

## CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO SORGO SOB DÉFICIT HÍDRICO

**NELMÍCIO FURTADO DA SILVA<sup>1</sup>; FERNANDO NOBRE CUNHA<sup>1</sup>; WENDSON SOARES DA SILVA CAVALCANTE<sup>1</sup>; FERNANDO RODRIGUES CABRAL FILHO<sup>1</sup>; MARCONI BATISTA TEIXEIRA<sup>1</sup>; GABRIELA NOBRE CUNHA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Hidráulica e Irrigação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rodovia Sul Goiana, km 01, Zona Rural, CEP: 75.901-970, Rio Verde GO, Brasil, [nelmiciofurtado@gmail.com](mailto:nelmiciofurtado@gmail.com), [fernandonobrecunha@hotmail.com](mailto:fernandonobrecunha@hotmail.com), [wendsonbfoarescv@gmail.com](mailto:wendsonbfoarescv@gmail.com), [fernandorcfilho@hotmail.com](mailto:fernandorcfilho@hotmail.com), [marconibt@gmail.com](mailto:marconibt@gmail.com)

<sup>2</sup>Departamento de Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente, UniEVANGÉLICA, Av. Universitária km 3,5 Cidade Universitária, CEP: 75083-515, Anápolis GO, Brasil, [gabriela-nc@hotmail.com](mailto:gabriela-nc@hotmail.com)

### 1 RESUMO

A análise de crescimento é uma importante ferramenta que produz conhecimentos de valor prático e informações exatas referentes ao crescimento e comportamento das culturas. Objetivou-se neste estudo avaliar o crescimento e desenvolvimento de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) submetidas a déficit hídrico. O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, GO. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcela subdividida 4 × 8, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pela combinação de quatro reposições hídricas (25, 50 e 75 e 100%), e oito épocas de coleta (10, 17, 24, 31, 38, 45, 52 e 59 dias após a emergência). Para a semeadura foi utilizado o cultivar de sorgo granífero Buster que possui como principais características a precocidade, sanidade e rendimento. As variáveis avaliadas foram altura de planta, diâmetro de colmo, número de folhas, número entrenós, comprimento de entrenós, comprimento de raiz, volume de raiz, área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar e razão de área foliar. O volume de raiz do sorgo irrigado a cada sete dias após a emergência, apresenta um acréscimo médio de aproximadamente 13,90%.

**Palavras-Chave:** *Sorghum bicolor*, biometria, manejo de irrigação, reposição hídrica.

**SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; CAVALCANTE, W. S. S.; CABRAL FILHO, F. R.;  
TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, G. N.  
GROWTH AND DEVELOPMENT OF SORGHUM CROPS UNDER WATER  
DEFICIT**

### 2 ABSTRACT

Growth analysis is an important tool that produces knowledge of practical value and accurate information regarding crop growth and behavior. The objective of this study was to evaluate the growth and development of sorghum plants (*Sorghum bicolor* L. Moench.) subjected to water deficit. The experiment was conducted in a climate-controlled greenhouse at the Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, GO. The experimental design used was randomized

blocks, analyzed in a  $4 \times 8$  split-plot scheme, with four replicates. The treatments consisted of the combination of four water replacements (25, 50, 75 and 100%), and eight collection times (10, 17, 24, 31, 38, 45, 52 and 59 days after emergence). The grain sorghum cultivar Buster was used for sowing, which has as main characteristics precocity, health and yield. The variables evaluated were plant height, stem diameter, number of leaves, number of internodes, internode length, root length, root volume, leaf area, specific leaf area, leaf weight ratio and leaf area ratio. The root volume of sorghum irrigated every seven days after emergence shows an average increase of approximately 13.90%.

**Keywords:** *Sorghum bicolor*, biometrics, irrigation management, water replacement.

### 3 INTRODUÇÃO

O sorgo é uma planta C4, de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas, cabe destacar que as etapas de crescimento da cultura do sorgo são três: a primeira fase de crescimento, estágio de crescimento 1 (EC1), vai do plantio até a iniciação da panícula, a fase seguinte (EC2) compreende a iniciação da panícula até o florescimento e a terceira fase de crescimento (EC3) vai da floração à maturação fisiológica (Magalhães; Durães, 2003; Palacios-Diaz *et al.*, 2023).

