

Crescimento de *Bidens pilosa* e feijoeiro submetidos a diferentes concentrações de CO₂ e arranjos competitivos

Growth of *Bidens pilosa* and bean submitted to different concentrations of CO₂ and competitive arrangements

Crecimiento de *Bidens pilosa* y frijol común sometidos a diferentes concentraciones de CO₂ y acuerdos competitivos

Recebido: 31/05/2021 | Revisado: 06/06/2021 | Aceito: 09/06/2021 | Publicado: 23/06/2021

Fabiola Mendes Braga

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1138-2481>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: fabiolambraga@gmail.com

Evander Alves Ferreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4701-6862>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: evanderaves@gmail.com

Maria Stéfany Silveira Freitas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3247-5188>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: mssf.freitas@gmail.com

Cássia Michelle Cabral

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4730-4509>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: mtchells@gmail.com

José Barbosa dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5746-7248>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: jbarbosasantos@yahoo.com.br

Ignácio Aspiazu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0042-3324>
Universidade Estadual de Montes Claros, Brasil
E-mail: ignacio.aspiazu@unimontes.br

Luiz Arnaldo Fernandes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9877-1924>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: luizmcmg@gmail.com

Regynaldo Arruda Sampaio

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3214-6111>
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil
E-mail: regynaldo@terra.com.br

Resumo

Objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito do incremento do nível de CO₂ do ambiente no crescimento de plantas de picão-preto e feijoeiro em condição de competição. Para isso foi conduzido um experimento em DIC com quatro repetições. O efeito do picão-preto foi avaliado em esquema fatorial 3 x 4, sendo três concentrações de CO₂ nas câmaras de crescimento (420; 840 e 1.680 μmol⁻¹), e quatro arranjos: picão-preto cultivado isoladamente, picão-preto + *Braquiária decumbens*, picão-preto + milho e picão-preto + feijoeiro. Para as plantas de feijão o esquema fatorial foi de 3 x 3, sendo os três níveis de CO₂ em câmara de crescimento citados e os diferentes arranjos: feijoeiro cultivado isoladamente, feijoeiro + picão-preto e feijoeiro + *Braquiária decumbens*. Maiores níveis de CO₂ promovem o maior ganho em estatura e massa de matéria seca das raízes, caules e folhas da cultura e da planta daninha. O teor de clorofila total foi maior também nos maiores níveis de CO₂ considerando as duas espécies avaliadas. O aumento da concentração de CO₂ afetou a dinâmica de competição entre as espécies avaliadas. Na menor concentração de CO₂ ambiente o feijoeiro mostrou-se mais competitivo com as plantas de picão-preto em relação às demais espécies avaliadas. Já nas concentrações de 840 e 1680 μmol mol⁻¹ de CO₂, tanto o milho quanto o feijoeiro afetaram o crescimento das plantas de picão-preto. Plantas de feijoeiro foram afetadas negativamente pela convivência com as plantas daninhas em todos os níveis de enriquecimento de CO₂ analisados.

Palavras-chave: Interferência competitiva; *Phaseolus vulgaris*; Fotossíntese.

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of the increase in the level of CO₂ in the environment on the growth of black pepper and common bean plants under competitive conditions. For this, an experiment was conducted in DIC with four repetitions. The effect of the black prick was evaluated in a 3 x 4 factorial scheme, with three concentrations of CO₂ in the growth chambers (420; 840 and 1.680 μmol⁻¹), and four arrangements: black prick cultivated alone, black prick + *Brachiaria decumbens*, picao-preto + corn and picao-preto + beans. For bean plants, the factorial scheme was 3 x 3, with the three levels of CO₂ in the growth chamber mentioned and the different arrangements: beans cultivated in isolation, beans + picao-preto and beans + *Brachiaria decumbens*. Higher levels of CO₂ promote the greatest gain in height and dry matter mass of the roots, stems and leaves of the crop and the weed. The total chlorophyll content was also higher at the highest levels of CO₂ considering the two species evaluated. The increase in CO₂ concentration affected the competition dynamics between the species evaluated. In the lowest concentration of ambient CO₂, the bean proved to be more competitive with the black-pea plants in relation to the other species evaluated. In the concentrations of 840 and 1.680 μmol mol⁻¹ of CO₂, both corn and beans affected the growth of the black-pea plants. Bean plants were negatively affected by living with weeds at all levels of CO₂ enrichment analyzed.

Keywords: Competitiveness; *Phaseolus vulgaris*; Photosynthesis.

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del aumento en el nivel de CO₂ del ambiente sobre el crecimiento de plantas de pimienta negra y frijol común en condiciones competitivas. Para ello, se realizó un experimento en DIC con cuatro repeticiones. El efecto del pinchazo negro se evaluó en un esquema factorial de 3 x 4, con tres concentraciones de CO₂ en las cámaras de crecimiento (420; 840 y 1.680 μmol⁻¹), y cuatro arreglos: pinchazo negro cultivado solo, pinchazo negro + *Brachiaria decumbens*, picão-preto + maíz y picão-preto + frijoles. Para las plantas de frijol, el esquema factorial fue 3 x 3, con los tres niveles de CO₂ en la cámara de crecimiento mencionados y los diferentes arreglos: frijol cultivado en aislamiento, frijol + picão-preto y frijol + *Brachiaria decumbens*. Los niveles más altos de CO₂ promueven la mayor ganancia en altura y masa de materia seca de las raíces, tallos y hojas del cultivo y la maleza. El contenido total de clorofila también fue mayor en los niveles más altos de CO₂ considerando las dos especies evaluadas. El aumento de la concentración de CO₂ afectó la dinámica de competencia entre las especies evaluadas. En la concentración más baja de CO₂ ambiental, el frijol demostró ser más competitivo con las plantas de arveja negra en relación con las otras especies evaluadas. A las concentraciones de 840 y 1.680 μmol mol⁻¹ de CO₂, tanto el maíz como el frijol afectaron el crecimiento de las plantas de arveja negra. Las plantas de frijol se vieron afectadas negativamente por vivir con malezas en todos los niveles de enriquecimiento de CO₂ analizados.

Palabras clave: Interferencia competitiva; *Phaseolus vulgaris*; Fotosíntesis.

1. Introdução

As concentrações atmosféricas globais dos gases do efeito estufa, dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, aumentaram de forma significativa em consequência da atividade antrópica e atualmente ultrapassam em muito os valores antes da era industrial. Os incrementos globais da concentração de CO₂ se devem principalmente ao uso de combustíveis fósseis e a mudança no uso da terra, enquanto incrementos da concentração de metano de óxido nitroso são devidos principalmente a agricultura (IPCC, 2020).

