**Valor adaptativo de acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* suscetíveis e resistentes ao herbicida imazapyr+imazapic**

**Resumo -** O uso contínuo de herbicidas com o mesmo mecanismo de ação tem provocado a seleção de acessos de plantas daninhas resistentes que podem apresentar diferenças de valor adaptativo em relação ao suscetível. O objetivo do presente estudo foi analisar o valor adaptativo dos acessos de capim-arroz (*Echinochloa crusgalli* var. *mitis*) resistentes e suscetíveis ao herbicida imazapyr+imazapic, em condições controladas e não competitivas. Para tanto, foram utilizados acessos suscetíveis (ECH1 e ECH38) e resistentes (ECH14 e ECH44) aos inibidores da ALS, coletados nos municípios de Pelotas/RS e Rio Grande/RS, respectivamente, em experimento instalado em casa de vegetação, de outubro a dezembro de 2015. Os acessos foram avaliados num período de 15 a 120 dias após a emergência quanto à estatura, área foliar, massa da matéria seca da parte aérea e massa da matéria seca da raiz. Os resultados demonstraram que o acesso suscetível de Rio Grande-RS apresentou maior número de panículas e sementes, juntamente com o resistente de Pelotas-RS, diferindo dos seus respectivos suscetível e resistente. Existe variabilidade entre acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* resistentes e suscetíveis a herbicidas inibidores da enzima ALS, indicando não haver custos de adaptabilidade entre eles decorrentes da resistência, quando cultivados na ausência do agente de seleção (herbicida).

**Palavras-chave**: capim-arroz, controle de ervas daninhas, *fitness*, resistência aos herbicidas.

**Fitness of *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* accesses susceptible and resistant to imazapyr + imazapic herbicide**

**Abstract -** The continuous use of herbicides with the same mechanism of action has caused the selection of resistant weed accesses that may present differences of fitness related to the susceptible one. The objective of the present study was to identify and compare the fitness of accesses resistant and susceptible to imazapyr + imazapic herbicide under controlled and non competitive conditions. For that, there were used barnyardgrass accesses susceptible (ECH1 and ECH38) and resistant (ECH14 and ECH44) to ALS inhibitors, collected at Pelotas/RS and Rio Grande/RS cities, respectively, in experiment installed in a greenhouse during the months from October to December 2015. The accesses were evaluated during the period of 15 to 120 days after the emergence related to plant height, foliar area, shoot dry matter mass and root dry matter mass. The results showed insignificant differences between the biotypes during the development of the plants. The susceptible ECH44 access showed higher number of panicles per plant and seeds along with the resistant ECH1. There is variability among *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* acesses resistant and susceptible to ALS inhibitors, indicating do not have fitness penalty caused by resistance when cultivated in the absence of the selection of pressure (herbicide).

**Keywords:** barnyardgrass, weed control, fitness, resistance to herbicides.

**Introdução**

No cultivo do arroz irrigado, o uso intensivo de herbicidas inibidores da enzima acetolactato sintase (ALS) têm favorecido a seleção de biótipos de plantas daninhas resistentes mundialmente; dentre eles, aqueles de capim-arroz (Heap, 2017). A descoberta de biótipos resistentes a herbicidas tem solicitado várias iniciativas de investigação destinadas a reconhecer os aspectos que envolvem a ocorrência da resistência em uma planta.

O valor adaptativo ou “*fitness”* de uma planta é definido como a capacidade da planta crescer, se desenvolver e deixar descendentes férteis (Radosevich et al., 2007). Deste modo, é importante investigar mudanças que possam ocorrer associadas com a evolução da resistência. Em especial, o conhecimento sobre a capacidade competitiva do biótipo resistente alterada ou não pela resistência, é fundamental para a compreensão da dinâmica da população resistente (Vila-Aiub et al., 2009).

Os custos associados com a resistência aos herbicidas em plantas podem ser explicados por, pelo menos, três mecanismos: (1) mutação ou mutações no local alvo, conduzindo à produção de proteínas ou redução na eficiência de enzimas alvo dos herbicidas; (2) aumento da energia necessária para a replicação de um gene adicional quando da expressão elevada do sítio de ação, e (3) efeitos pleiotrópicos causados ​​por interações negativas ecológicas (Vila-Aiub et al., 2009).

Estudos comparando o valor adaptativo entre acessos de capim-arroz resistentes e suscetíveis mostraram que a resistência aos herbicidas propanil e clomazone, não altera o crescimento e a competitividade do resistente, o que sugere que a frequência de alelos para a resistência nas populações avaliadas provavelmente permanecerá estável na ausência de seleção de herbicidas (Muthukumar et al., 2011).

