unipampa), Câmpus Itaqui/RS, nos meses de junho a agosto de 2011, em delineamento experimental de blocos casualizados arranjado em esquema fatorial 2 x 3, com quatro repetições. O fator A foi composto pelos herbicidas e o fator B pelas doses dos mesmos. Os herbicidas e doses foram: imazethapyr + imazapic – [(0,0; 1,0 e 2,0 L ha⁻¹) + Dash 0,5% v/v] e imazapyr + imazapic [(0,0; 140,0 e 280,0 g ha⁻¹) + Dash 0,5% v/v]. Ressalta-se que a dose comercial recomendada de imazethapyr + imazapic é de 1 L ha⁻¹ e de imazapyr + imazapic é de 140 g ha⁻¹ para o controle de arroz-vermelho em lavouras de arroz irrigado (SOSBAI, 2012). Os herbicidas e as doses dos mesmos foram aplicados sobre as espécies, *Brassica napus* (canola), *Festuca arundinacea* (festuca), *Lotus corniculatus* (cornichão), *Lolium multiflorum* (azevém), *Trifolium repens* (trevo branco) e *Vicia sativa* (ervilhaca), cultivadas na estação de inverno do Rio Grande do Sul para uso como pastagens, cobertura de solo ou para produção de grãos em rotação ou sucessão com as culturas semeadas no verão.

A aplicação dos herbicidas foi efetuada em pré-emergência, um dia após a semeadura das espécies (canola, festuca, cornichão, azevém, trevo branco e ervilhaca), utilizando-se para isso pulverizador costal de precisão, equipado com duas pontas de pulverização da série TT 110.02, o qual aspergiu volume de calda de 150 L ha⁻¹. A semeadura das espécies foi efetuada em vasos plásticos com capacidade para 6 dm³, preenchidos com solo PLINTOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico (Embrapa, 2006) que apresentou as seguintes características físicas e químicas: pH em água de 4,8; MO = 4,7 dag kg⁻¹; P = 6,8 mg dm⁻³; K = 48 mg dm⁻³; Al³⁺ = 0,5 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 4,76 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 1,03 cmol_c dm⁻³; CTC(t) = 6,4 cmol_c dm⁻³; CTC(T) = 15,6 cmol_c dm⁻³; H+Al = 9,7 cmol_c dm⁻³; V = 38%; e Argila = 20%, previamente corrigido e fertilizado de acordo com a recomendação (SOSBAI, 2010). Após a germinação das plantas efetuou-se o desbaste deixando-se quatro plantas por vaso. Aos 60 dias após a emergência foram realizadas

as avaliações da massa seca da parte aérea - MS (g/vaso), bem como as variáveis fisiológicas, das espécies. A MS foi determinada colhendo-se as plantas e acondicionando-se as mesmas em sacos de papel, sendo posteriormente postas para secagem em estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 65 ± 5 °C até atingirem massa constante.

A taxa fotossintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), quantidade de CO_2 consumido ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa de transpiração ($E - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática de vapores de água ($\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$), uso eficiente da água (EUA - $\text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$) e temperatura da folha ΔT (°C) foram determinadas no terço médio da primeira folha completamente expandida das plantas. Para isso foi utilizado um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK), em casa de vegetação aberta, permitindo livre circulação do ar. Cada bloco foi avaliado em um dia, entre 8 e 10 horas da manhã, de forma que se mantivessem condições ambientais homogêneas durante as análises. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, quando significativos realizou-se teste de Tukey para comparação das médias. Todos os testes foram efetuados a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Analisando o acúmulo de massa seca (MS) das plantas testadas (Tabela 1), observou-se que as espécies apresentaram comportamento diferenciado frente aos herbicidas utilizados. Canola e festuca não sobreviveram à aplicação de nenhuma das moléculas, independentemente da dose. Por outro lado, cornichão e trevo-branco não sobreviveram a aplicação da mistura de imazapic + imazapyr, porém quando submetidos a mistura de imazethapyr + imazapic, houve apenas redução no acúmulo de MS das plantas.