A planta do sorgo se adapta a uma gama de ambientes de plantio, até mesmo sob condições de deficiência hídrica, pois possui características fisiológicas que permitem paralisar seu crescimento ou diminuir suas atividades metabólicas durante o estresse hídrico e reiniciá-lo quando a água se torna disponível (Masojidek *et al.*, 1991; Dourado *et al.*, 2022). Essa característica permite que a cultura seja apta para se desenvolver e se expandir em regiões de cultivo com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão (Rodrigues, 2010; Rakgotho *et al.*, 2022). O sorgo responde às mudanças ambientais, principalmente temperatura e comprimento do dia, logo por ser originário de regiões quentes, é muito prejudicado por temperaturas baixas, que atrasam o ciclo da cultura (Silva *et al.*, 2013; Bazaluk; Havrysh; Nitsenko, 2021).

O estresse hídrico tem influência em todas as fases na cultura do sorgo, desde a germinação, quando é possível discriminar sementes com melhor qualidade fisiológica até nas fases finais do enchimento de grãos (Oliveira; Gomes Fiho, 2009; Mendoza-Grimón *et al.*, 2021). Todavia, a fase em que o estresse hídrico proporciona maior perda de produtividade de grãos é na fase reprodutiva, com o estresse nessa fase, várias sementes em potencial deixam de ser formadas, seja pelo abortamento ou pelo desenvolvimento insuficiente da panícula, e, mesmo após a fertilização do óvulo, o estresse hídrico compromete o enchimento de grãos (Lima *et al.*, 2011; Nikolaou *et al.*, 2020).

Para o déficit hídrico em sorgo quando acontece no estágio EC1, provoca menos danos à planta do que em EC2, pois no estágio EC2, a escassez de água vai resultar na redução das taxas de crescimento da panícula e das folhas e no número de sementes por panícula, esses efeitos são devidos provavelmente a uma redução na área foliar, resistência estomática aumentada, fotossíntese diminuída e a uma desorganização do estado hormonal da panícula em diferenciação, já quando a falta de água acontece no EC3, o resultado é a senescência rápida das folhas inferiores, com conseqüente redução no rendimento de grãos (Magalhães *et al.*, 2012; Mendoza-Grimón *et al.*, 2021; Dourado *et al.*, 2022).

A análise de crescimento é uma importante ferramenta que produz

conhecimentos de valor prático e informações exatas referentes ao crescimento e comportamento das plantas, expressa às condições morfofisiológicas das plantas e quantifica a produção líquida, derivada do processo fotossintético, sendo o resultado do desempenho do sistema assimilatório durante certo período de tempo e possibilita a identificação da capacidade produtiva de diferentes variedades e a investigação dos efeitos do manejo da cultura (Benincasa, 2003; Oliveira *et al.*, 2010; Palacios-Diaz *et al.*, 2023).

Objetivou-se, neste estudo, avaliar o crescimento e desenvolvimento de plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) submetidas a déficit hídrico.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma casa de vegetação instalada na área experimental do IFGoiano – Campus Rio Verde. A casa de vegetação é constituída de cobertura de filme plástico polietileno transparente, de 150 micras e laterais fechadas, com tela tipo sombrite com 30% de interceptação. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35°C.

Foram utilizados vasos de 8 kg de solo preparado a partir da mistura de duas partes de solo do tipo Latossolo Vermelho distroférico típicos coletados em uma área sem histórico de uso de herbicidas que pudesse comprometer o cultivo do sorgo e uma parte de areia. As características físico-químicas do solo estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características físico-químicas do solo utilizado nos vasos

Densidade	Porosidade Total	Areia	Silte	Argila	Complexo Sortivo				N	pH <sub>ps</sub>
					Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		
g cm <sup>-3</sup>	%		g kg <sup>-1</sup>		cmolc kg <sup>-1</sup>				%	-
1,21	53,03	46,3	17,4	32,2	3,55	3,26	0,13	0,58	0,19	5,72

Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> extraídos utilizando-se NH<sub>4</sub>OAc 1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em esquema de parcela subdividida 4 × 8, com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por quatro reposições hídricas (25, 50, 75 e 100%), e oito épocas de avaliações (10, 17, 24, 31, 38, 45, 52 e 59 dias após a emergência). Para a semeadura foi utilizado o cultivar de sorgo granífero Buster que possui como principais características a precocidade, sanidade e rendimento.