Em trabalhos desenvolvidos com outras espécies que compararam o crescimento relativo e germinação de sementes de *Bidens subalternans* (picão-preto) dos biótipos sensível e resistente aos inibidores de ALS, sob diferentes condições de temperatura, não houve diferença na taxa de crescimento relativo entre os biótipos estudados, mas a taxa de germinação do biótipo resistente foi menor do que da população suscetível (Lamego et al., 2011). Entretanto, custos de adaptabilidade podem ocorrer dependendo do ponto que ocorreu a mutação no gene quando esse é o mecanismo de resistência e da espécie envolvida (Yu et al., 2010).

Deste modo, o conhecimento das características bioecológicas, bem como o comportamento da espécie daninha resistente e suscetível, torna-se necessário para estabelecer estratégias de manejo visando a prevenção da resistência.

O presente estudo tem como hipótese que acessos *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* resistentes a herbicidas inibidores da ALS não apresentam custos de adaptabilidade quando cultivados na ausência do agente de seleção (herbicida). Assim, o objetivo do estudo foi identificar e comparar o valor adaptativo dos acessos de capim-arroz resistente e suscetível ao herbicida imazapyr+imazapic, em condições controladas e não competitivas.

**Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente à Embrapa Clima Temperado, na estação experimental Terras Baixas, Capão do Leão-RS, no período de outubro a dezembro de 2015, em delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 6, onde o fator A compreendeu os acessos de capim-arroz (ECH14, ECH44 – suscetíveis; ECH1 e ECH38 – resistentes) e, o fator B foi composto de épocas de avaliação (15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após a emergência (DAE).

As sementes dos acessos em estudo foram coletadas nos meses de fevereiro a abril de 2014, em lavouras onde haviam ocorrido escapes no controle químico. Os acessos resistentes ECH1 e ECH38 são oriundos dos municípios de Pelotas – RS (latitude S 31°30’33” e longitude W 52º10’45”) e Rio Grande - RS (latitude S 32º12’57” e longitude W 52º30’09”), respectivamente. Da mesma forma, os acessos suscetíveis ECH14 (latitude S 31º29’26” e longitude W 52º10’55”) e ECH44 (latitude 32º16’54” e longitude W 52º28’20”) são originários dos mesmos municípios, respectivamente, no entanto de regiões diferentes e em áreas sem histórico de aplicação de herbicidas.

Plantas dos acessos resistentes foram aspergidas com o herbicida imazapyr+imazapic (73,5+24,5 g e.a. ha-1) e após a confirmação da resistência, as plantas foram semeadas em bandejas e posteriormente transplantadas para vasos com capacidade de 8L, sendo deixadas para produzir sementes para a próxima geração (F1), as quais foram secas em estufa com circulação de ar por um período de sete dias e posteriormente utilizadas para realizar o estudo de valor adaptativo. Durante o mesmo período, plantas dos acessos suscetíveis também foram mantidas em casa de vegetação, visando produzir sementes para uso no estudo adaptativo.

As unidades experimentais foram compostas de uma planta de capim-arroz estabelecida em vaso, com capacidade volumétrica de 4L, contendo solo do tipo Planossolo háplico distrófico. A análise do solo evidenciou: pH em água= 5,0; CTCpH7=7,2 cmolc dm-3; matéria orgânica= 1,5%; argila= 16%; textura= 4; Ca= 4,1 cmolc dm-3; Mg= 1,1 cmolc dm-3; Al= 1,8 cmolc dm-3; P= 6,5 mg dm-3 e K= 0,15 cmolc dm-3. A correção da fertilidade foi realizada conforme as recomendações para a cultura do arroz irrigado (Sosbai, 2012). As sementes de capim-arroz foram dispostas nos vasos plásticos na quantidade de 10 sementes vaso-1 e posteriormente, após a germinação, foi realizado o desbaste das mesmas, permanecendo uma planta por vaso.

As variáveis avaliadas, em cada época, foram: estatura de planta (EST) usando uma régua milimetrada, área foliar (AF) com o auxílio do medidor de área foliar (modelo LI 3100C) utilizando-se todas as folhas da planta, massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) e massa da matéria seca de raíz (MMSR). A MMSPA (folhas e caule) e a MMSR foram obtidas após secagem do material em estufa com circulação de ar e à temperatura de 60ºC, até atingir massa constante, quando foram pesadas. A matéria seca total (MMST) foi obtida através do somatório da MMSPA e da MMSR em cada época de amostragem.

Foi determinado aos 90 DAE o número de panículas (panículas planta-1) e a partir daí foram realizadas coletas regulares até 120 DAE para estimar o número de sementes (sementes planta-1), através de contagem individual por planta. Os resultados da MMSPA e AF foram utilizados para se determinar a taxa de crescimento (TC), a taxa de crescimento relativo (TCR), a razão de área foliar (RAF). A TC (mg planta-1 dia-1) expressa a velocidade média de crescimento das plantas ao longo do período de observação, sendo calculada pela fórmula:

TCn-1 = (W2-W1) / (t2-t1) + TC1,

onde: W2 e W1 são as MMSPA de duas amostragens sucessivas, t2 e t1 são os dias transcorridos entre as duas observações e TC1 é a taxa de crescimento observada na amostra anterior.