O comportamento diferencial dessas espécies frente aos herbicidas inibidores da enzima aceto lactato sintase (ALS) pode ser atribuído ao comportamento diferencial do imazethapyr frente ao imazapyr. Várias pesquisas relatam que os resíduos de imazethapyr podem ocasionar efeitos fitotóxicos em culturas semeadas em sucessão. Ulbrich et al. (2005), relatam que o efeito residual de imazethapyr sobre o milho em sucessão à soja foi mais evidente quando o cereal foi semeado durante o intervalo de 0 a 87 dias

após a aplicação de 80 g ha^{-1} do herbicida. Dan et al. (2011), observaram aos 7 dias após a emergência do milheto que esse apresentou clorose internerval e grande atraso no crescimento, chegando a 47,2% de fitotoxicidade ao se aplicar 100 g ha^{-1} , quando a cultura foi semeada no dia da aplicação do herbicida.

Plantas de azevém na presença de imazethapyr + imazapic apresentaram redução no acúmulo de massa seca da ordem de 61 e 82% quando cresceram sob aplicação da dose e do dobro da dose, respectivamente. Porém, quando cresceram em solo tratado com imazapic + imazapyr houve redução de 82% sob aplicação da dose cheia, e morte total das plantas com aplicação do dobro da dose. Ervilhaca foi a única espécie a tolerar a dose e o dobro das duas misturas herbicidas testadas, porém com significativa redução do acúmulo de MS.

A mistura de imazethapyr + imazapic ocasionou redução de 12 e 34% na MS, já imazapic + imazapyr reduziu em 42 e 55%, quando as plantas foram expostas a dose e o dobro da dose, respectivamente.

Pinto et al. (2009), observaram redução no acúmulo de MS em plantas de azevém, semeadas em sucessão a cultura do arroz, após três anos de cultivo de variedades Clearfield® com aplicação de imazethapyr + imazapic. Resultados divergentes foram encontrados por Villa et al. (2006), que observaram que a MS do azevém semeado em sucessão ao arroz Clearfield®, não foi reduzida pela atividade residual de imazethapyr + imazapic. Os autores atribuíram estes resultados ao excesso de palha de arroz-vermelho no tratamento testemunha, que ocasionou redução no crescimento e desenvolvimento do azevém.

O acúmulo de MS das plantas não se correlacionou diretamente com as características fisiológicas estudadas, porque o crescimento da planta é uma característica resultante da acumulação de biomassa desde a emergência até o momento da avaliação, portanto contínua, enquanto as características fisiológicas são análises pontuais e altamente dependentes das condições ambientais (GALON et al., 2010a), sendo úteis principalmente para inferências entre plantas avaliadas no mesmo momento, sob condições ambientais equivalentes. Apesar das imidazolinonas atuarem inibindo a enzima acetolactato sintase (ALS), essencial para a biossíntese dos aminoácidos de cadeia ramificada - valina, leucina e isoleucina (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011), os danos às plantas causados

por herbicidas deste grupo podem ser avaliados pela sua influência indireta sobre as variáveis associadas à fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2009), pois estresses sofridos pela planta alteram este parâmetro de maneira direta ou indireta, dependendo da natureza do estresse e do metabolismo vegetal (GUREVITCH et al., 2009).

Houve redução da taxa fotossintética de ervilhaca e trevo-branco quando tratadas com a dose e o dobro da dose recomendada de imazethapyr + imazapic; por outro lado, as plantas de azevém apresentaram sua taxa fotossintética aumentada quando tratadas com a dose recomendada (Tabela 2). A taxa fotossintética não se relacionou com o acúmulo da MS, pois o aumento constatado na fotossíntese pode estar associado a um proporcional aumento da respiração, o que pode tornar a taxa de assimilação líquida (NAR) da planta nula (GARDNER et al., 1985).