As plantas foram semeadas diretamente no vaso, onde foram

depositadas quatro sementes, logo após a emergência, foi realizado um desbaste de forma a obter uma população final de duas plantas por vaso. A adubação foi realizada conforme recomendação de Novais, Neves e Barros (1991), por meio de diluição, com MAP e KCl na quantidade de 0,86 e 0,58 g Kg<sup>-1</sup> de solo respectivamente, e ureia parcelada em duas aplicações, aos 20 e 40 dias após emergência, sendo que, cada aplicação no experimento foi de 0,9 g vaso<sup>-1</sup>.

Para obter a irrigação recomendada utilizou-se três vasos drenos (lisímetro de

drenagem) para cada reposição hídrica (RH) que foi considerada as lâminas de 100%. Nesses drenos foram adicionadas uma lâmina de água, até os vasos começarem a drenar. A água percolada encontrada nos coletores foi medida em uma proveta com volume conhecido (500 mL) precisão de 0,5 mL, sendo o valor encontrado subtraído à quantidade inicial irrigada. Este procedimento foi feito para os nove lisímetros de drenagem onde, em seguida, foram obtidas suas médias. A quantidade retida no vaso foi considerada a recomendação e desses valores tinham-se as outras porcentagens de irrigação (25, 50 e 75%). Instalou-se um sistema de irrigação por gotejamento na casa de vegetação com registros, que foram utilizados para controlar a água que era inserida em cada vaso, sendo, um registro para cada tratamento e suas devidas repetições. O tubo gotejador foi disposto na parte superficial dos vasos onde cada vaso recebia água de um emissor. Antes da água chegar aos tubos gotejadores, esta passava por um manômetro de glicerina para aferição da pressão.

Foram realizadas oito coletas, com intervalos de sete dias, para a quantificação do crescimento das plantas de sorgo. As variáveis avaliadas foram altura de planta, diâmetro de colmo, número de folhas, número entrenós, comprimento de entrenós, comprimento de raiz, volume de raiz, área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar e razão de área foliar.

A altura de planta, foi avaliada considerando-se o comprimento da haste principal do coleto até o último nó (ápice da planta) e o diâmetro do colmo, foi mensurado na altura do coleto da planta com um paquímetro digital. Contou-se o número de entrenós acumulados na haste principal, assim como o de folhas emitidas. A determinação da área foliar foi realizada através da obtenção da imagem digital da folha, integração e cálculo de área foliar utilizando um software QUANT V.1.0.1 (Vale; Fernandes Filho; Liberato, 2001).

As raízes foram lavadas em água corrente para retirar todos os resíduos do solo, sendo o volume radicular medido, pelo deslocamento de coluna de água numa proveta graduada. O comprimento da maior raiz e de entrenós, foram medidos utilizando trena e régua, respectivamente.

O procedimento de secagem das plantas, para conseguir as massas secas, consistiu no acondicionamento de cada planta em sacos de papeis devidamente numerados, de acordo com cada tratamento, e levado a estufa de secagem com circulação e renovação de ar por 48 h a temperatura de 65 C° (Lacerda; Freitas; Silva, 2009). Todos os pesos para obtenção da massa seca foram realizados em balança com precisão de 0,01g. A matéria seca total da planta foi obtida pelo somatório das massas de matéria seca das raízes, caule e folhas. A área foliar específica (AFE), razão de peso foliar (RPF) e razão de área foliar (RAF) foram obtidas pela equação 1 a 3, conforme Marafon (2012).

$$AFE = AF / MS_f \quad (1)$$

$$RPF = MS_t / MS_f \quad (2)$$

$$RAF = AFE \times RPF \quad (3)$$

Onde:

AFE - área foliar específica (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>);

RPF - razão de peso foliar (g g<sup>-1</sup>);

RAF - razão de área foliar (cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>);

MS<sub>f</sub> - massa de matéria seca da folha (g);

MS<sub>t</sub> - massa de matéria seca total da planta (g).