De mesma forma a taxa de crescimento relativo (mg mg dia-1) que representa o aumento da massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA) por unidade de tempo (Radford, 1967), é calculada através da formula:

TCR = (lnW2-lnW1)/(T2-T1)

onde: W2 e W1 são as MMSPA de duas amostragens sucessivas; ln = logaritmo neperiano; t2 e t1 são os dias transcorridos entre as duas observações.

A RAF, em cm2 g-1, expressa à área útil disponível para a fotossíntese, sendo calculada pela fórmula:

RAF = AF / MMSPA

Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade (teste de Shapiro Wilk) e, posteriormente, submetidos à análise de variância (p≤0,05). No caso de ser constatada significância estatística, foram realizadas análises de regressão para o fator épocas de avaliação utilizando o SigmaPlot 10.0 (Sigmaplot, 2007) e, para o fator biótipo, foi procedida a comparação entre médias utilizando-se o teste de Duncan para as variáveis número de panículas planta-1 e número de sementes planta-1.

Para todas as variáveis mensuradas, exceto para AF, os dados ajustaram-se ao modelo de regressão sigmoidal com três parâmetros conforme Schaedler et al. (2013) e Kaspary (2014):

y = a / (1 + *e*(-(x – x0)/b))

onde: *y* = variável resposta de interesse; *e* = função exponencial; *x* = dias após a emergência e; os valores de *a, b* e *x0* são os parâmetros da regressão não linear do modelo com *a* =diferença entre a assíntota máxima e mínima; *b* = declive da curva, *x0* = dias após a emergência correspondente a 50% do rendimento da variável dependente para o valor da assíntota máxima (*a*).

Para AF, os dados ajustaram-se ao modelo de regressão Peak Gaussian com três parâmetros, conforme Lopes et al. (2009):

y= a\**e*[ -0,5( x – x0/b)2]

onde: *y* = variável resposta de interesse; *e* = função exponencial; *x* = dias após a emergência e; os valores de *a, b* e *x0* são os parâmetros da regressão não linear do modelo com a= diferença entre os pontos máximo e mínimo da variável, *x0* = número de dias acumulados após o transplante e, *b* = declividade da curva.

Plantas de cada acesso foram encaminhadas ao Herbário do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Pelotas para identificação da espécie de *Echinochloa*. Após identificadas, foram escolhidos os acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* para serem analisados.

**Resultados e Discussão**

Foi verificada interação entre os fatores acessos e épocas de avaliação para todas as variáveis avaliadas: estatura (EST), massa da matéria seca da parte aérea (MMSPA), massa da matéria seca das raízes (MMSR), massa da matéria seca total (MMST), área foliar (AF), razão de área foliar (RAF), taxa de crescimento (TC) e taxa de crescimento relativo (TCR). Para todos os dados analisados das variáveis ecofisiológicas houveram ajustes significativos (Figura 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Houve o incremento de estatura dos acessos ao longo do período (Figura 1). O comportamento sigmoidal da estatura dos acessos foi similar, considerando o coeficiente exponencial das equações, sendo que o suscetível ECH14 apresentou menor estatura que os acessos resistentes a partir dos 75 DAE, enquanto o acesso suscetível ECH44 de Rio Grande, não diferiu dos demais durante as épocas de avaliação. Este resultado possivelmente decorre de diferenças entre acessos com diferentes locais de origem e/ou as características genéticas dos mesmos; a estatura de planta influencia a quantidade de luz interceptada pelas plantas e tem implicações importantes no potencial competitivo (Falster & Westoby, 2003). Em estudos de valor adaptativo e habilidade competitiva realizados com *Cyperus difformis,* plantas resistentes e suscetíveis aos herbicidas inibidores da ALS apresentaram comportamento similar e não diferiram entre si quando comparados em relação a estatura (Dal Magro et al., 2011).



**Figura 1.** Estatura (cm planta-1) de acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* (capim-arroz) resistentes (ECH1-Pelotas/RS e ECH38-Rio Grande/RS) e suscetíveis (ECH14-Pelotas/RS e ECH44-Rio Grande/RS) ao herbicida imazapyr+imazapic, avaliada dos 15 aos 90 dias após a emergência (DAE). Os pontos representam os valores médios das repetições entre acessos e as barras, os respectivos intervalos de confiança da média.