O dióxido de carbono, CO₂, é essencial à vida no planeta, visto que é um dos principais compostos para a realização da fotossíntese, processo pelo qual os organismos fotossintetizantes transformam a energia solar em energia química, que por sua vez é distribuída para todos os seres vivos por meio da teia alimentar. Os organismos fotossintetizantes, além de absorverem o carbono encontrado na atmosfera na forma de dióxido de carbono pela fotossíntese, também liberam dióxido de carbono para a atmosfera mediante o processo de respiração (Taiz, et al., 2017).

O CO₂ em alta concentração na atmosfera tende a favorecer o desenvolvimento das plantas. Por ser um componente básico da fotossíntese, o aumento da concentração pode promover alterações no metabolismo, crescimento e processos fisiológicos das plantas (Dorneles, et al., 2019).

Uma maior proporção de CO₂ na atmosfera tem o potencial de aumentar a atividade fotossintética e diminuir a fotorrespiração pela diminuição da atividade de oxigenase da rubisco. Outros efeitos esperados são a redução da condutância estomática, o aumento da eficiência de uso da água (relação entre as quantidades de CO₂ assimilado e de H₂O perdida) e da proporção C/N (carbono/nitrogênio), e a diminuição da respiração no escuro (Reich, et al., 2018; Wolf & Ziscka, 2018).

A consequência desses efeitos pode ser um aumento na taxa de crescimento, o que pode não ocorrer caso a planta apresente aclimação fotossintética. Porém, mesmo em casos de aclimação, a taxa de fotossíntese em elevadas concentrações de CO₂ ainda é maior do que nas condições normais (Dorneles, et al., 2019).

Qualquer alteração climática tende a influenciar não só o desempenho de organismos individuais, mas também as interações com outras espécies em diferentes fases evolutivas e, por consequência altera a competição entre as espécies (Awasthi, et al., 2018).

As plantas daninhas causam perdas substanciais de produtividade, particularmente no desenvolvimento das culturas, quando em competição. As mesmas devem ser afetadas diretamente pelo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, sendo beneficiadas como as culturas econômicas, sendo que os efeitos das mudanças climáticas serão dependentes da espécie. O aumento na concentração de CO₂ resulta em resposta direta das plantas daninhas que receberam o estímulo, com elevação na taxa fotossintética semelhante às respostas das plantas C3, podendo chegar a duas vezes o ganho fotossintético em relação às plantas cultivadas (Xu, et al. 2015).

Estudos sobre competitividade de culturas com plantas daninhas permitem desenvolver estratégias para seu manejo, pois podem definir as características que confirmam maior habilidade competitiva às culturas. Entretanto, no contexto atual, onde se observa incremento da concentração de CO₂ na atmosfera aliada ao aumento da temperatura, esse fato pode promover alterações relacionadas à capacidade competitiva de plantas daninhas e culturas, onde modificações no crescimento, morfologia e fisiologia das plantas podem ser verificadas em tais condições. Plantas com maiores velocidades de incremento de área foliar, estatura, massa da matéria seca da parte aérea, maior cobertura do solo e interceptação de luz pelo dossel apresentaram maior habilidade competitiva com as plantas daninhas (Mackinder, 2018).

Diante do exposto, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito do incremento do nível de CO₂ do ambiente no crescimento de plantas de picão-preto e feijoeiro em condição de competição.

2. Metodologia

Condições locais e a condução do experimento

As pesquisas quantitativas foram realizadas de dezembro/2014 a janeiro/2015, por 50 dias em câmara de crescimento na dependência do Departamento Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, (18°12'07.6"S 43°34'24.2"W) dois experimentos: um com *Bidens pilosa* L. (picão-preto) e um com *Phaseolus vulgaris* L. (feijão carioca BRS Pérola).

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para avaliar as plantas de ambos os experimentos. Para o picão-preto foi montado um esquema fatorial 3 x 4, sendo o primeiro fator representado por três concentrações de CO₂ nas câmaras de crescimento (420; 840 e 1.680 μmol⁻¹), e o segundo fator representado pelos arranjos de plantas em condição de competição (picão-preto cultivado isoladamente, picão-preto + *Braquiária decumbens*, picão-preto + milho (cv Híbrido Duplo Herculex®) e picão-preto + feijão (carioca BRS Pérola). Já com relação à avaliação das plantas de feijão o esquema fatorial foi de 3 x 3, sendo o primeiro fator representado pelos mesmos três níveis de CO₂ citados e o segundo fator correspondente aos diferentes arranjos de plantas em competição com plantas daninhas (feijoeiro cultivado isoladamente, feijoeiro + picão-preto e feijoeiro + *Brachiária decumbens*).

Para o substrato foi utilizado o Latossolo Vermelho-Amarelo previamente corrigido e adubado. Foi feita a análise em que foram encontradas as características seguintes: pH em água = 4,3; Matéria Orgânica (MO) = 2,5 dag kg⁻¹; P = 1,5 mg dm⁻³; K = 40 mg dm⁻³; Al = 0,5 cmol_c dm⁻³; Ca²⁺ = 1,3 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,2 cmol_c dm⁻³; Capacidade de troca de cations efetiva (t) = 2,1 cmol_c dm⁻³; Capacidade de troca de cations total (T) = 6,39 cmol_c dm⁻³; H+Al = 4,79 cmol_c dm⁻³; SB = 1,6 cmol_c dm⁻³; V = 25%; e teor de argila = 38%. A adubação do solo foi de 20 g de cloreto de potássio, 500 g de superfosfato simples, 50 g de

sulfato de amônio e 150 g de calcário dolomítico por m³ de substrato, de acordo com recomendação de Cantarutti, et al., (2007) para adubação em vaso.

O efeito do ambiente e as avaliações feitas nas plantas de picão-preto e feijão

As espécies foram semeadas em vasos plásticos contendo 2,0 L da mistura pré-elaborada de solo e terra vegetal, corrigido e adubado, com incorporação um mês antes da implantação do experimento. Foram semeadas por vaso, cerca de 10 sementes da planta daninha e 4 da cultura com posterior desbaste e após a emergência das plântulas foi realizado um novo desbaste de acordo com o arranjo desejado.