A concentração interna de CO₂ (C_i) no mesófilo foliar das plantas de azevém e trevo-branco diminuiu na presença do dobro da dose recomendada de imazethapyr + imazapic (Tabela 3).

De maneira geral, foi observado comportamento inverso para o CO₂ consumido (Tabela 4), ou seja, os tratamentos que apresentaram maior consumo de CO₂ apresentavam menores valores de C_i. As demais espécies que sobreviveram não tiveram sua C_i e consumo de CO₂ afetado pelos herbicidas. Com base nestes parâmetros, pode-se inferir que as plantas que cresceram em solo com aplicação do dobro da dose de imazethapyr + imazapic, tiveram o crescimento inicial mais prejudicado que plantas que cresceram em solo com dose padrão do herbicida. Após 60 dias da aplicação, a degradação dos herbicidas na área com o dobro da dose, descrito pela curva de meia-vida do composto (ALISTER e KOGAN, 2010), muito provavelmente proporcionou redução das quantidades dos herbicidas no solo para níveis que permitiram a retomada do crescimento do azevém e do trevo-branco; devido a isto, provavelmente maior consumo de CO₂ pelo processo fotossintético e a consequente redução deste elemento no mesófilo foram registrados 60 dias após aplicação do dobro da dose de imazethapyr + imazapic.

A taxa de transpiração (Tabela 5) apresentou comportamento semelhante a condutância estomática (Tabela 6). As plantas de azevém apresentaram aumento na taxa de transpiração e

da condutância estomática quando cresceram na presença da dose recomendada de imazethapyr + imazapic, já as plantas de trevo-branco apresentaram redução das variáveis na presença do dobro da dose deste herbicida. A mistura de imazapic + imazapyr causou redução das variáveis em questão em ervilhaca na presença da dose recomendada. Alterações na taxa de transpiração estão relacionadas as variações na abertura estomática que ocasionam alterações no potencial hídrico (BRODRIBB e HILL, 2000). A eficiência no uso da água não foi alterada nas espécies sobreviventes, independentemente da dose e dos herbicidas testados (Tabela 7). O uso eficiente da água representa a quantidade de CO₂ fixado para a produção de MS, em função da quantidade de água transpirada no mesmo período (SILVA et al., 2007).

As plantas de azevém e trevo-branco, na presença do dobro da dose recomendada de imazethapyr + imazapic para o controle de arroz vermelho, apresentaram aumento do gradiente térmico (ΔT) ao redor 1 C; resultado semelhante foi observado para ervilhaca quando tratada com imazapic + imazapyr (Tabela 8). O ΔT expressa quantos graus a temperatura da folha se encontra acima da temperatura ambiente no momento da avaliação, podendo ser diretamente correlacionado com a intensidade metabólica do vegetal, quando as condições ambientais forem próximas das adequadas ao desenvolvimento da espécie, e na ausência de outros estresses além do tratamento avaliado (CONCENÇÃO et al., 2009).

A temperatura da folha, de maneira geral, é igual ou superior a temperatura do ar circundante (Tabela 8). O metabolismo do vegetal pode incrementar a temperatura da folha acima da temperatura ambiente, sendo este gradiente diretamente relacionado a intensidade do metabolismo do vegetal. Assim, o aumento do metabolismo pode ser indiretamente aferido em função do gradiente entre a temperatura da folha e do ar ao seu redor. Normalmente essa diferença é de somente um ou dois graus, mas em casos extremos, pode exceder a 5°C (ATKIN et al., 2000; TAIZ e ZEIGER, 2009). Por outro lado, o processo transpiratório atua como um resfriador, contra-balanceando parte do aumento na temperatura decorrente do metabolismo da planta (GALON et al., 2010b) fazendo com que a relação ΔT /metabolismo nem sempre seja direta. Nas plantas que não apresentaram diferenças no ΔT , pode-se inferir que o metabolismo, de maneira geral, foi pouco afetado pelos herbicidas após 60 dias de sua aplicação ao solo.