Para a variável AF (Figura 2), as avaliações iniciais aos 15 e 30 DAE não demonstram diferenças entre os acessos; porém, aos 45 DAE quando ocorreu o pico do incremento máximo da variável, o acesso resistente de Pelotas (ECH1) e suscetível de Rio Grande (ECH44) destacaram-se perante os demais, mesmo não diferindo entre si. A sobreposição do intervalo de confiança entre os acessos de Pelotas (ECH14 suscetível) e de Rio Grande (ECH38 resistente), demonstra que as diferenças observadas ocorrem devido à fisiologia de cada biótipo, independente da resistência ocasionada pelo uso intensivo de herbicidas inibidores de ALS. Plantas que apresentam maior índice de área foliar concentrada na parte superior do dossel poderão apresentam vantagens para competição por luz, uma vez que a área foliar é um indicador de grande importância, sendo utilizada para investigar adaptação ecológica, competição com outras espécies e efeitos do manejo (Fleck et al., 2007).



**Figura 2.** Área foliar (cm2 planta-1) de acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* (capim-arroz) resistentes (ECH1-Pelotas/RS e ECH38-Rio Grande/RS) e suscetíveis (ECH14-Pelotas/RS e ECH44-Rio Grande/RS) ao herbicida imazapyr+imazapic, avaliada dos 15 aos 90 dias após a emergência (DAE). Os pontos representam os valores médios das repetições entre acessos e as barras, os respectivos intervalos de confiança da média.

Comparando-se os acessos em relação à MMSPA (Figura 3) observou-se que houve um aumento exponencial conforme o avanço das épocas de avaliação, no qual pode-se verificar que o acúmulo máximo deu-se aos 60 DAE e manteve-se até os 90 DAE. O acúmulo de massa da matéria seca em um menor tempo possível demonstra maior habilidade da planta quando em competição (Radosevich et al., 2007). Dessa forma, a habilidade de uma espécie em acumular fitomassa é uma das características que determina sua competitividade (Carvalho et al., 2005).

Observa-se que aos 60 DAE, o acesso suscetível ECH44 de Rio Grande produziu, em média, 25,8 g planta-1 de MMSPA, ou seja, 31% superior ao acesso suscetível ECH14 de Pelotas, enquanto que os acessos resistentes apresentaram valores intermediários. Também, na mesma época, o suscetível ECH44 foi superior ao resistente ECH38 do mesmo local (Rio Grande) e essa diferença manteve-se até a última avaliação aos 90 DAE. Para os acessos de Pelotas, o resistente (ECH1) foi superior ao suscetível (ECH14).

Estudos realizados com *Echinochloa crusgalli* demonstram que não há diferenças significativas no acúmulo de massa da matéria seca para acessos resistentes e suscetíveis a herbicidas inibidores de ALS, bem como inibidores do FSII e Carotenóides, mesmo quando comparados quanto à habilidade competitiva (Muthukumar et al., 2011).



**Figura 3.** Massa da matéria seca da parte aérea (g planta-1) de acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* (capim-arroz) resistentes (ECH1-Pelotas/RS e ECH38-Rio Grande/RS) e suscetíveis (ECH14-Pelotas/RS e ECH44-Rio Grande/RS) ao herbicida imazapyr+imazapic, avaliada dos 15 aos 90 dias após a emergência (DAE).Os pontos representam os valores médios das repetições entre acessos e as barras, os respectivos intervalos de confiança da média.

Aos 45 DAE, o acesso ECH1 (resistente) de Pelotas apresentou isoladamente a maior MMSR, enquanto que o suscetível ECH14 apresentou a menor (Figura 4); contudo, aos 60 DAE, o cenário se inverteu e os valores dos acessos ficaram muito próximos. No entanto não pode-se afirmar que existe diferenças significativas entre os acessos estudados, uma vez que há sobreposição dos intervalos de confiança. Resultados semelhantes foram observados em estudos realizados com plantas de *Sagittaria montevidensis* resistentes e suscetíveis ao herbicida pyrazosulfuron-ethyl, em que não houve diferenças na produção de massa da matéria seca do sistema radicular entre os biótipos estudados (Moura, 2014). Cabe ressaltar que o aumento do sistema radicular está diretamente relacionado ao acúmulo de massa da matéria seca da parte aérea nas plantas, devido à maior demanda na atividade fotossintética e fixação de carbono (Aguiar et al., 2011). No entanto, estudos relacionados à resistência de plantas daninhas aos herbicidas inibidores da ACCase e ALS, em geral, não tem apresentado diferenças entre o crescimento dos diferentes biótipos (Christoffoleti, 2001). Isto pode ocorrer devido ao mecanismo de resistência de plantas daninhas aos inibidores da ALS que geralmente está relacionado á mutação e desta forma não causam desvantagem o crescimento da planta resistente na ausência de pressão de seleção (Sathasivan et al., 1990).