As plantas foram mantidas em câmara de crescimento durante toda a fase experimento, onde temperatura, luminosidade, comprimento do dia, umidade e irrigação foram controladas, sendo temperatura média de 27°C, luminosidade de 750 μmol de luz $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em um período de 12 h diárias de luz, umidade relativa de 60% e irrigação duas vezes por dia mantendo o substrato com 80% da capacidade de campo medido com tensiômetro digital.

Realizou-se a análise da eficiência fotoquímica do fotossistema II das folhas das plantas com fluorômetro (Mini Pan®, Wals), sendo as pinças do aparelho colocadas no terço médio da primeira folha completamente expandida. As medições foram feitas após 30 minutos de adaptação ao escuro, no período noturno, com emissão de um pulso de luz saturante de 0,3 s, sob frequência de 0,6 KHz, quando se avaliou também razão entre a fluorescência variável e fluorescência máxima (Fv/Fm). Para a medição dos teores de clorofila foi usado o clorofilômetro (Clorofilog/Falker), em que foram obtidos os teores de clorofila total (CHL – mg m^{-2}) 40 dias após a emergência das plantas.

A resposta das concentrações de CO₂ e diferentes arranjos de cultivo na morfologia das plantas

Aos 50 dias após a emergência das plantas foi medida a estatura (EST – cm) e contado no número de folhas (NF) das plantas. As plantas de picão-preto e feijão foram coletadas e divididas em caule, folhas e raízes e acondicionadas em sacos de papel, e levadas a estufa de circulação forçada de ar e seca a temperatura de 60°C até massa constante. As amostras foram pesadas em balança de precisão para obtenção da massa da matéria seca das raízes (MSR – g), massa da matéria seca do caule (MSC – g) e massa da matéria seca das folhas (MSF – g). A massa da matéria seca total (MST – g) foi obtida pela soma da massa da matéria seca dos três órgãos das plantas avaliadas.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao programa estatístico Sisvar para análise de variância e comparação das médias dos tratamentos pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3. Resultados e Discussão

Resposta da estatura, número de folhas, teor de clorofila e relação fluorescência variável/fluorescência máxima (Fv/Fm) nas plantas de picão-preto

As plantas de picão-preto submetidas a níveis crescentes de enriquecimento de CO₂ no ambiente mostram incremento na estatura (EST) para todos os tratamentos testados. O incremento na EST de plantas de picão-preto cultivadas isoladamente foi superior a 100% da concentração ambiente de CO₂ com 420 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ para o ambiente com máximo enriquecimento (1.680 $\mu\text{mol mol}^{-1}$), nos demais tratamentos esse incremento foi menor com o aumento da concentração de CO₂ (Tabela 1).

Ao se avaliar os arranjos dentro de cada nível de CO₂, verificou-se que na concentração de 420 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO₂ não houve diferença na EST entre os tratamentos. Na concentração 840 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO₂ as plantas de picão-preto apresentaram menor estatura quando cultivadas associadas ao feijão. Já na maior concentração de CO₂ observou-se que a planta daninha mostrou menores valores médios em relação à testemunha quando competindo com braquiária, milho e

feijoeiro, podendo-se concluir que a essa concentração de CO₂, a planta se desenvolve melhor quando cultivada isoladamente (Tabela 1).

Tabela 1. Estatura de plantas (EST), número de folhas (NF), teor de clorofila total (CHL) e relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila a (Fv/Fm) de picão-preto em competição com braquiária, milho e feijoeiro.

Arranjos	Estatura de plantas (EST - cm)		
	420	840	1.680
		Concentração de CO ₂ μmol mol ⁻¹	
Picão-preto	12,27 b A	19,42 ab A	31,92 a A
Picão-preto + Braquiária	7,12 b A	20,00 a A	16,30 a B
Picão-preto + Feijoeiro	12,02 b A	12,65 b B	17,00 a B
Picão-preto + Milho	10,02 b A	17,92 a A	20,92 a B
CV (%)	18,79		
Arranjos	Número de folhas (NF)		
	420	840	1.680
		μmol mol ⁻¹	
Picão-preto	6,25 b A	11,00 a A	11,25 a A
Picão-preto + Braquiária	6,00 b A	10,25 a A	11,75 a A
Picão-preto + Feijoeiro	4,50 b B	8,00 a AB	9,50 a A
Picão-preto + Milho	6,00 b A	7,25 ab B	10,25 a A
CV (%)	14,56		
Arranjos	Teor de clorofila total (CHL - mg m ⁻²)		
	420	840	1.680
		μmol mol ⁻¹	
Picão-preto	34,62 b A	44,52 a A	44,00 a A
Picão-preto + Braquiária	32,65 b A	42,10 a A	43,82 a A
Picão-preto + Feijoeiro	34,40 a A	40,72 a A	40,79 a A
Picão-preto + Milho	30,17 b A	38,48 ab A	45,00 a A
CV (%)	10,21		
Arranjos	Relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila a (Fv/Fm)		
	420	840	1.680
		μmol mol ⁻¹	
Picão-preto	0,76**	0,81	0,77
Picão-preto + Braquiária	0,81	0,78	0,79
Picão-preto + Feijoeiro	0,82	0,78	0,75
Picão-preto + Milho	0,81	0,79	0,76
CV (%)	3,63		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. **NS. Não significativo pelo Teste F a 5% de erro. Fonte: Autores.

Santos, et al., (2017) afirma que em condições atuais, o O₂ compete com o CO₂ no sítio de reação da enzima rubisco, o que acarreta em perda de carbono pela fotorrespiração. Se a concentração de CO₂ for aumentada, a fotorrespiração pode ser cessada devido ao aumento do substrato em competição ao O₂, elevando a fotossíntese e consequentemente a produção das plantas, conforme observado em seus resultados ao testar plantas de soja, *Eyphorbia heterophylla* e *Amaranthus viridis*. Tal fato tende a não ocorrer em plantas de metabolismo C₄, que já se encontram em condição de saturação pela enzima rubisco em

condições atuais, não sendo tão responsivas quanto as plantas de metabolismo C3, que respondem positivamente ao aumento do gás na atmosfera.

O número de folhas (NF) de plantas de picão-preto mostrou incremento em todos os tratamentos (arranjos de plantas isoladas e em condição de competição) com o aumento da concentração de CO₂ no ambiente. Esse incremento no NF foi de aproximadamente o dobro quando comparada a menor concentração de CO₂ com a maior concentração testada nas plantas de picão-preto crescendo isoladamente (Tabela 1).