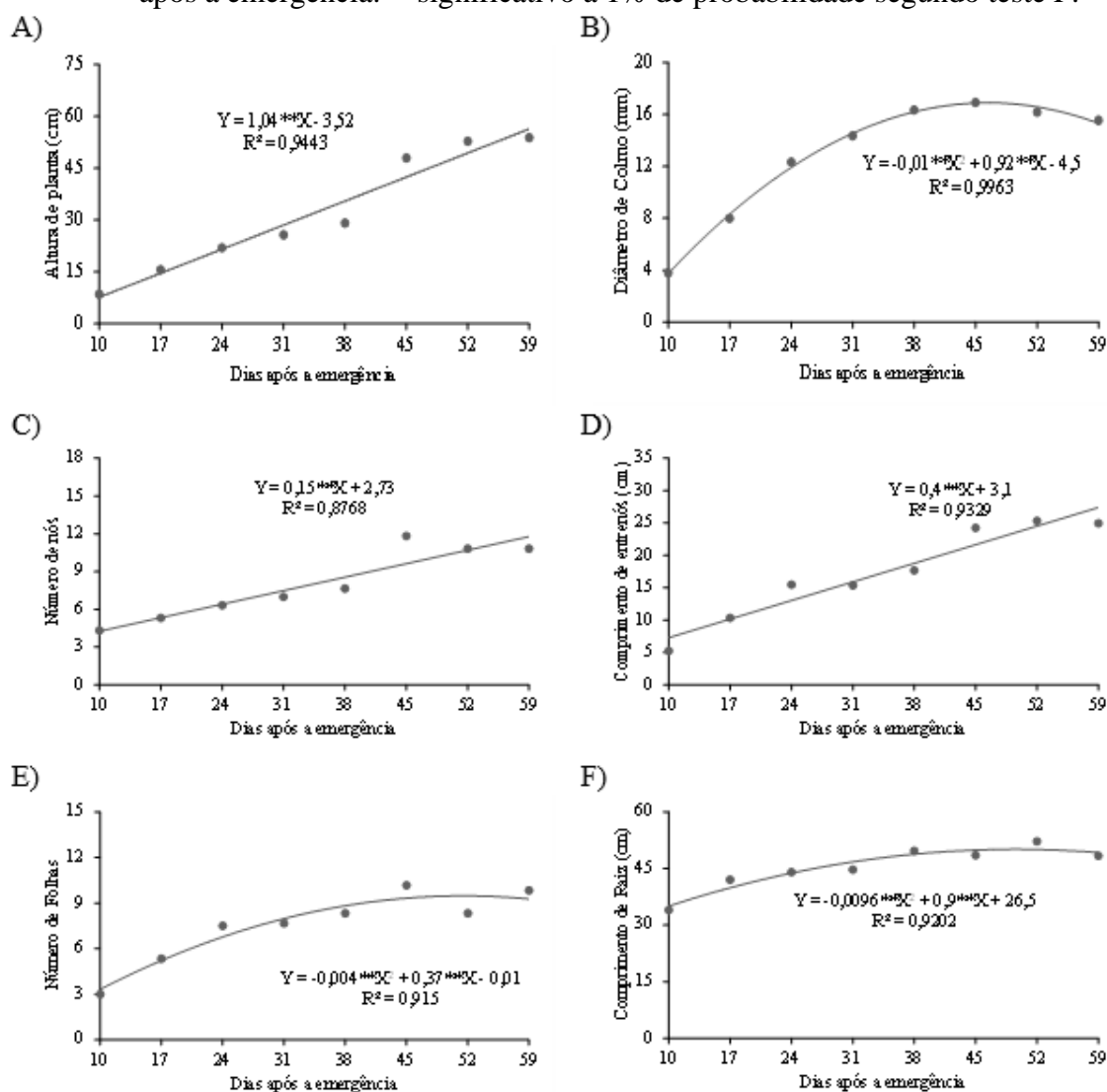
Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) e em casos de significância, foi realizada a análise de regressão para a reposição hídrica e época de avaliação, utilizando o software estatístico SISVAR® (Ferreira, 2011).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura de planta do sorgo em função dos dias após a emergência, se adequou a um modelo linear, com  $R^2$  de

94,43%, indicando que 5,57% das variações da altura de planta do sorgo não são explicadas pela variação dos dias após a emergência (Figura 1A).

**Figura 1.** Altura de planta (A), diâmetro de colmo (B), número de nós (C), comprimento de entrenós (D), número de folhas (E) e comprimento de raiz (F) em função dos dias após a emergência. \*\* significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.