**Figura 4.** Massa da matéria seca da raíz (g planta-1) de acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* (capim-arroz) resistentes (ECH1-Pelotas/RS e ECH38-Rio Grande/RS) e suscetíveis (ECH14-Pelotas/RS e ECH44-Rio Grande/RS) ao herbicida imazapyr+imazapic, avaliada dos 15 aos 90 dias após a emergência (DAE). Os pontos representam os valores médios das repetições entre acessos e as barras, os respectivos intervalos de confiança da média.

Os resultados obtidos para a variável massa da matéria seca total (MMST) (Figura 5), demonstraram que não há evidências de crescimento diferencial em que possa ressaltar alguma diferença no valor adaptativo dos acessos. No entanto, aos 60 DAE, pode-se afirmar que o comportamento da curva se mantém igual à MMSPA, onde o acesso suscetível ECH44 se destaca perante os demais e, inclusive, ao seu resistente (ECH38). Resultados similares foram encontrados por Lamego et al., (2011) quando comparados biótipos de *Bidens subalternans* suscetíveis e resistentes a herbicidas inibidores de ALS, bem como em estudos com biótipos de *Amaranthus retroflexus* resistentes a herbicidas inibidores da ALS que não encontraram diferenças de MMST quando comparado com o biótipo suscetível (Sibony & Rubin, 2003).

Os estudos de valor adaptativo foram investigados por diversos autores, com a maioria deles concentrando-se no comportamento das plantas resistentes e suscetíveis e o seu efeito no acúmulo e distribuição de nutrientes através de variáveis respostas como MMST. A produção e partição de matéria seca pelas culturas e plantas daninhas variam com as espécies envolvidas (Zanine & Santos, 2004). Entretanto, essas diferenças não têm sido observadas em estudos com plantas resistentes aos inibidores da ALS.



**Figura 5.** Massa da matéria seca total (g planta-1) de acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* (capim-arroz) resistentes (ECH1-Pelotas/RS e ECH38-Rio Grande/RS) e suscetíveis (ECH14-Pelotas/RS e ECH44-Rio Grande/RS) ao herbicida imazapyr+imazapic, avaliada dos 15 aos 90 dias após a emergência (DAE). Os pontos representam os valores médios das repetições entre acessos e as barras, os respectivos intervalos de confiança da média.

Em relação aos resultados de razão de área foliar (RAF) (Figura 6), houve diferença entre os acessos apenas nos 15 DAE, quando os acessos de Pelotas resistente e suscetível, respectivamente, ECH1 e ECH14, mantiveram os mesmos valores e da mesma forma para aqueles de Rio Grande, ECH38 e ECH44. Isto, possivelmente tenha ocorrido devido à origem dos acessos que por sua vez possuem similaridade genética e fisiológica muito grande, os quais apresentam inicialmente, o desenvolvimento similar. No entanto, com o decorrer das avaliações, devido à sobreposição dos intervalos de confiança, observa-se que não há diferenças entre os mesmos, possivelmente devido à interferência que ocorre de folhas localizadas na parte superior do dossel sobre as inferiores ao longo do desenvolvimento das plantas de capim-arroz, além da formação de estruturas reprodutivas que representam drenos e consequentemente menor partição de fotoassimilados para as folhas em relação a flores, frutos e sementes, a partir dos 45 DAE.

O acelerado crescimento no período inicial das plantas é devido a maior quantidade de fotoassimilados serem destinados a produção e formação de novas folhas para uma maior captação da radiação solar (Urchei et al., 2000). De certo modo, a variável apresentou declínio ao longo das avaliações, sendo as variações observadas possivelmente devidas à distribuição diferencial de fotoassimilados para as folhas e outros componentes da planta e diferenças na densidade foliar. Contudo, quanto mais elevada for a RAF, maior será a capacidade de interceptação da energia luminosa por parte da planta e em sombrear as demais, mostrando maior desenvolvimento e potencial competitivo (Ferreira et al., 2008).



**Figura 6.** Razão de área foliar (cm2 g-1) de acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* (capim-arroz) resistentes (ECH1-Pelotas/RS e ECH38-Rio Grande/RS) e suscetíveis (ECH14-Pelotas/RS e ECH44-Rio Grande/RS) ao herbicida imazapyr+imazapic, avaliada dos 15 aos 90 dias após a emergência (DAE). Os pontos representam os valores médios das repetições entre acessos e as barras, os respectivos intervalos de confiança da média.

Ao analisar os resultados da TC (Figura 7) pode-se determinar que a maior ocorreu entre os 30 e 60 DAE e, posteriormente, as curvas permaneceram estáveis. Houveram diferenças entre os acessos testados, onde de maneira geral, o acesso suscetível de Rio Grande apresentou TC superior a 10% em relação ao resistente, a partir dos 60 DAE; já, para os acessos de Pelotas, ECH1 resistente foi superior a ECH14, suscetível. No entanto diferenças como estas foram encontradas somente para esta variável, mas observadas também em plantas de *Fimbristylis miliacea* que apresentaram um crescimento do biótipo resistente de 13 a 15% superior ao crescimento do biótipo suscetível (Schaedler et al., 2013).