De acordo com Santos et al. (2007) o uso de dose elevada de imazethapyr + imazapic, dependendo das condições edafoclimáticas e do manejo e tratos culturais efetuados na lavoura, pode potencializar problemas de resíduos do herbicida no solo, ocasionando prejuízos para o arroz semeado no ano agrícola seguinte, caso o produtor opte por um cultivar não-tolerante, ou para o crescimento e desenvolvimento de outras culturas, como azevém, sorgo e milho.

A utilização de espécies não-tolerantes pode ser comprometida caso o intervalo entre a aplicação de imazethapyr e a semeadura da cultura em rotação não seja observado (WILLIAMS et al., 2002). Nos EUA, onde o sistema Clearfield® foi desenvolvido, recomenda-se a utilização do herbicida imazethapyr por dois anos consecutivos, deixando o solo em pousio por, no mínimo, um ano. Para o cultivo de arroz não-tolerante, preconiza-se que seja semeado a partir do décimo oitavo mês após a aplicação de imazethapyr (WILLIAMS et al., 2002).

Conclusões

A mistura de imazapic + imazapyr causou a morte de todas as espécies testadas, com exceção da ervilhaca. A mistura de imazethapyr + imazapic causou redução de massa seca em todas as espécies vegetais e morte das plantas de canola, independente da dose avaliada. As características fisiológicas foram influenciadas pela ação dos herbicidas e das doses utilizadas. Ervilhaca apresentou melhor comportamento frente aos herbicidas, porém são necessários maiores estudos para avaliar a sua capacidade de tolerar resíduos de herbicidas em solos contaminados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de auxílio financeiro a pesquisa (processo n.: 483564/2010-9) e a concessão de bolsas.

Referências

ALISTER, C.; KOGAN, M. Rainfall effect on dissipation and movement of diuron and simazine in a vineyard soil. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, p. 1059-1071, 2010.

ATKIN, O. K.; EVANS, J. R.; BALL, M. C. et al. Leaf respiration of snow gum in the light and

dark. Interactions between temperature and irradiance. **Plant Physiology**, Leipzig, v. 122, n. 3, p. 915-923, 2000.

BRODRIBB, T. J.; HILL, R. S. Increases in water potential gradient reduce xylem conductivity in whole plants. Evidence from a low-pressure conductivity method. **Plant Physiology**, Leipzig, v. 123, n. 3, p. 1021-1028, 2000.

CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; ASPIAZU, I. et al. Uso da água por plantas de arroz em competição com biótipos de *Echinochloa crusgalli* resistente e suscetível ao quinclorac. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 249-256, 2009.

DAL MAGRO, T.; AGOSTINETTO, D.; PINTO, J. J. O. et al. Efeito de deriva simulada de herbicida inibidor de ALS nos componentes da produtividade do arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 805-812, 2006.

DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; BARROSO, A. L. L. et al. Atividade residual de herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 663-671, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

GALON, L.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A. et al. Eficiência de uso da água em genótipos de cana-de-açúcar submetidos a aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 777-784, 2010a.

_____; FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A. et al. Influência de herbicidas na atividade fotossintética de genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 591-597, 2010b.

GARDNER, F. P.; PEARCE, R. B.; MITCHELL, R. L. **Physiology of crop plants**. Ames: Iowa State University Press, 1985. 328 p.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 574 p.