O tamanho da planta é uma característica importante, pois está associada a resistência do colmo, a suscetibilidade ao acamamento e quebra (Silva *et al.*, 2009; Oresca *et al.*, 2021).

A altura de planta do sorgo mostra um aumento linear correspondente a 88,10% verificado entre os 10 e 59 dias após a

emergência (DAE). O maior desenvolvimento das plantas de sorgo em altura é uma característica desejada, pois plantas altas tendem a produzir maiores quantidades de matéria seca (Oliveira *et al.*, 2016).

A altura de planta do sorgo a cada aumento de 7 DAE, demonstra um

acréscimo de aproximadamente 12,59%. Mesmo em condições adversas a cultura do sorgo geralmente apresenta um bom crescimento e desenvolvimento, o que proporciona um maior rendimento da cultura, portanto a elevação na produção de sorgo é explicada, principalmente, devido ao alto potencial de produção de grãos, além da extraordinária capacidade de suportar estresses ambientais, como a seca frequente na segunda safra (Jordan *et al.*, 2017).

O diâmetro do colmo do sorgo em função dos dias após a emergência, se adequou a um modelo quadrático, com  $R^2$  de 99,63%, indicando que 0,37% das variações do diâmetro do colmo do sorgo não são explicadas pela variação dos dias após a emergência (Figura 1B). Foi observado um diâmetro do colmo máximo de aproximadamente 16,65 mm aos 47 DAE, após esse período ocorreu a estabilização do diâmetro de colmo.

Guimarães *et al.* (2019) verificaram que as variedades de sorgo 2502-IPA, 2564-IPA, Ponta Negra e Qualimax apresentaram os maiores diâmetros de caule, com médias entre 14,83 e 16,32 mm.

O diâmetro do colmo do sorgo máximo verificado aos 47 DAE, foi 77,78, 50,45, 29,01, 13,45, 3,78, 2,10 e 10,09% maior do que o diâmetro do colmo do sorgo observado aos 10, 17, 24, 31, 38, 52 e 59 DAE, respectivamente. O diâmetro de colmo é uma característica estreitamente relacionada à produtividade, por ser um órgão de reserva para as plantas, assim, correlaciona diretamente com o desempenho dos grãos (Cruz *et al.*, 2008; Calone *et al.*, 2020).

O número de nós do sorgo em função dos dias após a emergência, se adequou a um modelo linear, com  $R^2$  de 87,68%, indicando que 12,32% das variações do número de nós do sorgo não são explicadas pela variação dos dias após a emergência (Figura 1C). Silva (2017) também verificou que o número de nós em função dos dias, se adequou a um

modelo linear, com  $R^2$  de aproximadamente 86%.

O número de nós apresentou aumentos de 63,47% dos 10 para os 59 DAE, correspondendo a um aumento de aproximadamente 12 nós a cada 7 DAE. O número de nós do sorgo a cada aumento de 7 DAE, demonstra um acréscimo de aproximadamente 9,07%. Conforme ocorre o avanço da fase do ciclo da cultura, pode-se verificar aumento do acúmulo matéria seca, incremento no número e no comprimento de entrenós, beneficiando o crescimento e refletindo em maior produtividade de grãos (Cunha *et al.*, 2016; Silva, 2017).

O comprimento de entrenós do sorgo em função dos dias após a emergência, se adequou a um modelo linear, com  $R^2$  de 93,29%, indicando que 6,71% das variações do comprimento de entrenós do sorgo não são explicadas pela variação dos dias após a emergência (Figura 1D). O comprimento de entrenós do sorgo apresentou aumentos de 73,41% dos 10 para os 59 DAE.

A cultura do sorgo sob irrigação tende a apresentar maior altura de planta, logo a elevação no crescimento do comprimento de entrenós seja resultado da irrigação, uma vez que a água tem papel fundamental na maior alongação dos entrenós, resultando em plantas mais altas em condições favoráveis ao crescimento vegetal (Shigaki *et al.*, 2004; Sousa *et al.*, 2020).