Segundo Benicasa (2003), o uso de análises de crescimento ainda é o meio mais simples, rápido e preciso para inferir a contribuição de diferentes processos fisiológicos para o crescimento vegetal. A TC representa a projeção do acúmulo da massa seca em termos da diferença de matéria existente, em função do tempo (Carvalho et al., 2005). Neste trabalho, a TC foi superior a 1 e não ultrapassou 2 g planta-1dia-1 para todos os acessos, demonstrando que as plantas de capim-arroz resistentes e suscetíveis apresentaram rápido desenvolvimento inicial (Figura 7) e por isso são muito competitivas em relação a outras espécies resistentes a inibidores de ALS como *Cyperus difformis* (Dal Magro et al., 2011).



**Figura 7.** Taxa de crescimento (gplanta-1 dia-1) de acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* (capim-arroz) resistentes (ECH1-Pelotas/RS e ECH38-Rio Grande/RS) e suscetíveis (ECH14-Pelotas/RS e ECH44-Rio Grande/RS) ao herbicida imazapyr+imazapic, avaliada dos 15 aos 90 dias após a emergência (DAE). Os pontos representam os valores médios das repetições entre acessos e as barras, os respectivos intervalos de confiança da média.

Na avaliação da taxa de crescimento relativo (Figura 8), verificou-se um comportamento similar entre os acessos, variando ao longo do ciclo e decrescendo até a fase final de desenvolvimento, devido ao menor acúmulo de MMSPA e diminuição da área foliar útil para a fotossíntese, uma vez que os decréscimos nos valores de TCR no final do ciclo das plantas, podem estar relacionados a diminuição na taxa de assimilação líquida. Em estudos envolvendo outros herbicidas inibidores da ALS, a ausência de penalidade de aptidão no desenvolvimento é em parte causada pela falta de interferência do gene responsável pela resistência com o processo da Fotossíntese (Massinga et al., 2005). Sabe-se que plantas daninhas que apresentam elevada TCR podem levar vantagem ecológica em relação aos demais, pois ocupam o espaço para seu crescimento de forma mais rápida (Radosevich et al., 2007).

Estudos sobre a TCR é importante para avaliação do crescimento vegetal dependente da quantidade de material acumulado gradativamente e expressa o incremento na massa de matéria seca, por unidade de peso inicial, em um intervalo de tempo (Carvalho et al., 2005). De forma geral, o máximo crescimento das plantas possivelmente esteja relacionado ao início do processo reprodutivo que neste caso o máximo crescimento é refletido na curva de acúmulo de matéria seca total como o ponto de inflexão (*b*), sendo 90 DAE para todos os acessos (Figura 8).



**Figura 8.** Taxa de crescimento relativo (mg mg dia-1) de acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* (capim-arroz) resistentes (ECH1-Pelotas/RS e ECH38-Rio Grande/RS) e suscetíveis (ECH14-Pelotas/RS e ECH44-Rio Grande/RS) ao herbicida imazapyr+imazapic, avaliada dos 15 aos 90 dias após a emergência (DAE). Os pontos representam os valores médios das repetições entre acessos e as barras, os respectivos intervalos de confiança da média.

**Tabela 1.** Número de panículas por planta (NPP) e número de sementes por planta (NSP) de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* (capim-arroz) resistentes (ECH1-Pelotas/RS e ECH38-Rio Grande/RS) e suscetíveis (ECH14-Pelotas/RS e ECH44-Rio Grande/RS) ao herbicida imazapyr+imazapic

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Acesso | Número de panículas planta-1 | Número de sementes planta-1 |
| Pelotas/RS | | |
| ECH1 (Resistente) | 9 B | 4.099 A |
| ECH14 (Suscetível) | 8 B | 2.552 C |
| Rio Grande/RS | | |
| ECH38 (Resistente) | 8 B | 3.707 B |
| ECH44 (Suscetível) | 12 A | 4.213 A |
| C.V. (%) | 11,3 | 12,65 |

\*Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo Teste de Duncan (p≤0,05).

Para a análise das variáveis relacionadas ao estádio reprodutivo, pode-se observar que não há uma relação estreita entre o número de panículas e o número de sementes por planta (Tabela 1). Este fato possivelmente esteja ligado à grande variabilidade que ocorre entre os acessos e a ausência de custos adaptativos observada na maioria dos casos de espécies daninhas resistentes aos herbicidas inibidores da ALS, sendo um dos principais fatores que contribui para a rápida evolução e dispersão da resistência de plantas daninhas em todo o mundo (Li et al., 2013).

