

Competitividade relativa de cultivares de soja com capim-arroz

Relative competitiveness of soybean cultivars with barnyardgrass

Marlon Ouriques Bastiani^{1*}, Fabiane Pinto Lamego², Dirceu Agostinetto¹, Ana Claudia Langaro¹, Diônvera Coelho da Silva¹

1. Universidade Federal de Pelotas - Departamento de Fitossanidade - Pelotas (RS), Brasil.

2. Embrapa Pecuária Sul - Bagé (RS), Brasil.

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar a competitividade relativa de cultivares de soja com o capim-arroz, com base em características morfofisiológicas das espécies. Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 repetições. No primeiro estudo, tanto para soja quanto para capim-arroz, determinou-se a população de plantas em que a matéria seca da parte aérea tornou-se constante e independente da população (16 plantas-vaso⁻¹ ou 400 plantas-m⁻²). No segundo estudo, foram conduzidos 2 experimentos para avaliar a competitividade dos cultivares de soja BMX Apolo RR e BMX Potência RR com plantas de capim-arroz, ambos conduzidos em série de substituição, sob diferentes proporções de plantas-vaso⁻¹ (100:0; 75:25; 50:50; 25:75 e 0:100) entre a cultura e a planta daninha. A análise da competitividade foi efetuada por meio de diagramas aplicados a experimentos substitutivos e uso de índices de competitividade relativa. Aos 44 dias após a emergência das espécies, efetuou-se a aferição dos parâmetros fisiológicos e morfológicos da cultura e planta daninha. Os cultivares de soja BMX Apolo RR e BMX Potência RR apresentam similaridade quanto à competição com o capim-arroz, de modo que a habilidade de uma espécie em interferir sobre a outra é equivalente. Para a estatura de plantas, o capim-arroz apresenta superioridade competitiva em relação ao cultivar de soja BMX Apolo RR, de ciclo superprecoce e porte baixo. A competição intraespecífica é mais importante para o capim-arroz do que a competição interespecífica com os cultivares de soja, resultando em efeitos negativos sobre características morfofisiológicas da espécie.

Palavras-chave: *Echinochloa crus-galli*, terras baixas, série de substituição, competição.

ABSTRACT: The aim of this work was to evaluate the competitiveness between soybean cultivars and barnyardgrass, based on morphological and physiological characteristics of species. The experiments were conducted in completely randomized experimental design, with 4 replications. In the first study, for both soybean and barnyardgrass, it was determined the population of plants in which shoot dry matter became constant and independent of the population (16 plants-pot⁻¹ or 400 plants-m⁻²). In the second study, 2 experiments were conducted to evaluate the competitiveness of BMX Apolo RR and BMX Potência RR soybean cultivars with barnyardgrass plants, both carried out in replacement series under different proportions of plants-pot⁻¹ (100:0; 75:25; 50:50; 25:75 and 0:100) between the crop and the weed. The analysis of the species competitiveness was determined through diagrams applied to replacement series experiments and use of relative competitiveness indexes. At 44 days after the emergence of species, the physiological and morphological parameters of the crop and the weed were evaluated. The BMX Apolo RR and BMX Potência RR soybean cultivars show similar competitiveness when competing with the barnyardgrass; therefore, the ability of one species to interfere on another is equivalent. For plant height, barnyardgrass displays higher competitiveness compared to BMX Apolo RR, with early cycle and short height. The intraspecific competition is more important to barnyardgrass than interspecific competition with soybean cultivars, resulting in negative effects on the morphological and physiological characteristics of species.

Keys words: *Echinochloa crus-galli*, lowlands, replacement series, competition.

*Autor correspondente: marlon.bastiani@gmail.com

Recebido: 2 Set. 2015 – Aceito: 26 Jan. 2016

INTRODUÇÃO

O capim-arroz (*Echinochloa crus-galli* L.) caracteriza-se por ser planta daninha altamente competitiva, principalmente devido ao ciclo fotossintético C_4 , rápido crescimento inicial aliado à elevada demanda por nitrogênio, e por estar presente normalmente em altos níveis de infestação em áreas de terras baixas (Kissmann 2007). Com a expansão da soja para essas áreas, integrando os sistemas de rotação de culturas principalmente com o arroz irrigado, infestações de capim-arroz passam a ser importantes na soja, interferindo na produtividade de grãos quando não manejadas adequadamente.

Há competição entre plantas quando um (ou mais) dos recursos essenciais ao crescimento/desenvolvimento encontra-se em quantidade limitada para atender às exigências dos indivíduos presentes no meio. No entanto, essa competição pode ocorrer entre indivíduos da mesma espécie (intraespecífica) ou entre indivíduos de diferentes espécies (interespecífica) (Rigoli et al. 2008). No ambiente, as plantas disputam basicamente água, luz, nutrientes e, em menor proporção, O_2 e CO_2 (Radosevich et al. 2007).

Existem vários métodos para investigar as relações competitivas entre plantas, dentre eles, destacam-se os experimentos em séries substitutivas, que têm sido amplamente utilizados para estudos de diversas culturas/plantas daninhas (Aminpanah e Javadi 2011; Bianchi et al. 2006; Galon et al. 2014; Rigoli et al. 2008; Wandscheer e Rizzardi 2013). Esse método permite a compreensão do processo competitivo entre plantas, principalmente quando relacionado com o efeito da população e da proporção entre cultura e plantas daninhas (Aminpanah e Javadi 2011).

No modelo experimental de série de substituição, primeiramente proposto por Radosevich (1987), a densidade total de plantas é mantida constante, enquanto que as proporções da mistura das duas espécies são variáveis. Essa situação é diferente da encontrada em condições de campo, onde a densidade de plantas da cultura é constante, enquanto que a densidade de plantas daninhas é variável. Todavia, o modelo experimental mostra-se importante no sentido de avaliar os efeitos da concorrência de 2 espécies em uma única densidade total e determinar os efeitos relativos da interferência dentro e entre as espécies, a fim de indicar qual delas é mais competitiva.