- PINTO, J. J. O.; NOLDIN, J. A.; MACHADO, A. et al. Milho (*Zea mays*) como espécie bioindicadora da atividade residual de (imazethapyr + imazapic). **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, p. 1005-1014, 2009.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. R. **Guia de herbicidas**. 5. ed. Londrina: Edição dos Autores, 2011. 697 p.
- SANTOS, F. M.; MARCHESAN, E.; MACHADO, S. L. O. et al. Controle químico de arroz-vermelho na cultura do arroz irrigado. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 405-412, 2007.
- SHARKEY, T. D.; RASCHKE, K. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiology**, Leipzig, v. 68, n. p.1170-1174, 1981.
- SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. et al. Biologia de plantas daninhas. In: _____.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. p. 17-55.
- SOCIEDADE SUL BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil**. Bento Gonçalves, 2010. 188 p.
- _____. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 29., 2012, Gravatal. **Anais...** Gravatal, 2012. 188 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. São Paulo: Artmed, 2009. 719 p.
- ULBRICH, A. V.; SOUZA, R. P.; SHANER, D. Persistence and carryover effect of imazapic and imazapyr in Brazilian cropping systems. **Weed Technology**, Lawrence, v. 19, n. 4, p. 986-991, 2005.
- VENCILL, W. K. **Herbicide handbook**. 8.ed. Lawrence: Weed Science Society of America, 2002. 493 p.
- VILLA, S. C. C.; MARCHEZAN, E.; MASSONI, P. F. S. et al. Controle de arroz-vermelho em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa*) tolerante/resistente a herbicidas do grupo das imidazolinonas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 549-555, 2006.
- WILLIAMS, B. J.; STRAHAN, R.; WEBSTER, E. P. Weed management systems for Clearfield Rice. **Louisiana Agriculture**, Baton Rouge, v. 45, n. 1, p. 16-17, 2002.

Tabela 1 - Massa seca da parte aérea (g/vaso) de espécies de inverno submetidas a aplicação de doses de imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr em pré-emergência. Unipampa, Câmpus Itaqui, 2011.

Espécies	Dose múltipla da recomendada (L ou kg ha ⁻¹)	Herbicidas	
		imazethapyr + imazapic	imazapic + imazapyr
Azevém	0,0	18,2 Aa ¹	18,2 Aa
	1,0	7,1 Ba	3,3 Bb
	2,0	3,2 Ca	0,0 Cb
Cornichão	0,0	2,0 Aa	2,0 Aa
	1,0	0,7 Ba	0,0 Bb
	2,0	0,5 Ba	0,0 Bb
Trevo-branco	0,0	4,0 Aa	3,8 Aa
	1,0	1,8 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,6 Ca	0,0 Bb
Festuca	0,0	6,4 Aa	6,5 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Ervilhaca	0,0	11,8 Aa	11,4 Aa
	1,0	10,4 Ba	6,7 Bb
	2,0	7,8 Ca	5,1 Cb
Canola	0,0	11,5 Aa	11,3 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Média Geral		3,63	
CV (%)		5,73	

¹ Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2 - Taxa fotossintética (µmol m⁻² s⁻¹) das espécies de inverno submetidas a aplicação de doses de imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr em pré-emergência. Unipampa, Câmpus Itaqui, 2011.

Espécies	Dose múltipla da recomendada (L ou kg ha ⁻¹)	Herbicidas	
		imazethapyr + imazapic	imazapic + imazapyr
Azevém	0,0	5 Ba ¹	4 Bb
	1,0	7 Aa	5 Ab
	2,0	4 Ba	0 Cb
Cornichão	0,0	7 Aa	5 Ab
	1,0	7 Aa	0 Bb
	2,0	6 Aa	0 Bb
Trevo-branco	0,0	8 Aa	6 Ab
	1,0	7 Ba	0 Bb
	2,0	7 Ba	0 Bb
Festuca	0,0	6 Aa	5 Ab
	1,0	0 Ba	0 Ba
	2,0	0 Ba	0 Ba
Ervilhaca	0,0	6 Aa	5 Aa
	1,0	4 Ba	4 Aa
	2,0	5 Aa	5 Aa
Canola	0,0	8 Aa	5 Ab
	1,0	0 Ba	0 Ba
	2,0	0 Ba	0 Ba
Média Geral		3,6	
CV (%)		12,71	

¹ Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 - Concentração interna de CO₂ (μmol mol⁻¹) das espécies de inverno submetidas a aplicação de doses de imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr em pré-emergência. Unipampa, Câmpus Itaqui, 2011.