O acesso suscetível ECH44 de Rio Grande apresentou o maior número de panículas por planta juntamente com o resistente ECH1 de Pelotas; ambos, também apresentaram o maior número de sementes planta-1 (4.213 e 4.099, respectivamente), sendo superiores aos seus pares em cada município, resistente e suscetível, respectivamente. Dados similares foram encontrados para plantas do mesmo gênero como *Echinochloa crusgalli* e *Echinochloa phyllopogon* (Boddy et al., 2012), as quais apresentam resistência múltipla a herbicidas inibidores da ALS e ACCase; não foi constatada diferença para produção de sementes entre plantas sensíveis e resistentes.

A produção de sementes é um dos fatores determinantes no entendimento de como a resistência impacta os processos do ciclo de vida de plantas daninhas resistentes e suscetíveis (Vila-Aiub et al., 2009) e de que maneira podemos utilizar esse conhecimento para diminuir a disseminação de espécies resistentes a herbicidas. Sabe-se que a frequência alélica ao longo dos anos para biótipos com resistência a ALS é altamente dependente das condições ambientais, locais, misturas entre as espécies, e a taxa e quantidade de fluxo gênico de plantas localizadas em lavouras e populações consideradas selvagens (Massinga et al., 2005).

O conhecimento dos custos de adaptabilidade para uma planta é importante, visando estabelecer estratégias de manejo que venham a prevenir a reprodução e disseminação de espécies resistentes a herbicidas. Os acessos avaliados neste estudo demonstraram padrões opostos de resposta; de maneira geral, enquanto o acesso suscetível de Rio Grande (ECH44) mostrou superioridade aos demais acessos e, inclusive ao resistente (ECH38), em Pelotas, o acesso resistente ECH1 se destacou na maioria das variáveis avaliadas quando comparado ao suscetível ECH14, do mesmo município. Além das variáveis morfofisiológicas avaliadas, a produção de sementes por planta confirmou este padrão de resposta, sendo que ECH44 e ECH1 produziram as maiores quantidades de sementes planta-1. Deste modo, em Rio Grande, o acesso suscetível parece mais adaptado enquanto que em Pelotas, o resistente destaca-se frente ao suscetível na ausência do agente de seleção. Neste contexto, é possível concluir que as diferenças ocorram unicamente pela variabilidade genética inerente dos acessos, não havendo relação com a resistência aos inibidores da ALS.

Do ponto de vista prático, uma menor adaptabilidade pelo acesso resistente, em condições de campo, favorece a disseminação do suscetível que por ser mais competitivo, ocupa o nicho ecológico. Contudo, os resultados observados no presente trabalho não diferem da maioria dos trabalhos já apresentados na literatura onde a resistência aos herbicidas inibidores da ALS não tem resultado em menor valor adaptativo pelas plantas resistentes, quando cultivadas na ausência do agente de seleção, sugerindo que a frequência de alelos resistentes nestas populações provavelmente permanecerão estáveis ​​na ausência do agente de seleção.

**Conclusões**

Existe variabilidade entre acessos de *Echinochloa crusgalli* var. *mitis* resistentes e suscetíveis a herbicidas inibidores da enzima ALS, não havendo custos de adaptabilidade entre eles decorrentes da resistência, quando cultivados na ausência do agente de seleção (herbicida).

**Agradecimentos**

À Prof. Raquel Ludtke do Departamento de Botânica da Universidade...pelo auxílio na identificação dos acessos, confirmados como *Echinochloa crusgalli* var. mitis.

**Referências**

### Aguiar, F.A.; Kanashiro, S.; Tavares, A.; Rodrigues, T. 2011. Crescimento de mudas

### de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de

### sombreamento. *Revista Ceres* 58: 193-205.

Benincasa, M.M .P. 2003. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Funep, Jaboticabal, Brasil. 41p.

Boddy, L.G**.;** Streibig, C.J.; Yamasue, Y.;Fischer, A.J. 2012. Biomass, Fecundity, and Interference Ability of Multiple Herbicide-Resistant and -Susceptible Late Watergrass (*Echinochloa phyllopogon*). *Weed Science* 60: 401-410.

Carvalho, S.J.P.; Moreira, M.S.; Nicolai, M.; Ovejero, R.F.L.; Christoffoleti, P.J.; Medeiros, D. 2005. Crescimento e desenvolvimento da planta daninha capim-camalote. *Bragantia* 64: 591-600.

Christoffoleti, P.J. 2001. Análise comparativa do crescimento de picão-preto (*Bidens pilosa*) resistente e suscetível aos herbicidas inibidores da ALS. *Planta Daninha* 19: 75-83.