Estudos em séries substitutivas têm verificado que normalmente as culturas apresentam maior habilidade competitiva quando comparadas com plantas daninhas

(Agostinetto et al. 2013; Galon et al. 2014; Moraes et al. 2009). Esse comportamento é explicado porque o efeito negativo das plantas daninhas não se restringe apenas à maior habilidade competitiva individual, mas ocorre principalmente devido ao nível de infestação na área (Vilà et al. 2004).

Pesquisas têm observado, por meio de estudos em séries de substituição, que a cultura da soja pode apresentar superioridade competitiva em relação às plantas daninhas, tanto para Poáceas quanto para folhas largas (Bianchi et al. 2006; Dias et al. 2010; Moraes et al. 2009; Wandscheer e Rizzardi 2013). Entretanto, para o capim-arroz, resultados encontrados relatam que essa planta daninha normalmente possui superioridade competitiva em relação a cultivares de arroz irrigado (Agostinetto et al. 2008; Aminpanah et al. 2012; Gealy et al. 2005), sendo essa resposta atribuída à grande similaridade morfofisiológica entre as espécies. Desse modo, ambas acabam explorando basicamente o mesmo nicho ecológico, competindo pelos mesmos recursos no tempo e/ou no espaço (Agostinetto et al. 2008).

A hipótese deste estudo é de que o capim-arroz apresenta maior potencial competitivo que a soja, ocorrendo em proporções semelhantes e sob níveis adequados de recursos, principalmente devido à sua maior eficiência do ciclo fotossintético e ao rápido crescimento inicial. Desse modo, o objetivo do trabalho foi avaliar a competitividade relativa de cultivares de soja com o capim-arroz, com base em características morfofisiológicas das espécies.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em 2 estudos (Estudo 1 e 2), sendo o Estudo 2 dividido em 2 experimentos separados. Ambos foram conduzidos em condições de casa de vegetação, sendo o Estudo 1 conduzido durante o período de Outubro a Dezembro de 2013 e o Estudo 2, realizado no período de Dezembro de 2013 a Fevereiro de 2014. As unidades experimentais foram constituídas por vasos plásticos com capacidade de 8 L e diâmetro nominal de 23 cm, preenchidos com solo classificado como Planossolo Hidromórfico Eutrófico solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas, com textura franco-arenosa.

O Estudo 1 constou do monocultivo de soja e capim-arroz, objetivando determinar a população de plantas por m^2 , no qual a matéria seca da parte aérea (MSPA) por unidade de área ($g \cdot m^{-2}$) torna-se constante e independente da população,

→

com base na “lei da produção final constante” (Radosevich et al. 2007). A hipótese proposta por esses autores é de que a população por vaso onde a MSPA torna-se constante é suficiente para captar todos os recursos necessários para o crescimento das plantas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, contendo 4 repetições. Nesse experimento prévio, semearam-se a soja (cv. BMX Potência RR) e o capim-arroz em monocultivos, sendo estabelecidas as seguintes populações de plantas: 1; 2; 4; 8; 16; 32; 64 e 128 plantas-vaso⁻¹ (equivalente a 25; 50; 100; 200; 400; 800; 1.600 e 3.200 plantas·m⁻²), para ambas as espécies. As sementes para compor o biótipo de capim-arroz (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv. var. *crusgalli*) foram previamente coletadas a campo (lat 31°48'25,4" e long 52°28'53,4"), logo após o início da dispersão natural das mesmas, em Maio de 2013. Em seguida, foram limpas manualmente e armazenadas em embalagens de papel sob condições de temperatura ambiente até o início dos experimentos.

Aos 44 dias após a emergência (DAE), efetuou-se a colheita da parte aérea das plantas, o acondicionamento em sacos de papel e a secagem em estufa com circulação de ar forçado, na média a 65 °C. Quando as amostras atingiram peso constante, foi realizada a pesagem da MSPA.

Para a análise dos dados, utilizou-se a produção recíproca para determinar a população de plantas onde a MSPA se tornava constante (Radosevich et al. 2007). A produção de MSPA tornou-se constante a partir da população de 16 plantas-vaso⁻¹ (dados não apresentados), sendo equivalente a 400 plantas·m⁻².

O Estudo 2 foi conduzido pelo modelo de série de substituição, de acordo com o descrito por Radosevich (1987), sendo o número de plantas estabelecido por vaso (16 plantas-vaso⁻¹) determinado no Estudo 1. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, contendo 4 repetições. As proporções em cada série, entre plantas da soja cv. BMX Potência RR e capim-arroz (Experimento 1) e entre soja cv. BMX Apolo RR e capim-arroz (Experimento 2), constituíram-se de 100:0 (monocultivo de soja), 75:25; 50:50; 25:75 e 0:100 (monocultivo de capim-arroz).

As variáveis avaliadas aos 44 DAE foram: estatura de planta (EP), área foliar (AF), matéria seca da parte aérea (MSPA) e parâmetros fotossintéticos. A estatura de plantas foi determinada com o auxílio de uma régua milimétrica, mensurando a altura do solo até o ápice do último trifólio expandido para soja e pela altura do solo até a extremidade da última folha para o capim-arroz; a determinação da AF (cm²·planta⁻¹) realizou-se com o auxílio de medidor de

área foliar LI 3100C (LICOR, Lincoln, USA); e a MSPA (g·planta⁻¹) foi quantificada conforme descrito anteriormente.

Para a determinação dos parâmetros fotossintéticos, foram realizadas avaliações no último trifólio expandido para as plantas de soja e no terço médio da primeira folha completamente expandida para o capim-arroz, utilizando-se um analisador de gases infravermelho (IRGA), marca LI-COR, modelo LI – 6400 (LI-COR, Lincoln, NE, USA). A fim de permitir a livre circulação do ar durante as medições, foi mantida aberta a casa de vegetação no momento da avaliação. Com esse equipamento, determinou-se a condutância estomática de vapores de água (Gs: mol·m⁻¹·s⁻¹), taxa transpiratória (E: mol H₂O·m⁻²·s⁻¹), concentração interna de CO₂ (Ci: μmol·mol⁻¹) e taxa fotossintética (A: μmol·m⁻²·s⁻¹). A eficiência da carboxilação (EC: mol CO₂·m⁻²·s⁻¹) e a eficiência do uso da água (EUA: mol CO₂·mol H₂O⁻¹) foram calculadas a partir da razão das variáveis A/Ci e A/E, respectivamente.