Cury, et al., (2013) observou uma redução no conteúdo relativo de N, P e K nos componentes vegetativos de feijoeiro ao avaliar a interação da cultura em competição com plantas daninhas. Quando em competição com *E. heterophylla* e *C. benghalensis*, apresentaram menores valores de conteúdo relativo de N, P e K, porém essas espécies foram praticamente suprimidas pela cultura.

Na concentração de 420 μmol mol⁻¹, verificaram-se que as plantas de picão-preto mostraram menores valores médios de NF quando cultivadas em condição de competição com feijoeiro, já nas outras competições o picão-preto se comportou como se estivesse sendo cultivado isoladamente. Já na concentração de 840 μmol mol⁻¹, as plantas de picão-preto mostraram menor NF quando cultivadas juntamente com as plantas de milho, diferindo da testemunha cultivada isoladamente ou quando cultivada junto com braquiária. Com 1.680 μmol mol⁻¹ de CO₂ não foi verificada diferença entre os tratamentos, logo para esta concentração de CO₂, o cultivo com a planta daninha ou isolada não influenciou seus resultados (Tabela 1).

Busch e Sage, (2017) apontam que em elevadas concentrações de CO₂, a regeneração da enzima rubisco é menor que seu consumo, sendo sua regeneração limitada por vários processos enzimáticos, inclusive redução de ATP. Assim como a quantidade de luz saturante e as concentrações de CO₂ pode limitar a capacidade de transporte de elétrons na folha e, conseqüentemente, a produção de amido e sacarose, limitando o fornecimento de energia. Todas essas características de limitações são encontradas mais comumente em plantas de metabolismo C3, com temperaturas mais baixas e níveis saturados de CO₂.

As parcelas cultivadas com picão-preto isoladamente e em competição com culturas e braquiária e milho mostraram incremento nos valores de teor de clorofila total (CHL) com o aumento da concentração de CO₂ no ambiente, já no tratamento onde a planta daninha se desenvolveu juntamente com feijoeiro, não apresentou diferença estatística a medida que se elevava a concentração de CO₂ (Tabela 1).

Awasthi, et al., (2018) encontraram resultados semelhantes em plantas de *Vigna radiata* e duas espécies de plantas daninhas, em que houve o crescimento significativo tanto da leguminosa quanto das plantas daninhas cultivados sob condições de CO₂ elevado. Foram observados maiores ramificações e produção de biomassa da parte aérea das espécies estudadas, sendo justificados, primeiramente pela maior resposta nos ramos e em segundo, pela maior taxa de fotoassimilados pela elevação do CO₂.

O aumento nas taxas fotossintéticas e a melhora nas relações hídricas observados nas plantas cultivadas em elevado CO₂ normalmente geram incrementos de biomassa e altura nestas plantas, que são respectivamente 49% e 12% maiores do que nas plantas cultivadas em atmosfera ambiente de CO₂ (Marin & Nassif, 2013).

O aumento do CO₂ beneficia tanto a planta daninha quanto a cultura econômica, porém os efeitos são particulares a cada espécie. As respostas da planta daninha que recebe o estímulo apresentam elevação nas taxas fotossintéticas semelhantes àquelas observadas em culturas de metabolismo C3, podendo chegar a duas vezes o ganho em relação à cultura cultivada (Marin & Nassif, 2013).

Ainda analisando o comportamento da CHL, ao se avaliar o arranjo de plantas dentro dos níveis de concentração do CO₂ não foi observada diferença entre os tratamentos para todas as concentrações de CO₂ avaliadas, logo o tipo de arranjo utilizado não influenciou no desenvolvimento da planta em nenhuma das concentrações de CO₂ avaliadas (Tabela 1).

Ao se avaliar a relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila *a* (Fv/Fm) em plantas de picão-preto, não foi observada diferença entre os tratamentos, destacando-se que os valores médios para essa variável se mantiveram entre 0,76 e 0,82 nos tratamentos (Tabela 1). Como não foi observada diferença estatística na Fv/Fm, pode-se inferir que o aparato fotossintético das plantas não foi comprometido, indicando valores dentro da normalidade.

Resposta da massa da matéria seca das raízes, massa da matéria seca do caule, massa da matéria seca das folhas e massa da matéria seca total nas plantas de picão-preto

Ao se avaliar as variáveis massa da matéria seca das raízes (MSR), massa da matéria seca do caule (MSC), massa da matéria seca das folhas (MSF) e massa da matéria seca total (MST), verificou-se que em todos os arranjos de plantas avaliados ocorreu incremento nos valores dessas variáveis com o aumento da concentração de CO₂ no ambiente (Tabela 2).

Tabela 2. Massa da matéria seca das raízes (MSR), massa da matéria seca do caule (MSC), massa da matéria seca das folhas (MSF) e massa da matéria seca total (MST) em plantas de picão-preto em competição com braquiária, milho e feijoeiro.

Massa da matéria seca das raízes (MSR - g)			
Arranjos	Concentração de CO ₂ (μmol mol ⁻¹)		
	420	840	1.680
Picão-preto	0,23 b A	0,31 ab AB	0,77 a A
Picão-preto + Braquiária	0,25 b A	0,58 ab A	0,76 a A
Picão-preto + Feijoeiro	0,10 b B	0,14 b B	0,80 a A
Picão-preto + Milho	0,30 b A	0,35 b AB	0,89 a A
CV (%)	20,14		
Massa da matéria seca do caule (MSC - g)			
	Concentração de CO ₂ (μmol mol ⁻¹)		
	420	840	1.680
Picão-preto	0,19 b A	0,23 b B	0,56 a A
Picão-preto + Braquiária	0,25 b A	0,38 a A	0,42 a B
Picão-preto + Feijoeiro	0,10 c B	0,26 b A	0,43 a B
Picão-preto + Milho	0,15 b AB	0,20 b A	0,40 a B
CV (%)	42,92		
Massa da matéria seca das folhas (MSF - g)			
	Concentração de CO ₂ (μmol mol ⁻¹)		
	420	840	1.680
Picão-preto	0,33 b A	0,35 b B	0,66 a A
Picão-preto + Braquiária	0,35 b A	0,49 ab AB	0,64 a A
Picão-preto + Feijoeiro	0,23 b AB	0,45 a AB	0,46 a B
Picão-preto + Milho	0,11 b B	0,67 a A	0,70 a A
CV (%)	46,36		
Massa da matéria seca total (MST - g)			
	Concentração de CO ₂ (μmol mol ⁻¹)		
	420	840	1.680
Picão-preto	0,81 b A	0,83 b B	1,99 a A
Picão-preto + Braquiária	0,95 b A	1,08 b A	1,96 a A
Picão-preto + Feijoeiro	0,65 b B	0,80 b B	1,53 a B
Picão-preto + Milho	0,79 b AB	0,89 b B	1,42 a B
CV (%)	34,63		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autores.