Dal Magro, T.; Haedler, C.E.; Fontana, L.C.; Agostinetto, D.; Vargas, L. 2011. Habilidade competitiva entre biótipos de *Cyperus difformis* L. resistente ou suscetível a herbicidas inibidores de ALS e destes com arroz irrigado. *Bragantia* 70: 294-301.

Falster, D.S.; Westoby, M. 2003. Leaf size and angle vary widely across species: What consequences for light interception? *New Phytologist* 158: 509–525.

Ferreira, E.A.; Concenço, G.; Silva, A.A.; Reis, M.R.; Vargas, L.; Viana, R.G.; Guimarães, A.A.; Galon, L. 2008. Potencial competitivo de biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*). *Planta daninha* 26: 261-269.

Fleck, N.G.; Lamego, F.P.; Schaedler, C.E.; Ferreira, F.B. 2007. Resposta de cultivares de soja à competição com cultivar simuladora da infestação de plantas concorrentes. *Scientia Agraria* 8: 213-218.

HEAP: International Survey of Herbicide resistant Weeds. 2017. [http://www.weedscience.org](http://www.weedscience.org/)/< Acesso em: 20 de fevereiro de 2017>

Kaspary, T. E. 2014. *Caracterização biológica e fisiológica de buva (Conyza bonariensis L.) resistente ao herbicida glyphosate*. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Agricultura e ambiente) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, Brasil.

Lamego, F.P.; Vidal, R.A.; Burgos, N.R. 2011. Competitiveness of ALS inhibitor resistant and susceptible biotypes of greater beggarticks (*Bidens subalternans*). *Planta Daninha* 29: 457-464.

Li, M.; Yu, Q.; Han, H.; Vila-aiub, M.; Powles, S.B. 2013. ALS herbicide resistance mutations in *Raphanus raphanistrum*: evaluation of pleiotropic effects on vegetative growth and ALS activity. *Pest Management Science* 69: 689-695.

Lopes, J.P.; Machado, E.C.; Deuber, R.; Machado, R.S. 2009. Análise de crescimento e trocas gasosas na cultura de milho em plantio direto e convencional. *Bragantia* 68: 839-848.

Massinga, R.A.; Kassim, A.K.; Paul, S. A.; Jerry, F. M. 2005. Relative fitness of imazamox-resistant common sunflower and prairie sunflower. *Weed Science* 53: 166-174.

Moura, D. 2014. *Resistência a herbicidas e alternativas de manejo de biótipos de Sagittaria montevidensis em arroz irrigado*. 93p. Dissertação (Mestrado em Herbologia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil.

Muthukumar, V.B.; Jason K.; Prashant, J.; Kenneth.; S. 2011. Does Resistance to Propanil or Clomazone Alter the Growth and Competitive Abilities of Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* )? *Weed Science* 59: 353-358.

Radford, P.J. 1967. Growth analysis formulae – their use and abuse. *Crop Science* 7: 171-175.

Radosevich, S.R.; Holt, J.; Ghersa, C. 2007. *Ecology of weeds and invasive plants: Relationship to agriculture and natural resource management*. JohnWiley & Sons, EUA. 454p.

Reunião técnica da cultura do arroz irrigado. 2012. *Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.* Eduardo Rodrigues Hickel – Epagri/Estação Experimental de Itajaí, Itajaí, Brasil. 179p.

Sathasivan, L.G.; Haughn, G.W.; Murai, N. 1990. Nucleotide sequence of a mutant acetolactate synthase gene from an imidazolinone-resistant *Arabidopsis thaliana* var. Columbia. *Nucleic Acids Research*18: p. 2188.

Schaedler, C.E.; Noldin, J.A.; Agostinetto, D.; Dal magro, T.; Fontana, L.C. 2013. Germination and growth of *Fimbristylis miliacea* biotypes resistant and susceptible to acetolactate synthase-inhibiting herbicides. *Planta Daninha* 31: 687-694.

Sibony, M., Rubin, B. 2003. The ecological fitness of ALS-resistant *Amaranthus retroflexus* and multiple-resistant *Amaranthus blitoides*. *Weed Research* 43: 40-47.

Sigmaplot – *Scientific Graphing Software.*Version 10.0, 2007.

Urchei, M.A.; Rodrigues, J.D.; Stone, L. F. 2000. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35: 497-506.

Vila- Aiub, M.M.; Neve, P.; Powles, S.B. 2009. Fitness costs associated with evolved herbicide resistance alleles in plants. *New Phytologist* 184: 751-767.

Yu, Q.; Han, H.; Vila-aiub, M.M. 2010. AHAS herbicide resistance endowing mutations: effect on AHAS functionality and plant growth**.** *Journal of Experimental Botany* 61: 3925-3934.

Zanine, A.M.; Santos, E.D. 2004. Competição entre espécies de plantas - uma revisão. *Fisiologia Vegetal* 11: 103-122.