Para as variáveis estatura, área foliar e MSPA dos cultivares de soja e da planta daninha, utilizou-se o método da análise gráfica da produtividade relativa (Radosevich 1987). Esse modelo consiste na construção de um diagrama com base na produtividade relativa (PR) e na produtividade relativa total (PRT) nas proporções de plantas 0; 25; 50; 75 e 100%.

Os valores de PR foram obtidos de acordo com a seguinte equação: PR = média da mistura/média da monocultura, onde as médias representam o valor médio por planta de cada espécie em cada unidade experimental. Os dados de PRT foram representados pela soma das produtividades relativas da cultura e dos competidores nas respectivas proporções de plantas. Quando a PR resulta em uma linha reta, significa que não houve efeito de uma espécie sobre a outra ou que a habilidade da espécie em interferir sobre a outra é equivalente. Se a PR resulta em uma linha côncava, significa que houve prejuízo no crescimento de uma ou de ambas as espécies; no entanto, a ocorrência de linha convexa, significa o benefício no crescimento de uma ou de ambas as espécies. Para a PRT, quando ocorre valor igual a 1 (linha reta), significa que ocorreu competição pelo(s) mesmo(s) recurso(s); contudo, se o valor for superior a 1 (linha convexa), não ocorre competição, pelo fato de o suprimento de recursos superar a demanda ou pelo fato de as espécies possuírem diferentes demandas pelo(s) recurso(s) do meio; quando inferior a 1 (linha côncava), significa a ocorrência de antagonismo, havendo prejuízo mútuo ao crescimento de ambas as espécies (Radosevich 1987).

Na proporção de 50% de plantas da cultura e do respectivo competidor, foram calculados os índices de competitividade

relativa (CR), coeficientes de agrupamento relativo (K) e de competitividade (C). A CR representa o crescimento comparativo da espécie X em relação à Y; K indica a dominância relativa de uma espécie sobre a outra; e C aponta qual espécie será mais agressiva (Cousens 1991). A interpretação conjunta desses valores (CR, K e C) indica com maior segurança a competitividade das espécies envolvidas. Nesse sentido, a espécie X é mais competitiva que Y quando $CR > 1$; $K_x > K_y$ e $C > 0$; por outro lado, a espécie Y será mais competitiva que X quando $CR < 1$; $K_x < K_y$ e $C < 0$ (Hoffman e Buhler 2002). O cálculo desses índices foi obtido utilizando-se as seguintes equações: $CR = PR_x/PR_y$; $K_x = PR_x/(1 - PR_x)$; $K_y = PR_y/(1 - PR_y)$; $C = PR_x - PR_y$, de acordo com Cousens e O'Neill (1993).

Para analisar estatisticamente a produtividade relativa, primeiro foram calculadas as diferenças para os valores de PR obtidos nas proporções de 25, 50 e 75% de plantas em relação aos valores pertencentes às retas hipotéticas obtidas nas respectivas proporções (Bianchi et al. 2006). O teste *t*, em nível de 5% de probabilidade, foi utilizado para testar as diferenças nos índices estudados em relação à reta hipotética (Hoffman e Buhler 2002; Roush et al. 1989). As hipóteses de nulidade utilizadas para testar as diferenças de PR e C foram constituídas partindo-se do princípio de que, se fossem iguais a zero ($H_0 = 0$), para PRT e CR, as médias seriam iguais a 1 ($H_0 = 1$), e de que, para o índice K, as médias das diferenças entre K_x e K_y seriam iguais a zero: $H_0 = (K_x - K_y) = 0$.

Os resultados obtidos para características morfológicas (EP, AF, MSPA) e fotossintéticas (A, Gs, Ci, E, T e EUA) das plantas de soja e capim-arroz foram expressos em valores médios por planta. Primeiramente, os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p \geq 0,05$), não sendo necessária a transformação dos dados. Posteriormente, realizou-se a análise de variância pelo teste *F* ($p \leq 0,05$) e, havendo diferença significativa entre os tratamentos, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$), considerando-se as monoculturas como testemunhas nessas comparações. Para os parâmetros fotossintéticos, aplicou-se também o teste de Duncan ($p \leq 0,05$) para analisar as diferenças entre as proporções de plantas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise gráfica das combinações de plantas para ambos os cultivares de soja (BMX Apolo RR e BMX Potência RR) com o competidor capim-arroz, em geral, demonstrara que

os valores de PR esperados foram próximos aos observados, revelando que os 2 cultivares responderam similarmente quanto à competição com a planta daninha (Figura 1; Tabela 1). Para haver significância, pelo menos 2 proporções de plantas devem diferir significativamente (Bianchi et al. 2006). Sendo assim, com base na PR, apenas para estatura do cultivar de soja BMX Apolo RR houve diferença em pelo menos 2 proporções de plantas (75:25 e 50:50), representada por uma linha côncava da cultura (Figura 1a; Tabela 1). Para esse caso, demonstrou-se que o capim-arroz utilizou o recurso do meio de forma mais eficiente que a cultura, sem alterar a sua PR, enquanto que BMX Apolo RR apresentou redução da PR à medida que a sua população de plantas aumentou.

Obteve-se comportamento similar à PR também nos desvios observados nas retas da PRT em relação às retas esperadas, pois apresentam valores muito próximos à unidade (1), não tendo diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$), à exceção da PRT, para variável estatura, do cultivar BMX Potência RR, que, nas proporções de 50:50 e 25:75, apresentou PRT menor que 1 por meio de uma linha côncava (Figura 1d; Tabela 1). Para essa última condição, segundo Harper (1977), ocorreu antagonismo entre espécies, pois a redução da produção total decorreu da menor contribuição de ambas as espécies, ou seja, a competição entre as 2 ocorreu pelos mesmos recursos do ambiente.