Nas parcelas em que o picão-preto foi cultivado junto com o feijão ou com o milho, só foram observados aumentos na MSR quando cultivados no limite máximo de concentração de CO₂ (1.680 μmol mol⁻¹). Já para a MSC, quando o picão-preto foi cultivado com feijão, foi observado melhores resultados já quando se elevou a concentração de CO₂ para 840 μmol mol⁻¹, porém na concentração máxima de CO₂ (1.680 μmol mol⁻¹) foi onde se encontrou melhores resultados. Para esta mesma variável, o picão-preto cultivado junto com a braquiária já apresentou seus melhores resultados na concentração de 840 μmol mol⁻¹, e nos demais arranjos, os melhores resultados foram encontrados apenas quando as plantas foram submetidas ao limite de 1.680 μmol mol⁻¹ de CO₂ (Tabela 2).

Ao avaliar produção e partição de matéria seca de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas, Cury, et al., (2011) observaram que houve menor produção de matéria seca quando o feijão se encontrava em competição com *E. heterophylla* e *C benghalensis*, e que a cultivar Pérola foi o genótipo de feijão que mais tolerou a competição com as plantas daninhas estudadas.

Da mesma forma, a MSF do picão-preto se comportou em sua melhor forma já na concentração de 840 μmol mol⁻¹ quando cultivados com feijão, milho e braquiária, sendo que quando cultivado isoladamente, o incremento da MSF só é observado na concentração máxima de CO₂ (1.680 μmol mol⁻¹) (Tabela 2).

A MSR de plantas de picão-preto foi afetada negativamente na concentração de 420 μmol mol⁻¹ de CO₂ quando competindo com plantas de feijoeiro. Da mesma forma, observou-se incremento de aproximadamente três vezes a MSR (300%) e aumento de cerca de 200% a MSC, MSF e MST de plantas de picão-preto da menor concentração de CO₂ para a maior concentração (Tabela 2).

Santos, et al., (2017) afirmam que, embora as plantas de metabolismo C₃ apresentem melhor desempenho que as plantas C₄ caso haja incremento nas concentrações de CO₂ ambiente pela eficiência da enzima rubisco, esta atividade não deve ser avaliada isoladamente, mas sim com um acompanhamento nutricional adequado, pois tais vantagens fotossintéticas podem não ser observadas e levar a interpretações equivocadas.

Cury, et al., (2013) apontaram o sistema radicular das plantas de feijão como o componente mais afetado pelas plantas daninhas quando em competição, porém a eficiência, o acúmulo e o transporte de N, P e K do feijoeiro varia conforme o genótipo e a espécie daninha competidora.

Já na concentração 840 μmol mol⁻¹ de CO₂ os maiores valores médios de MSR no picão-preto foram observados quando as mesmas cresceram juntamente com braquiária. Na maior concentração de CO₂ não foi observada diferença entre os tratamentos (Tabela 2).

A espécie de planta daninha contribui significativamente para o impacto na cultura competidora, conforme observado por Cury, et al., (2011), em que observaram que as plantas daninhas *Amaranthus spinosus* e *B. plantaginea* foram as espécies que apresentaram maior capacidade competitiva, pois afetaram intensamente o acúmulo e distribuição de matéria seca em todos os componentes do feijão. Dessa forma, o acúmulo e alocação dos recursos energéticos tanto nos componentes vegetativos das culturas quanto das plantas daninhas variam de acordo com as espécies envolvidas.

Santos, et al., (2017) demonstraram que a soja e o *Amaranthus viridis* apresentam maior competição intraespecífica com o aumento do CO₂ de 400 para 800 μmol mol⁻¹. Já a *Euphorbia heterophylla* apresentou maior competição intraespecífica na concentração mais baixa de CO₂ (400 μmol mol⁻¹) em comparação a de 800 μmol mol⁻¹.

Plantas de picão-preto competindo com a cultura do milho mostraram redução da MSF quando cultivadas na menor concentração de CO₂, diferindo da testemunha e demais tratamentos. Na concentração 840 μmol mol⁻¹ de CO₂, verificou-se que a testemunha mostrou menor valor médio e quando cultivada juntamente com o milho, apresentou melhores resultados de MSF e no ambiente mais enriquecido com CO₂ (1.680 μmol mol⁻¹), as plantas de picão-preto foram afetadas negativamente quando cresceram juntamente com o feijoeiro (Tabela 2).

Na menor concentração de CO₂ avaliada, as plantas de picão-preto mostraram que a MST afeta negativamente quando competindo com feijoeiro, sem diferir da parcela onde a planta daninha cresceu juntamente com o milho. Na concentração de 840 μmol mol⁻¹ de CO₂ as plantas de picão-preto cultivadas juntamente com a braquiária mostraram os maiores valores médios de MST, já no ambiente mais rico em CO₂ observou-se que as parcelas cultivadas isoladamente e em competição com plantas de braquiária mostraram maiores valores médios de MST diferindo dos demais tratamentos (Tabela 2).

Os resultados encontrados corroboram com os achados por Wang, et al., (2016) ao avaliar trigo e arroz em 4 anos de produção, encontraram aumento de 2,9% na biomassa de arroz para um incremento de 673 μmol mol⁻¹ de CO₂ e aumentos de até 19% na biomassa do trigo para esta mesma concentração de CO₂. Porém, esse mesmo estudo aponta também respostas negativas para a biomassa total e para a produção de grãos em alguns anos estudados, em que os autores atribuem tal fato a redução na condutância estomática e na concentração intercelular de CO₂. Os resultados apontam a especificidade da resposta às alterações fisiológicas a depender de região para região, corroborando com as variações encontradas na literatura.

Awasthi, et al., (2018) afirmam que as plantas daninhas respondem de forma similar às plantas cultivadas sob elevados índices de CO₂ ambiente; porém, o que prejudica a produção agrícola provavelmente está ligado ao fato de as plantas daninhas serem mais adaptáveis a qualquer alteração ambiente do que as culturas agrícolas, favorecendo o desempenho das plantas daninhas em detrimento às culturas.

Nas relações de competição, Cury, et al., (2011) perceberam que a raiz das cultivares de feijão testadas foi o principal órgão afetado pela competição, enquanto que nas plantas daninhas, as folhas e o caule foram os órgãos mais prejudicados.