Espécies	Dose múltipla da recomendada (L ou kg ha ⁻¹)	Herbicidas	
		imazethapyr + imazapic	imazapic + imazapyr
Azevém	0,0	386,3 Aa ¹	373,7 Ab
	1,0	383,3 Aa	370,0 Ab
	2,0	379,0 Ba	0,0 Bb
Cornichão	0,0	383,7 Aa	375,3 Ab
	1,0	383,3 Aa	0,0 Bb
	2,0	381,0 Aa	0,0 Bb
Trevo-branco	0,0	382,7 Aa	376,3 Ab
	1,0	380,7ABa	0,0 Bb
	2,0	378,0 Ba	0,0 Bb
Festuca	0,0	379,0 Aa	372,7 Ab
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Ervilhaca	0,0	375,0 Aa	371,3 Ab
	1,0	375,3 Aa	368,7 Ab
	2,0	374,7 Aa	367,7 Ab
Canola	0,0	378,7 Aa	376,0 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Média Geral		240,89	
CV (%)		0,88	

¹ Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4 - Quantidade de CO₂ consumido (μmol mol⁻¹), nas espécies de inverno submetidas a aplicação de doses de imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr em pré-emergência. Unipampa, Câmpus Itaqui, 2011.

Espécies	Dose múltipla da recomendada (L ou kg ha ⁻¹)	Herbicidas	
		imazethapyr + imazapic	imazapic + imazapyr
Azevém	0,0	12,7 Bb ¹	16,0 Aa
	1,0	11,0 Bb	17,0 Aa
	2,0	16,0 Aa	0,0 Bb
Cornichão	0,0	12,7 Ab	14,7 Aa
	1,0	11,7 Aa	0,0 Bb
	2,0	12,7 Aa	0,0 Bb
Trevo-branco	0,0	11,0 Ba	10,3 Aa
	1,0	11,7 ABa	0,0 Bb
	2,0	13,7 Aa	0,0 Bb
Festuca	0,0	12,7 Aa	13,7 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Ervilhaca	0,0	15,3 Aa	14,0 Ba
	1,0	14,7 Aa	16,3 Aa
	2,0	15,3 Aa	15,0 ABa
Canola	0,0	8,7 Aa	9,0 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Média Geral		8,48	
CV (%)		13,91	

¹ Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5 - Taxa de transpiração ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) das espécies de inverno submetidas a aplicação de doses de imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr em pré-emergência. Unipampa, Câmpus Itaqui, 2011.

Espécies	Dose múltipla da recomendada (L ou kg ha^{-1})	Herbicidas	
		imazethapyr + imazapic	imazapic + imazapyr
Azevém	0,0	1,05 Ba ¹	1,26 Aa
	1,0	1,59 Aa	1,15 Ab
	2,0	0,98 Ba	0,0 Bb
Cornichão	0,0	1,61 Ab	2,3 Aa
	1,0	1,75 Aa	0,0 Bb
	2,0	1,56 Aa	0,0 Bb
Trevo-branco	0,0	2,24 Ab	3,17 Aa
	1,0	2,22 Aa	0,0 Bb
	2,0	1,85 Ba	0,0 Bb
Festuca	0,0	1,76 Ab	2,19 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Ervilhaca	0,0	1,95 Ab	2,71 Aa
	1,0	1,77 Ab	2,35 Ba
	2,0	1,90 Ab	2,99 Aa
Canola	0,0	3,27 Ab	4,17 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Média Geral		1,33	
CV (%)		11,88	

¹Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6 - Condutância estomática de vapores de água ($\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$) das espécies de inverno submetidas a aplicação de doses de imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr em pré-emergência. Unipampa, Câmpus Itaqui, 2011.