A partir da análise gráfica da PR e PRT, onde as retas observadas e esperadas apresentaram-se muito próximas da unidade (1), na maioria das vezes, sem diferenças (Figura 1; Tabela 1), é possível considerar que, de modo geral, os efeitos de uma espécie sobre a outra na competição pelos recursos do ambiente foram pouco evidentes, sendo que, provavelmente, a habilidade de uma em interferir sobre a outra foi equivalente (Radosevich 1987).

Resultados similares aos deste estudo foram encontrados para a competição entre milho e *Chloris distichophylla*, onde os valores observados não diferiram dos valores hipotéticos, inferindo-se que, quando sob interferência da planta daninha, o milho mantém sua produtividade equivalente à condição de monocultivo (Wandscheer e Rizzardi 2013). Da mesma forma, observou-se que a habilidade competitiva entre *Commelina benghalensis* e soja foi equivalente e não tem efeito sobre a produtividade total das espécies (Dias et al. 2010).

Vale ressaltar que, para todas as variáveis testadas, em ambos os cultivares, na proporção de plantas de 75:25 (soja/competidor), os valores de PR dos cultivares foram sempre abaixo das retas hipotéticas, e a PR do competidor, em geral,

→

apresentou valores acima do esperado (Figura 1). Por outro lado, nem sempre esses valores foram acompanhados por

diferenças estatísticas ($p \leq 0,05$) (Tabela 1). Todavia, essa tendência observada é resultante da maior competição

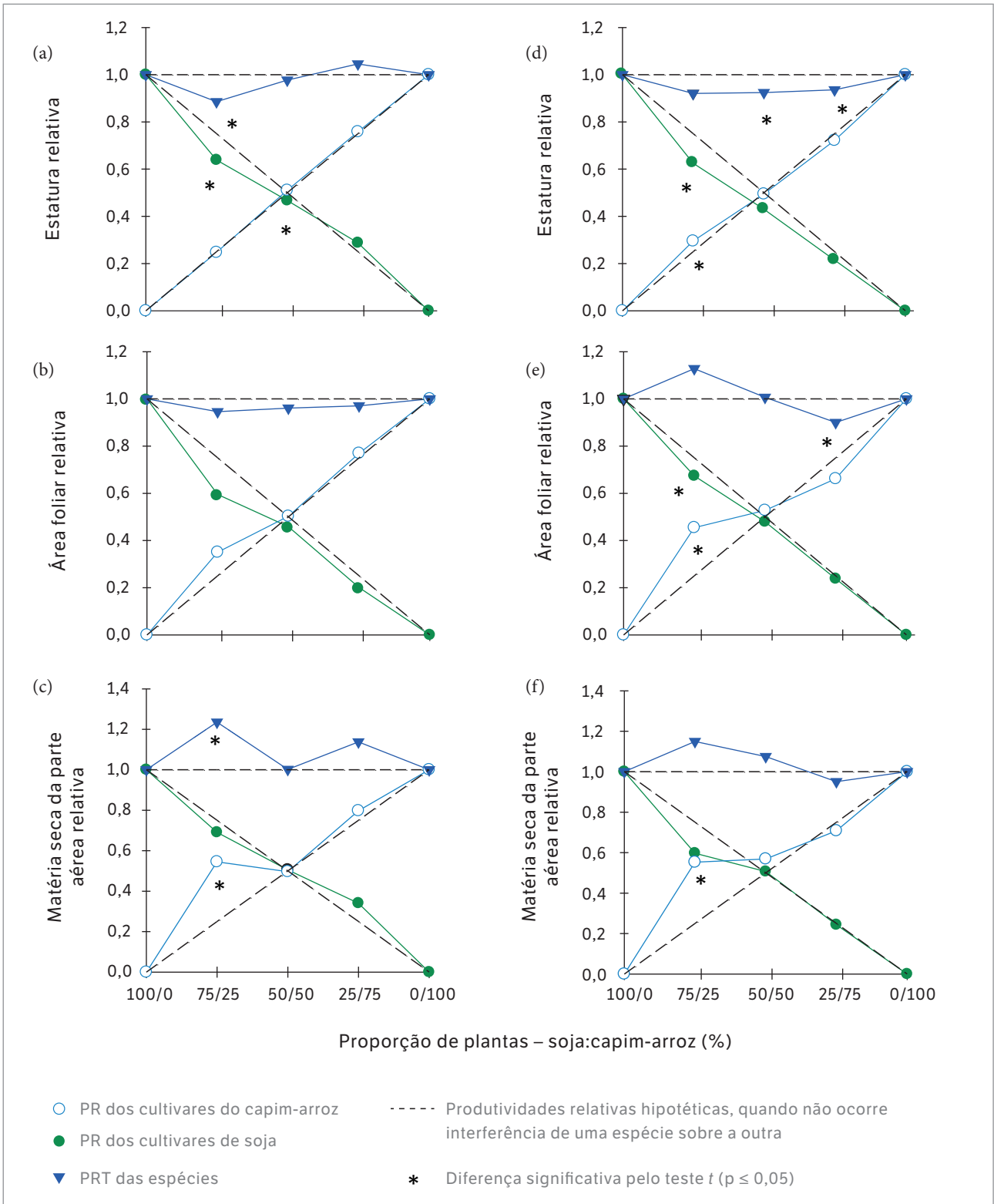


Figura 1. Diagrama da produção relativa da estatura de planta, área foliar e da matéria seca da parte aérea dos cultivares de soja BMX Apolo RR (a; b; c) e BMX Potência RR (d; e; f) e capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*) em função da variação da proporção entre as 2 espécies.

Tabela 1. Diferenças de produtividade relativa e de produtividade relativa total das variáveis estatura de planta, área foliar e matéria seca da parte aérea de cultivares de soja (BMX Apolo RR ou BMX Potência RR) e do competidor capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*) aos 44 dias após a emergência.