Resposta da estatura, número de folhas, teor de clorofila e relação fluorescência variável/fluorescência máxima (Fv/Fm) nas plantas de feijão

A estatura de plantas (EST) de feijoeiro apresentou incremento com o aumento da concentração de CO₂ em todos os arranjos avaliados já quando se elevou a concentração de CO₂ para 840 μmol mol⁻¹, destacando-se que plantas de feijoeiro crescendo isoladamente mostraram crescimento em estatura cerca de seis vezes maior da menor para a maior concentração de CO₂ (Tabela 3).

Tabela 3. Estatura (EST), número de folha (NF), teor de clorofila total (CHL) e relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila a (Fv/Fm) de plantas de feijoeiro cultivado em competição com plantas daninhas.

Arranjos	Estatura (EST - cm)		
	420	840	1.680
	Concentração de CO ₂ (μmol mol ⁻¹)		
		μmol mol ⁻¹	
Feijoeiro	12,67 b B	50,70 ab A	70,95 a A
Feijoeiro + Picão-preto	10,17 b B	31,80 ab B	49,45 a B
Feijoeiro + Braquiária	19,67 b A	54,32 ab A	75,20 a A
CV (%)	30,76		
	Número de folha (NF)		
	420	840	1.680
	μmol mol ⁻¹		
Feijoeiro	4,70**	5,00	5,70
Feijoeiro + Picão-preto	4,00	5,00	5,50
Feijoeiro + Braquiária	4,70	5,50	5,80
CV (%)	20,38		
	Teor de clorofila total (CHL - mg m ⁻²)		
	420	840	1.680
	μmol mol ⁻¹		
Feijoeiro	44,05**	44,00	45,92
Feijoeiro + Picão-preto	43,12	42,40	44,27
Feijoeiro + Braquiária	44,95	44,27	44,50
CV (%)	7,76		
	Relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila a (Fv/Fm)		
	420	840	1.680
	μmol mol ⁻¹		
Feijoeiro	0,81**	0,79	0,81
Feijoeiro + Picão-preto	0,82	0,79	0,80
Feijoeiro + Braquiária	0,82	0,77	0,80
CV (%)	4,48		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. **NS. Não significativo pelo Teste F a 5% de erro. Fonte: Autores.

Awasthi, et al., (2018) apresentam resultados em que o incremento de CO₂ favoreceu o desenvolvimento tanto de plantas daninhas quanto o da leguminosa (*Vigna radiata*), porém a planta daninha *E. geniculata* foi dominante sobre a cultura mesmo com o CO₂ elevado devido a sua maior taxa de crescimento e biomassa.

Plantas de feijoeiro cultivadas juntamente com braquiária apresentaram maior EST na concentração de 420 μmol mol⁻¹ de CO₂, diferente de quando cultivada isoladamente, ou com picão-preto. Nas concentrações 840 e 1.680 μmol mol⁻¹ verificaram-se que os menores valores de EST do feijoeiro foi quando o mesmo se encontrava apenas em condição de competição com plantas de picão-preto (Tabela 3).

O picão-preto afeta as culturas pelo fato de comprometer as características fisiológicas e morfológicas, além do crescimento das culturas (Manabe et al. 2014). As características dessa planta favorecem sua propagação, pois além de ser uma planta com excelente capacidade de extrair nutrientes do solo e acumular em seus tecidos, produzindo mais sementes, é uma planta flexível às mudanças ambientais, fazendo com que seja uma planta com elevada habilidade competitiva (Santos & Cury, 2011).

Ao se avaliar o número de folhas (NF) em plantas de feijoeiro, não foi constatada diferença entre os tratamentos e níveis de enriquecimento de CO₂ no ambiente, apresentando valores médios entre 4,0 e 5,8 (Tabela 3).

Com relação ao teor de clorofila (CHL) em plantas de feijoeiro, não foi constatada diferença entre os tratamentos e níveis de enriquecimento de CO₂ no ambiente, com valores médios entre 42,4 e 45,92 mg m⁻² (Tabela 3). Dorneles et al. (2019) encontraram redução de 11% de CHL em trigo para concentrações de 700 μmol mol⁻¹ de CO₂, assim como encontrou incremento na estatura (2%), área foliar (21%), massa seca da folha (18%) e massa seca da raiz (44%) neste estudo, além de serem observados grãos com melhor coloração, forma e tamanho.

Ao se avaliar a relação fluorescência variável/fluorescência máxima da clorofila *a* (Fv/Fm) em plantas de feijoeiro, não foi constatada diferença entre os tratamentos, destacando-se que os valores médios observados para essa variável se mantiveram na faixa de 0,77 a 0,82 em todos os tratamentos (Tabela 3).

Manabe, et al., (2014) afirma que a taxa fotossintética do feijão sob competição com plantas daninhas é reduzida, ocorrendo o contrário quando a cultura é bem manejada e o controle é feito. Dessa forma é de suma importância o controle das plantas daninhas na cultura pela escolha de métodos eficientes e que minimizem sua interferência na cultura.

Resposta da massa da matéria seca das raízes, massa da matéria seca do caule, massa da matéria seca das folhas e massa da matéria seca total nas plantas de feijão

As variáveis massa da matéria seca das raízes (MSR), massa da matéria seca do caule (MSC), massa da matéria seca das folhas (MSF) e massa da matéria seca total (MST) em plantas feijoeiro mostraram em todos os arranjos avaliados (feijoeiro cultivado isoladamente, feijoeiro + picão-preto e feijoeiro + braquiária) incremento nos seus valores médios com o aumento da concentração de CO₂ no ambiente (Tabela 4). Estes valores indicam que a fotossíntese não foi comprometida com as diferentes proporções de CO₂ testados.

Tabela 4. Massa da matéria seca das raízes (MSR), Massa da matéria seca do caule (MSC), Massa da matéria seca das folhas (MSF) e Massa da matéria seca total (MST) de plantas de feijoeiro cultivado em competição com plantas daninhas.