Espécies	Dose múltipla da recomendada (L ou kg ha^{-1})	Herbicida	
		imazethapyr + imazapic	imazapic + imazapyr
Azevém	0,0	0,13 Ba ¹	0,08 Aa
	1,0	0,25 Aa	0,15 Ab
	2,0	0,11 Ba	0,0 Bb
Cornichão	0,0	0,22 Aa	0,2 Aa
	1,0	0,25 Aa	0,0 Bb
	2,0	0,19 Aa	0,0 Bb
Trevo-branco	0,0	0,36 Aa	0,36 Aa
	1,0	0,29 Ba	0,0 Bb
	2,0	0,21 Ca	0,0 Bb
Festuca	0,0	0,23 Aa	0,18 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Ervilhaca	0,0	0,16 Aa	0,19 ABa
	1,0	0,14 Aa	0,15 Ba
	2,0	0,15 Ab	0,25 Aa
Canola	0,0	0,58 Aa	0,54 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Média Geral		0,15	
CV (%)		25,26	

¹Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 7 - Uso eficiente da água (mol CO₂ mol H₂O⁻¹) das espécies de inverno submetidas a aplicação de doses de imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr em pré-emergência. Unipampa, Câmpus Itaqui, 2011.

Espécies	Dose múltipla da recomendada (L ou kg ha ⁻¹)	Herbicidas	
		imazethapyr + imazapic	imazapic + imazapyr
Azevém	0,0	4,8 Aa ¹	2,7 Ab
	1,0	4,1 Aa	3,5 Aa
	2,0	4,6 Aa	0,0 Bb
Cornichão	0,0	4,1 Aa	2,3 Ab
	1,0	3,9 Aa	0,0 Bb
	2,0	4,0 Aa	0,0 Bb
Trevo-branco	0,0	3,7 Aa	2,0 Ab
	1,0	3,2 Aa	0,0 Bb
	2,0	3,8 Aa	0,0 Bb
Festuca	0,0	3,4 Aa	2,1 Ab
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Ervilhaca	0,0	2,8 Aa	1,8 Ab
	1,0	2,4 Aa	1,8 Aa
	2,0	2,8 Aa	1,6 Ab
Canola	0,0	2,3 Aa	1,3 Ab
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Média Geral		1,9	
CV (%)		30,1	

¹ Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8 - Temperatura da folha ΔT (°C), das espécies de inverno submetidas a aplicação de doses de imazethapyr + imazapic e imazapic + imazapyr em pré-emergência. Unipampa, Câmpus Itaqui, 2011.

Espécies	Dose múltipla da recomendada (L ou kg ha ⁻¹)	Herbicidas	
		imazethapyr + imazapic	imazapic + imazapyr
Azevém	0,0	20,4 Bb ¹	24,6 Ba
	1,0	21,0 Bb	25,3 Aa
	2,0	21,7 Aa	0,0 Cb
Cornichão	0,0	21,3 Ab	25,5 Aa
	1,0	21,0 Aa	0,0 Bb
	2,0	21,4 Aa	0,0 Bb
Trevo-branco	0,0	21,7 Bb	25,3 Aa
	1,0	22,1 Ba	0,0 Bb
	2,0	22,7 Aa	0,0 Bb
Festuca	0,0	22,6 Ab	25,5 Aa
	1,0	0,0 Ba	0,0 Ba
	2,0	0,0 Ba	0,0 Ba
Ervilhaca	0,0	24,7 Ab	27,2 Ba
	1,0	24,8 Ab	27,6 ABa
	2,0	25,2 Ab	27,9 Aa
Canola	0,0	23,8 Ab	26,3 Aa
	1,0	0,0 Aa	0,0 Ba
	2,0	0,0 Aa	0,0 Ba
Média Geral		15,27	
CV (%)		2,08	

¹ Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.