Variável	Proporção de plantas (soja:capim-arroz)		
	75:25	50:50	25:75
Estatura			
DPR BMX Apolo RR	-0,11 (± 0,02)*	-0,03 (± 0,01)*	0,04 (± 0,02) ^{ns}
DPR capim-arroz	0,00 (± 0,01) ^{ns}	0,01 (± 0,01) ^{ns}	0,01 (± 0,01) ^{ns}
PRT	0,89 (± 0,01)*	0,98 (± 0,02) ^{ns}	1,05 (± 0,03) ^{ns}
DPR BMX Potência RR	-0,12 (± 0,03)*	-0,07 (± 0,03) ^{ns}	-0,04 (± 0,02) ^{ns}
DPR capim-arroz	0,05 (± 0,00)*	-0,01 (± 0,02) ^{ns}	-0,03 (± 0,03) ^{ns}
PRT	0,92 (± 0,03) ^{ns}	0,92 (± 0,02)*	0,94 (± 0,01)*
Área foliar			
DPR BMX Apolo RR	-0,15 (± 0,09) ^{ns}	-0,04 (± 0,02) ^{ns}	-0,05 (± 0,04) ^{ns}
DPR capim-arroz	0,10 (± 0,06) ^{ns}	0,00 (± 0,04) ^{ns}	0,02 (± 0,02) ^{ns}
PRT	0,95 (± 0,06) ^{ns}	0,96 (± 0,04) ^{ns}	0,97 (± 0,05) ^{ns}
DPR BMX Potência RR	-0,08 (± 0,01)*	-0,02 (± 0,08) ^{ns}	-0,01 (± 0,04) ^{ns}
DPR capim-arroz	0,20 (± 0,05)*	0,03 (± 0,05) ^{ns}	-0,09 (± 0,04) ^{ns}
PRT	1,13 (± 0,06) ^{ns}	1,01 (± 0,05) ^{ns}	0,90 (± 0,01)*
Matéria seca da parte aérea			
DPR BMX Apolo RR	-0,06 (± 0,08) ^{ns}	0,01 (± 0,04) ^{ns}	0,09 (± 0,06) ^{ns}
DPR capim-arroz	0,29 (± 0,06)*	0,00 (± 0,05) ^{ns}	0,05 (± 0,09) ^{ns}
PRT	1,24 (± 0,07)*	1,00 (± 0,08) ^{ns}	1,14 (± 0,05) ^{ns}
DPR BMX Potência RR	-0,15 (± 0,08) ^{ns}	0,01 (± 0,10) ^{ns}	-0,01 (± 0,07) ^{ns}
DPR capim-arroz	0,30 (± 0,06)*	0,07 (± 0,06) ^{ns}	-0,04 (± 0,07) ^{ns}
PRT	1,15 (± 0,14) ^{ns}	1,07 (± 0,07) ^{ns}	0,95 (± 0,06) ^{ns}

*Diferença significativa pelo teste *t* a $p \leq 0,05$; Valores entre parênteses representam o erro padrão da média. DPR = Diferenças de produtividade relativa; PRT = Produtividade relativa total.

intraespecífica, tanto para soja quanto para o capim-arroz. A soja apresenta menor produtividade relativa em sua maior proporção de plantas e não é afetada pelo aumento da população do competidor, enquanto que a produtividade do competidor é maior do que o esperado quando crescendo na sua menor proporção de plantas.

A verificação do crescimento relativo da soja e do capim-arroz através das variáveis morfológicas (EP, AF e MSPA) demonstrou que os cultivares de soja, em todas as proporções de plantas, não diferiram ($p \leq 0,05$) da testemunha (Monocultivo: 100:0) (Tabela 2).

Na associação com o cultivar BMX Apolo RR, em sua menor proporção, o capim-arroz apresentou maior produção de MSPA; por outro lado, quando competindo com BMX Potência RR, nessa mesma proporção, o competidor apresentou incremento nos valores para EP, AF e MSPA (Tabela 2). Cabe ressaltar

novamente que esse comportamento observado é resultante da maior competição intraespecífica, principalmente para o capim-arroz. Nesse sentido, vários estudos têm observado por meio de experimentos em séries substitutivas que, em alguns casos, a competição intraespecífica mostra-se mais importante do que a interespecífica; isso porque plantas de uma mesma espécie exploram basicamente o mesmo nicho ecológico, competindo pelos mesmos recursos no tempo e/ou no espaço (Dias et al. 2010; Moraes et al. 2009; Rigoli et al. 2008).

A partir da análise dos parâmetros fisiológicos, é possível verificar que o maior crescimento relativo da planta daninha, na sua menor proporção de plantas (25%), apresentado anteriormente pelas variáveis morfológicas (Figura 1; Tabela 1, 2), é devido, em parte, ao aumento na atividade fotossintética e variáveis relacionadas (Tabela 3). Nesse sentido, observou-se maior taxa fotossintética (A) do capim-arroz quando houve

→

Tabela 2. Respostas de cultivares de soja (BMX Apolo RR ou BMX Potência RR) à interferência do competidor capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*), expressas em estatura de planta, área foliar e matéria seca da parte aérea das plantas, em experimentos conduzidos em séries substitutivas aos 44 dias após emergência.

Proporção de plantas (soja:competidor)	Proporção de plantas (soja:capim-arroz)		
	Estatura (cm)	Área foliar (cm ² -planta ⁻¹)	MSPA (g-planta ⁻¹)
	BMX Apolo RR		
100:0 (T)	56,68	569,28	3,91
75:25	48,27	451,75	3,60
50:50	52,93	521,91	3,95
25:75	65,19	457,57	5,33
CV (%)	10,1	23,6	27,0
	Capim-arroz		
0:100 (T)	79,68	354,73	3,47
25:75	80,54	364,02	3,69
50:50	81,35	356,53	3,44
75:25	78,75	497,28	7,55*
CV (%)	5,5	22,8	21,4
	BMX Potência RR		
100:0 (T)	75,06	583,17	4,32
75:25	62,59	524,08	3,44
50:50	64,52	559,20	4,38
25:75	64,38	555,80	4,21
CV (%)	10,2	23,4	28,9
	Capim-arroz		
0:100 (T)	79,68	359,40	3,47
25:75	76,67	317,22	3,27
50:50	78,85	379,16	3,94
75:25	94,13*	653,00*	7,66*
CV (%)	6,0	18,9	22,4