Arranjos	Massa da matéria seca das raízes (MSR - g)		
	420	840	1.680
	$\mu\text{mol mol}^{-1}$		
Feijoeiro	0,23 b B	0,64 ab A	0,82 a A
Feijoeiro + Picão-preto	0,30 b B	0,69 ab A	0,80 a A
Feijoeiro + Braquiária	0,51 b A	0,79 a A	0,81 a A
CV (%)	41,03		
	Massa da matéria seca do caule (MSC - g)		
	420	840	1.680
	$\mu\text{mol mol}^{-1}$		
Feijoeiro	0,43 b A	0,48b A	0,68 a A
Feijoeiro + Picão-preto	0,10 c B	0,26 b B	0,55 a A
Feijoeiro + Braquiária	0,22 b B	0,28 b B	0,56 a A
CV (%)	58,08		
	Massa da matéria seca das folhas (MSF - g)		
	420	840	1.680
	$\mu\text{mol mol}^{-1}$		
Feijoeiro	1,41 b A	1,64 b A	2,36 a A
Feijoeiro + Picão-preto	0,45 b B	0,55 b B	1,46 a B
Feijoeiro + Braquiária	0,52 b B	0,62 b B	1,54 a B
CV (%)	13,98		
	Massa da matéria seca total (MST - g)		
	420	840	1.680
	$\mu\text{mol mol}^{-1}$		
Feijoeiro	2,12 b A	2,72 b A	3,86 a A
Feijoeiro + Picão-preto	1,25 b B	1,42 b B	2,52 a B
Feijoeiro + Braquiária	1,31 b B	1,98 ab B	2,63 a B
CV (%)	21,33		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Fonte: Autores.

Para a variável MSR, esse incremento já foi observado quando se elevou a concentração de CO₂ para 840 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, já para as variáveis MSC e MSF os melhores resultados só foram encontrados quando atingidas as concentrações de 1.680 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO₂ (Tabela 4). Kim et al. (2005), avaliando o crescimento de plantas de soja em diferentes níveis de concentração de CO₂, verificaram aumento do peso total da massa seca de soja em ambiente enriquecido com 650 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO₂.

Para Santos, et al., (2017) as mudanças nos níveis de CO₂ podem aumentar a competição entre as plantas e favorecer determinada espécie, já que a absorção e concentração de nutrientes como N, P e K pode ser maior em uma do que em outra. Por se tratar de uma planta leguminosa, o feijão possui uma maior capacidade de fixação biológica de nitrogênio no solo, podendo favorecer sua condição em relação a demais espécies e aproveitar o melhor incremento de CO₂ na atmosfera, assim como observaram os autores em relação às plantas de soja em interação com plantas daninhas.

Galon, et al., (2016) evidenciam as perdas na produtividade de diversas cultivares diferentes dos grãos do feijoeiro na presença de picão-preto. Porém os resultados encontrados confirmam a hipótese do efeito fertilizante do CO₂ que parte do princípio que a concentração atual de CO₂ na atmosfera é limitante a capacidade fotossintética máxima das plantas C3, devido aos níveis atuais serem insuficiente para saturar a enzima rubisco (Taiz, et al., 2017).

Dorneles, et al., (2019) apontam que plantas que possuem metabolismo C3 são beneficiadas pelo incremento de CO₂ atmosférico, já que há uma potencialização da atividade carboxilativa, o que faz elevar a fotossíntese sem que ocorra a saturação, além de reduzir as perdas pela fotorrespiração.

Ao se avaliar o efeito do arranjo dentro de cada nível de concentração de CO₂ no ambiente, verificou-se na concentração 420 μmol mol⁻¹ de CO₂, maiores valores médios de MSR foi observado nas plantas de feijoeiro cultivadas em competição com a braquiária, diferindo dos demais tratamentos. Nas concentrações 840 e 1.680 μmol mol⁻¹ de CO₂ não foi observada diferença da MSR nos tratamentos (Tabela 4).

Com relação à MSC de plantas de feijoeiro verificou-se que nas concentrações 420 e 840 μmol mol⁻¹ de CO₂, os tratamentos no qual as plantas de feijoeiro competiram com picão-preto e com braquiária os valores médios dessa variável foi inferior ao observado nas plantas da cultura crescendo isoladamente. Já na maior concentração de CO₂ não foi observada diferença entre os tratamentos (Tabela 4).

Pessôa, et al., (2017) avaliou o desempenho fisiológico do feijão sob manejo de plantas daninhas e concluiu que a competição interfere severamente nas características de fotossíntese, transpiração e concentração intercelular de CO₂ do feijão, fazendo com que a cultura apresente um desbalanço fisiológico e comprometendo seu desenvolvimento.

Plantas de feijoeiro cultivadas nas três concentrações de CO₂ mostraram menores valores médios de MSF e MST quando em competição com plantas daninhas, diferindo das suas testemunhas nos respectivos níveis de enriquecimento de CO₂ (Tabela 4).

Zisca, (2017) discute algumas dinâmicas na evolução das plantas, quer seja por adaptação evolutiva por meio a aclimação as diferentes formas de adaptação das culturas às mudanças climáticas com o passar dos anos, quer seja também por seleção ligada ao melhoramento genético, que geram indivíduos mais resistentes e também mais aclimatados. Dadas tais diferenças dinâmicas de seleção, qualquer aumento em algum recurso, como o CO₂, por exemplo, pode induzir a disparidades entre plantas daninhas e as culturas.

As alterações no ambiente afetam o desempenho das plantas de uma forma específica em cada espécie, como foi observado, por exemplo, nos estudos de Awasthi, et al., (2018) em que, das três espécies estudadas, *E. geniculata* foi a mais responsiva ao aumento do CO₂, com maior transpiração e condutância estomática, além de apresentar sistema de defesa antioxidante mais forte. Dessa forma, as alterações no ambiente poderão responder de forma a ressaltar algum parâmetro a depender da espécie estudada.

4. Conclusão

O incremento da concentração de CO₂ promove um maior ganho em estatura e massa de matéria seca das raízes, caules e folhas da cultura e da planta daninha.

Em todos os arranjos testados os melhores resultados de crescimento das plantas ocorrem na concentração de 1.680 μmol mol⁻¹.

Nas concentrações de 420 e 840 μmol mol⁻¹ de CO₂ no ambiente, o picão-preto em competição com o feijão apresenta os piores desempenhos em quase todas as variáveis de crescimento.

Na concentração de 1.680 μmol mol⁻¹, o picão-preto crescendo isoladamente apresenta os melhores resultados do que quando em competição com alguma espécie.

Para a maioria das variáveis de crescimento testadas, as concentrações de 420 e 1.680 μmol mol⁻¹ favorecem o feijoeiro quando crescendo isoladamente.

Na concentração de 840 μmol mol⁻¹ as plantas de feijão obtiveram os piores desempenhos quando em competição com o picão-preto.