O comprimento de entrenós ajustou-se a um modelo linear sendo verificado um incremento de 2,9 cm a cada 7 DAE. O comprimento de entrenós do sorgo a cada aumento de 7 DAE, demonstra um acréscimo de aproximadamente 10,49%. Uma elevada taxa de crescimento da cultura, ocasiona em maior comprimento de entrenós que resultaram em maior crescimento da cultura (Ghaffar *et al.* 2012; Mubarik *et al.*, 2022).

O número de folhas do sorgo em função dos dias após a emergência, se adequou a um modelo quadrático, com  $R^2$  de

91,50%, indicando que 8,50% das variações do número de folhas do sorgo não são explicadas pela variação dos dias após a emergência. O número de folhas máximo foi registrado aos 46 DAE, sendo este de aproximadamente 9 folhas (Figura 1E). Avaliando a área foliar de acordo com os períodos, dias após emergência, observa-se que área foliar é dependente do número de folhas, do tamanho de folhas e do estágio vegetativo, sendo que a área foliar aumenta até o limite máximo, qual ela permanece ativa, inicia o crescimento em seguida pelo decréscimo em razão da senescência das folhas (Manfron *et al.*, 2003; Calone *et al.*, 2020).

O número de folhas do sorgo máximo verificado aos 46 DAE, foi 61,52, 40,07, 23,20, 10,92, 3,23, 1,59 e 7,65% maior do que o número de folhas do sorgo observado aos 10, 17, 24, 31, 38, 52 e 59 DAE, respectivamente. A capacidade de manter um maior número de folhas por um longo período constitui-se em um importante indicativo de materiais mais produtivos, pois significa um melhor desempenho do aparato fotossintético, além disso, o número de folhas está relacionado à capacidade de regeneração da planta ao longo do ciclo da cultura (Magalhães, 1979; Sousa *et al.*, 2020).

O comprimento de raiz do sorgo em função dos dias após a emergência, se adequou a um modelo quadrático, com  $R^2$  de 92,02%, indicando que 7,98% das variações comprimento de raiz do sorgo não são

explicadas pela variação dos dias após a emergência.

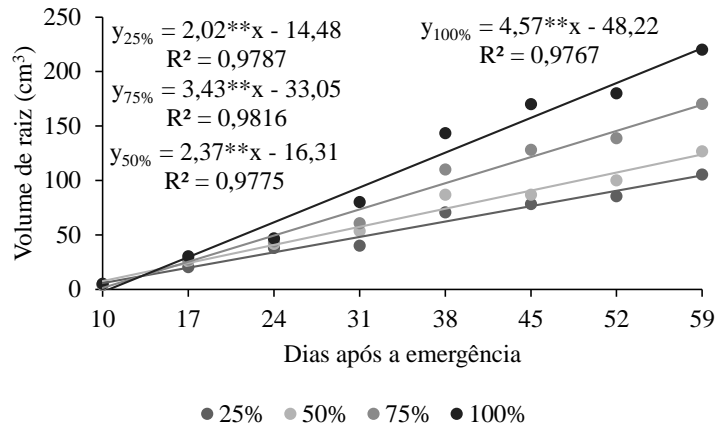
A avaliação da raiz do sorgo deve ser considerada, tendo em vista que alterações na morfologia do sistema radicular, especialmente comprimento e volume, têm sido relacionadas com a produtividade de grãos, além disso, o comprimento da raiz do sorgo apresenta correlação positiva com a área superficial total e a área superficial de raízes finas (Negri *et al.*, 2014; Ali *et al.*, 2017).

O comprimento máximo de raiz foi de 47,59 cm aos 47 DAE (Figura 1F). Isso se deve ao desenvolvimento normal da cultura, pois o crescimento das raízes em geral termina antes do florescimento (Avila, 2018).

O comprimento de raiz do sorgo máximo verificado aos 47 DAE, foi 27,42, 18,00, 10,55, 5,08, 1,58, 0,52 e 2,96% maior do que o comprimento de raiz do sorgo observado aos 10, 17, 24, 31, 38, 52 e 59 DAE, respectivamente. Gírio *et al.* (2015) observaram ganhos na altura de planta, diâmetro de colmo, comprimento de raízes e massa seca do colmo, com isto concluíram que uma adequada reposição hídrica favorece bastante o crescimento e produtividade da cultura.

O volume de raiz do sorgo em função dos dias após a emergência, se adequou a um modelo linear, com  $R^2$  médio de 97,86%, indicando que em média 2,14% das variações do volume de raiz não são explicadas pela variação dos dias após a emergência (Figura 2).