*Média difere da testemunha (T) pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

predomínio de plantas de soja, independentemente do cultivar testado (Tabela 3). Nessa mesma proporção, verificou-se que os efeitos foram mais pronunciados quando o competidor estava competindo com cultivar BMX Potência RR, pois, além do aumento da taxa fotossintética, ocorreram também maiores valores para condutância estomática (Gs), taxa transpiratória (E) e eficiência de carboxilação (EC), sendo que essa proporção de plantas (75:25), além de diferir da testemunha, também apresentou valores superiores às demais (50:50 e 25:75); por outro lado, ambos os cultivares de soja não apresentaram diferenças quanto às variáveis fisiológicas em relação à presença do competidor (Tabela 3).

Os resultados obtidos indicam que existe ligação entre variáveis morfológicas e fisiológicas que permitem entender melhor o

comportamento das espécies estudadas (Tabela 2,3). Dessa forma, em proporções com menor competição intraespecífica (75:25) pelo capim-arroz, a maior abertura dos poros estomáticos representada pela Gs possibilitou que a planta incorporasse mais CO₂ atmosférico para o interior das células e, conseqüentemente, perdesse mais água para a atmosfera, resultando em incremento na taxa transpiratória (E). Provavelmente, essas moléculas de CO₂ incorporadas para o interior das células do mesófilo não ficaram armazenadas por muito tempo, pelo fato de a concentração interna de CO₂ (Ci) não se alterar, independentemente das proporções de plantas testadas. Assim, propõe-se que o CO₂ foi rapidamente carboxilado e transformado em glicose, confirmado aqui pelo incremento nos valores da atividade fotossintética (A) e da eficiência da carboxilação (EC).

Tabela 3. Respostas de cultivares de soja (BMX Apolo RR ou BMX Potência RR) à interferência do competidor capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*), expressas em taxa fotossintética, condutância estomática de vapores de água, concentração interna de CO₂, taxa transpiratória, eficiência na carboxilação e eficiência no uso da água das plantas, em experimentos conduzidos em séries substitutivas aos 44 dias após emergência.

Proporção de plantas (soja:competidor)	Variáveis fisiológicas					
	A	Gs	Ci	E	EC	EUA
BMX Apolo RR						
100:0 (T)	21,03	0,47	263,8	5,95	0,07	3,85
75:25	24,50 ^{ns}	0,98 ^{ns}	298,5 ^{ns}	7,54 ^{ns}	0,08 ^{ns}	3,32 ^{ns}
50:50	25,65	0,70	272,3	6,74	0,09	3,94
25:75	27,81	1,19	299,8	8,05	0,09	3,47
CV (%)	19,4	65,1	9,1	28,9	13,4	12,6
Capim-arroz						
0:100 (T)	25,75	0,27	198,3	4,87	0,13 ^{ns}	5,34
25:75	27,95 ^{ns}	0,29 ^{ns}	196,9 ^{ns}	5,17 ^{ns}	0,14 ^{ns}	5,44 ^{ns}
50:50	30,48	0,33	198,1	5,51	0,16	5,59
75:25	*32,80	0,33	189,4	5,57	0,17	5,85
CV (%)	12,1	24,8	10,9	10,2	12,4	7,7
BMX Potência RR						
100:0 (T)	22,13	0,85	303,8	7,03	0,07	3,28
75:25	19,35 ^{ns}	0,45 ^{ns}	276,0 ^{ns}	5,66 ^{ns}	0,07 ^{ns}	3,58 ^{ns}
50:50	22,26	0,56	275,1	6,02	0,08	3,95
25:75	22,57	0,59	288,5	6,54	0,07	3,48
CV (%)	16,8	60,6	6,9	23,8	12,9	14,6
Capim-arroz						
0:100 (T)	25,75	0,27	198,25	4,87	0,13	5,34
25:75	26,75 b	0,25 b	181,65 ^{ns}	4,91 b	0,15 b	5,53 ^{ns}
50:50	27,65 b	0,30 b	201,50	5,24 b	0,14 b	5,28
75:25	*37,17 a	*0,38 a	184,63	*6,54 a	*0,20 a	5,77
CV (%)	8,8	21,2	11,9	12,4	10,2	10,4

*Difere significativamente da testemunha (T) pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$); Médias seguidas por letras distintas, em proporções com mistura de plantas, diferem entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$); ^{ns}As proporções com mistura de plantas não diferem entre si pelo teste de Duncan ($p \leq 0,05$). A = Taxa fotossintética ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); Gs = Condutância estomática de vapores de água ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$); Ci = Concentração interna de CO₂ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$); E = Taxa transpiratória ($\text{mol}\cdot\text{H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); EC = Eficiência na carboxilação ($\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); EUA = Eficiência no uso da água ($\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{mol}\cdot\text{H}_2\text{O}^{-1}$).

O aumento da taxa transpiratória pelas plantas de capim-arroz não foi suficiente para resultar em menor EUA. A maior perda de água pode decorrer da necessidade da planta de incorporar o CO₂ através da atividade fotossintética e eficiência de carboxilação apresentada pelas plantas (Concenço et al. 2009). Esses mesmos autores encontraram resultados semelhantes aos deste estudo, onde plantas de arroz irrigado sob condição de menor intensidade de competição, além do maior acúmulo em matéria seca, também apresentaram maiores valores de condutância estomática e taxa transpiratória; em contrapartida, a EUA se manteve inalterada nas diferentes intensidades de competição.