Estudos futuros devem considerar, além das competições de *Biden pilosa* e do feijoeiro com outras espécies vegetais e dos incrementos das concentrações de CO₂, variações do potencial hídrico do solo, uma vez que o déficit de água na planta impacta diretamente no fluxo de CO₂ pelos estômatos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro e as bolsas concedidas.

Referências

- Awasthi, J. P., Paraste, K. S., Rathore, M., Varun, M., Jaggi, D. & Kumar, B. (2018). Effect of elevated CO₂ on *Vigna radiata* and two weed species: yield, physiology and crop-weed interaction. *Crop and Pastures Science*. 69(6): 617-631. <https://doi.org/10.1071/CP17192>
- Cantarutti, R. B., Barros, N. F., Martinez, H. E. P. & Novais, R. F. (2007). Avaliação da Fertilização do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: Novais, RF; Alvarez V., VH; Barros, NF; Fontes, RLF; Cantarutti, RB; Neves, JCL. Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS.
- Cury, J. P., Santos, J. B., Valadão Silva, D., Carvalho, F. P., Braga, R. R., Byrro, E. C. M. & Ferreira, E. A. (2011). Produção e Partição de Matéria Seca de Cultivares de Feijão em Competição com Plantas Daninhas. *Planta Daninha* 29 (1): 149-58. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000100017>
- Curry, J. P., Santos, J. B., Silva, E. B., Braga, R. R., Carvalho, F. P., Valadão Silva, D. & Byrro, E. C. M. (2013). Eficiência Nutricional de Cultivares de Feijão em Competição com Plantas Daninhas. *Planta Daninha* 31 (1): 79-88. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000100009>
- Dorneles, K. R., Posso, D. A., Rebhahn, I., Deuner, S., Pazdiora, P. C., Avila, L. A. & Dallagnol, L. J. (2019). Respostas Morfofisiológicas e Rendimento de Grãos do Trigo Mediados pelo Aumento da Concentração de CO₂ Atmosférico. *Rev Bras Cien Agrárias* 14 (1): 1981-0997. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i1a5600>
- Finn, G. A. & Brun, W. A. (1982). Effect of Atmospheric CO₂ Enrichment on Growth, Nonstructural Carbohydrate Content, and Root Nodule Activity in Soybean. *Plant Physiol* 69: 327-31. <https://doi.org/10.1104/pp.69.2.327>
- Galon, L., Forte, C. T., Gabiatti, R. L., Radunz, L. L., Aspiazú, I., Kujawinski, R. & Rossetti, J. (2016). Interference and Economic Threshold Level For Control of Beggartick on Bean Cultivars. *Planta Daninha* 34 (3): 411-22. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340300002>
- Kim, S. H., Jung, W. S., Ahn, J. K., Kim, J. A. & Chung, I. M. (2005). Quantitative Analysis of the Isoflavone Content and Biological Growth of Soybean (*Glycine max* L.) at Elevated Temperature, CO₂ Level and N Application. *J Sci Food Agric* 85: 2557-66. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2294>
- Manabe, P. M. S., Matos, C. da C. de, Ferreira, E. A., Silva, A. A. da, Sediya, T., Manabe, A., Silva, A. F. da, Rocha, P. R. R., & Galon, L. (2014). Características fisiológicas de feijoeiro em competição com plantas daninhas. *Bioscience Journal*, 30(6). Retrieved from <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/22147>
- Pessôa, U. C. M., de Oliveira, K. J. A., Souza, A. S., Pimenta, T. A., Muniz, R. V. S. & Araujo Neto, A. G. (2017). Desempenho Fisiológico e Crescimento do Feijão-Caupi, sob Manejos de Plantas Daninhas. *Rev. Verde Agroecologia Desenvol Sustentável* 12 (2): 246-50. <https://doi.org/10.18378/rvads.v12i2.5067>
- Reich, P. B., Hobbie, S. E., Lee, T. D. & Pastore, M. A. (2018). Unexpected Reversal of C3 versus C4 Grass Response to Elevated CO₂ During A 20-Year Field Experiment. *Science* 360 (6386): 317-20. <http://doi.org/10.1126/science.aas9313>
- Santos, J. I., Cesarin, A. E., Sales, C. A. R., Triano, M. B. B., Martins, P. F. R. B., Braga, A. F., Neto, N. J., Barroso, A. A. M., Alves, P. L. C. A. & Huaman, C. A. M. (2017). Increase of Atmosphere CO₂ Concentration and Its Effects on Culture/Weed Interaction World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Biological, *Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering* 11 (6):419-426. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1130683>
- Santos, J. B. & Cury, J. P. (2011). Picão-preto: Uma Planta Daninha Especial em Solos Tropicais. *Planta Daninha* 29: 1159-71. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582011000500024>
- Srinivasarao, Ch.; Kundu, S.; Shanker, A. K., Naik, R. P., Vanaja, M., Venkanna, K., Sankar, G. R. M. & Rao, V. U. M. (2016). Continuous cropping under elevated CO₂: Differential effects on C4 and C3 crops, soil properties and carbon dynamics in semi-arid alfisols. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 218: 73-86. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.016>
- Taiz, L.; Zeiger, E. & Moller, I. (2017). Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. Artmed.
- .. (2016). Size and Variability of Crop Productivity Both Impacted By CO₂ Enrichment and Warming – A Case Study of 4 Year Field Experiment in a Chinese Paddy. *Agric Ecosys Environ* 221: 40–9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.028>
- Wolf, J. & Ziska, L. (2018). Comment on “Unexpected Reversal of C3 versus C4 Grass Response to Elevated CO₂ During a 20-Year Field Experiment. *Science* 361 (1): 6402. <https://doi.org/10.1126/science.aau1300>
- Xu, Z.; Jiang, Y. & Zhou, G. (2015). Response and Adaptation of Photosynthesis, Respiration, and Antioxidant Systems to Elevated CO₂ with Environmental Stress in Plants. *Frontiers in Plant Science* 6: 701. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00701>

Ziska, L., Blumenthal, D., & Franks, S. (2019). Understanding the nexus of rising CO₂, climate change, and evolution in weed biology. *Invasive Plant Science and Management*, 12(2), 79-88. doi:10.1017/inp.2019.12

Zeng, Q.; Liu, B.; Gilna, B.; Zhang, L.; Zhu, C.; Ma, H.; Pang, J.; Chen, G. & Zhu, J. (2009). Elevated CO₂ Effect on Nutrient Competition between a C3 Crop (*Oryza Sativa* L.) and a C4 Weed (*Echinochloa crusgalli* L.). *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 89: 93-104. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9379-z>