De modo geral, observou-se que o capim-arroz, ao competir com BMX Apolo RR, apresentou maior crescimento relativo que o cultivar apenas para a variável estatura de planta, conforme indicado pelo índice CR (Tabela 4). No entanto, houve dominância do competidor para essa variável, sobre ambos os cultivares de soja, conforme indicado pelo índice K. Constatou-se também, para estatura de planta, que o capim-arroz foi mais competidor que o cultivar BMX Apolo RR — resposta apontada pelo índice C (Tabela 4). Parte-se do pressuposto de que uma espécie Y é mais competitiva que X quando $\text{CR} < 1$; $K_x < K_y$ e

Tabela 4. Índices de competitividade entre cultivares de soja (BMX Apolo RR ou BMX Potência RR) e o competidor capim-arroz (*Echinochloa crus-galli*), expressos por competitividade relativa, coeficientes de agrupamento relativo e de competitividade, obtidos em experimentos conduzidos em séries substitutivas.

Variáveis	CR	K _x	K _y	C
BMX Apolo RR × Capim-arroz	0,92 (± 0,02)*	0,88 (± 0,02)*	1,05 (± 0,05)	-0,04 (± 0,01)*
BMX Potência RR × Capim-arroz	0,88 (± 0,08)	0,76 (± 0,08)*	0,99 (± 0,06)	-0,06 (± 0,04)
Área foliar				
BMX Apolo RR × Capim-arroz	0,94 (± 0,10)	0,85 (± 0,05)	1,06 (± 0,18)	-0,04 (± 0,05)
BMX Potência RR × Capim-arroz	0,98 (± 0,24)	1,06 (± 0,30)	1,20 (± 0,24)	-0,05 (± 0,12)
Matéria seca da parte aérea				
BMX Apolo RR × Capim-arroz	1,04 (± 0,10)	1,06 (± 0,14)	1,04 (± 0,19)	0,01 (± 0,04)
BMX Potência RR × Capim-arroz	0,97 (± 0,27)	1,31 (± 0,47)	1,51 (± 0,43)	-0,06 (± 0,15)

*Diferença significativa pelo teste t a $p \leq 0,05$; Valores entre parênteses representam o erro-padrão da média. K_x e K_y = Coeficientes de agrupamento relativo da soja e do capim-arroz, respectivamente; CR = Competitividade relativa; K = Coeficiente de agrupamento relativo; C = Coeficiente de competitividade.

$C < 0$ (Hoffman e Buhler 2002). Verificou-se também que, para comprovar a superioridade competitiva, é necessária a ocorrência de diferenças em pelo menos 2 índices (Bianchi et al. 2006). Diante desses critérios, apenas em relação à estatura de planta, observou-se que o capim-arroz foi mais competitivo que BMX Apolo RR.

A estatura de plantas é uma característica importante para o crescimento e desenvolvimento das espécies no ambiente, pois está diretamente relacionada com a eficiência na captação de luz (Fleck et al. 2008). Desse modo, é possível que o período de condução do experimento (44 DAE) tenha sido relativamente curto para mostrar diferenças em outras variáveis, como a expansão da AF e a MSPA. No entanto, Saccol e Estefanel (1995) observaram que a duração do período de competição do capim-arroz, a partir do qual a altura e a área foliar da soja são significativamente reduzidas, fica em torno de 20 e 22 dias, respectivamente.

Através dos índices de competitividade, observou-se maior valor para o capim-arroz em relação a BMX Apolo RR no que se refere à estatura de planta, provavelmente devido ao porte baixo do cultivar, facilitando o crescimento e resultando em maior acúmulo de MSPA pelo competidor. Por outro lado, as características de BMX Potência RR contribuíram para maior crescimento relativo do capim-arroz, expresso principalmente pelo aumento da atividade fotossintética e eficiência na fixação do carbono, os quais contribuíram diretamente para o incremento em estatura, área foliar e acúmulo de matéria seca do competidor. O cultivar BMX Potência RR possui ciclo médio de desenvolvimento (6.7) e, conseqüentemente, a velocidade de emergência e a taxa de crescimento são menores em comparação com cultivares

de ciclo superprecoce como BMX Apolo RR (5.8); essas características facilitam o crescimento das plantas daninhas, principalmente o capim-arroz, que possui elevada taxa de crescimento em estádios iniciais de desenvolvimento (Kissmann 2007).

Estudo diagnosticou que plantas de soja portadoras de estatura elevada e ciclo tardio possuem maior habilidade competitiva do que cultivares de ciclo precoce e detentoras de porte baixo (Lamego et al. 2004). Vale ressaltar que, na condução de trabalhos a campo, os fatores bióticos e abióticos podem interferir na expressão da habilidade competitiva de maneira diferenciada em cada cultivar; dessa forma, características como ciclo de desenvolvimento e estatura de plantas podem não apresentar tanto efeito sobre a habilidade competitiva em experimentos conduzidos em condições controladas, como em casa de vegetação (Agostinetto et al. 2008), conforme observado neste estudo.

Com base nas variáveis morfofisiológicas, destaca-se que a competição intraespecífica para o capim-arroz foi mais prejudicial do que a interespecífica. Isso pode ser explicado principalmente pela elevada demanda de nitrogênio pelo capim-arroz (Kissmann 2007); assim, no monocultivo da planta daninha, ocorre maior competição intraespecífica por esse recurso, porém sem descartar a competição por outros recursos do meio. Em contrapartida, o maior crescimento da planta daninha, tanto em estatura quanto em produção de área foliar, as torna mais eficientes na captura por luz e, conseqüentemente, em estágios mais avançados de crescimento, pode sombrear a cultura e diminuir o seu crescimento (Place et al. 2011). A partir deste estudo, ainda não é possível considerar que o capim-arroz é mais

competitivo que a cultura da soja, pois o principal efeito negativo do competidor sobre os cultivares foi a redução da estatura de plantas, especialmente para BMX Apolo RR, enquanto que os demais parâmetros morfofisiológicos se mantiveram praticamente inalterados.

CONCLUSÃO

Os cultivares BMX Apollo RR e BMX Potência RR apresentam equivalência na competitividade relativa com o capim-arroz, o qual apresenta superioridade competitiva em relação ao cultivar de soja BMX Apolo RR com base na estatura de plantas. A competição intraespecífica é

mais importante para o capim-arroz, resultando em efeitos negativos sobre características morfofisiológicas da espécie.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo financiamento das bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

- Agostinetto, D., Fontana, L. C., Vargas, L., Markus, C. e Oliveira, E. (2013). Habilidade competitiva relativa de milho em convivência com arroz irrigado e soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48, 1315-1322. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000002>.
- Agostinetto, D., Galon, L., Moraes, P. V. D., Rigoli, R. P., Tironi, S. P. e Panozzo, L. E. (2008). Competitividade relativa entre cultivares de arroz irrigado e biótipo de capim-arroz (*Echinochloa* spp.). *Planta Daninha*, 26, 757-766. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582008000400007>.
- Aminpanah, H. e Javadi, M. (2011). Competitive ability of two rice cultivars (*Oryza sativa* L.) with barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli* (L.) p. Beauv.) in a replacement series study. *Advances in Environmental Biology*, 5, 2669-2675.
- Aminpanah, H., Sharifi, P. e Firouzi, S. (2012). Interference interactions of two species of *Echinochloa* genus with rice. *Chilean journal of agricultural research*, 72, 364-370. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392012000300010>.
- Bianchi, M. A., Fleck, N. G. e Lamego, F. P. (2006). Proporção entre plantas de soja e plantas competidoras e as relações de interferência mútua. *Ciência Rural*, 36, 1380-1387. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000500006>.
- Concenço, G., Sant'anna, S. J., Schwanke, A. M. L., Galon, L., Ferreira, E. A., Aspiazú, I., Silva, A. F. e Ferreira, F. A. (2009). Uso da água por plantas híbridas ou convencionais de arroz Irrigado. *Planta Daninha*, 27, 447-453. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582009000300004>.
- Cousens, R. (1991). Aspects of the design and interpretation of competition (interference) experiments. *Weed Technology*, 5, 664-673.
- Cousens, R. e O'Neill, M. (1993). Density dependence of replacement series experiments. *Oikos*, 66, 347-352. <http://dx.doi.org/10.2307/3544824>.
- Dias, A. C. R., Carvalho, S. J. P., Marcolini, L. W., Melo, M. S. C. e Christoffoleti, P. J. (2010). Competitiveness of alexandergrass or Bengal dayflower with soybean. *Planta Daninha*, 28, 515-522. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582010000300008>.
- Fleck, N. G., Agostinetto, D., Galon, L. e Schaedler, C. E. (2008). Competitividade relativa entre cultivares de arroz irrigado e biótipo de arroz-vermelho. *Planta Daninha*, 26, 101-111. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582008000100011>.
- Galon, L., Guimarães, S., Lima, A. M., Radunz, A. L., Beutler, A. N., Burg, G. M., Zandoná, R. R., Perin, G. F., Bastiani, M. O., Belarmino, J. G. e Radunz, L. L. (2014). Interação competitiva de genótipos de arroz e papua. *Planta Daninha*, 32, 533-542. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582014000300009>.
- Gealy, D. R., Estorninos JR, L. E., Gbur, E. E. e Chavez, R. S. C. (2005). Interference interactions of two rice cultivars and their F3 cross with barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in a replacement series study. *Weed Science*, 53, 323-330. <http://dx.doi.org/10.1614/WS-04-036R>.
- Harper, J. L. (1977). *The population biology of plants*. London: Academic Press.

- Hoffman, M. L. e Buhler, D. D. (2002). Utilizing Sorghum as functional model of crop-weed competition. I. Establishing a competitive hierarchy. *Weed Science*, 50, 466-472. [http://dx.doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0466:USAAFJ\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0466:USAAFJ]2.0.CO;2).
- Kissmann, K. G. (2007). Plantas infestantes e nocivas. Tomo I. 3. ed. São Paulo: Basf Brasileira S. A. CD-ROM.
- Lamego, F. P., Fleck, N. G., Bianchi, M. A. e Schaedler, C. E. (2004). Tolerância à interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por genótipos de soja – II respostas de variáveis de produtividade. *Planta Daninha*, 22, 491-498. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582004000400002>.
- Moraes, P. V. D., Agostinetto, D., Galon, L. e Rigoli, R. P. (2009). Competitividade relativa de soja com arroz-vermelho. *Planta Daninha*, 27, 35-40. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582009000100006>.
- Place, G. T., Reberg-Horton, S. C., Dickey, D. A. e Carter JR, T. E. (2011). Identifying soybean traits of interest for weed competition. *Crop Science*, 51, 2642-2654. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2010.11.0654>.
- Radosevich, S. R. (1987). Methods to study interactions among crops and weeds. *Weed Technology*, 1, 190-198.
- Radosevich, S. R., Holt, J. e Ghersa, C. (2007). Ecology of weeds and invasive plants: relationship to agriculture and natural resource management. (3 ed.) New Jersey: Wiley-Interscience.
- Rigoli, R. P., Agostinetto, D., Schaedler, C. E., Dal Magro, T. e Tironi, S. (2008). Habilidade competitiva relativa do trigo (*Triticum aestivum*) em convivência com azevém (*Lolium multiflorum*) ou nabo (*Raphanus raphanistrum*). *Planta Daninha*, 26, 93-100. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582008000100010>.
- Roush, M. L., Radosevich, S. R., Wagner, R. G., Maxwell, B. D. e Petersen, T. D. (1989). A comparison of methods for measuring effects of density and proportion in plant competition experiments. *Weed Science*, 37, 268-275.
- Saccol, A. V. e Estefanel, V. (1995). Competição entre o capim-arroz e a soja cultivada em solo hidromórfico. II. Efeito sobre algumas características agronômicas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30, 327-338.
- Vilà, M., Williamson, M. e Lonsdale, M. (2004). Competition experiments on alien weeds with crops: lessons for measuring plant invasion impact? *Biological Invasions*, 6, 59-69. <http://dx.doi.org/10.1023/B:BINV.0000010122.77024.8a>.
- Wandscheer, A. C. D. e Rizzardi, M. A. (2013). Interference of soybean and corn with *Chloris distichophylla*. *Ciência e Agrotecnologia*, 37, 306-312. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000400003>.