**Figura 2.** Volume de raiz em função dos dias após a emergência. \*\* significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.



A disponibilidade hídrica geralmente tem grande efeito sobre o crescimento, desenvolvimento e componentes de produção da cultura, além disso tem importante influência no tamanho e volume das raízes (Taiz; Zeiger, 2017).

Comparando as épocas de avaliações de 10 e 59 DAE, observa-se incrementos no volume de raiz do sorgo de aproximadamente 94,54, 93,99, 99,24 e 99,46%, quando se utilizou a reposição hídrica de 25, 50, 75 e 100%, respectivamente.

O aumento da área de superfície específica das raízes do sorgo permite maior capacidade de absorção de água e nutrientes do solo, implicando em um maior crescimento, desenvolvimento e rendimento

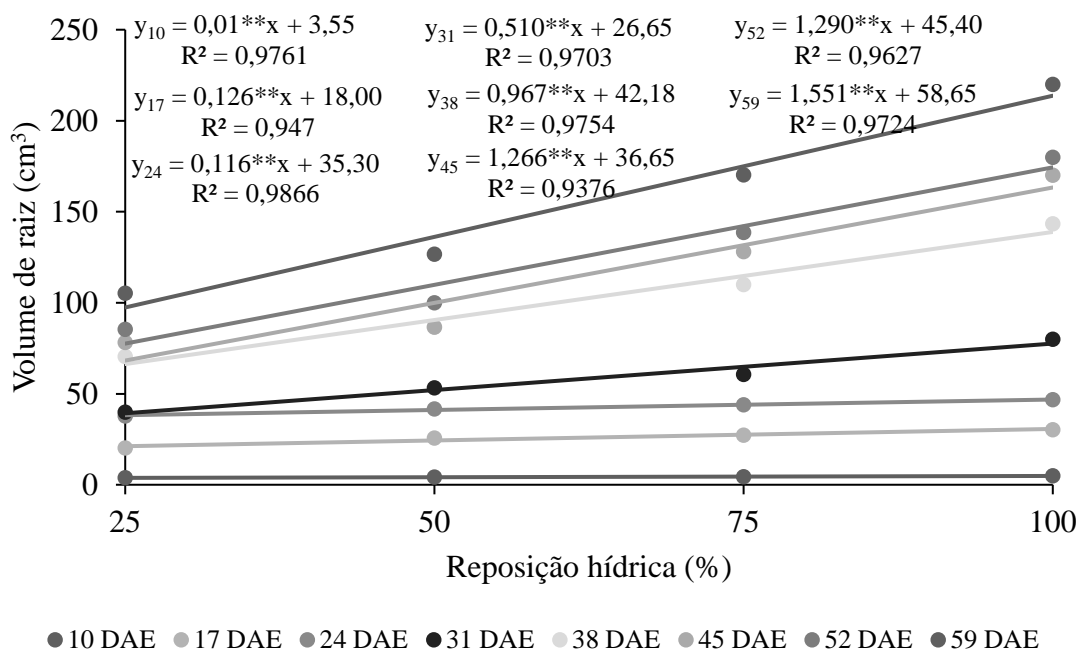
da cultura (Quadros *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2024).

O volume de raiz do sorgo a cada aumento de 7 DAE, demonstra um acréscimo de 13,50, 13,43, 14,18 e 14,45%, quando realizada a reposição hídrica de 25, 50, 75 e 100%, respectivamente. O volume de solo explorado é essencial para a absorção efetiva da água pelas raízes, o que reflete em um melhor desenvolvimento da cultura do sorgo (Santos; Carlesso, 1998; Palacios-Diaz *et al.*, 2023).

O volume de raiz do sorgo em função da reposição hídrica, se adequou a um modelo linear, com  $R^2$  médio de 96,60%, indicando que em média 3,40% das variações do volume de raiz não são explicadas pela variação da reposição hídrica (Figura 3).



**Figura 3.** Volume de raiz em função da reposição hídrica. \*\* significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.



As mudanças do estado hídrico e variáveis relacionadas ao sistema radicular são determinantes para o acúmulo de biomassa em plantas de *Sorghum bicolor* (Matos *et al.*, 2021).

Comparando as reposições hídricas de 25 e 100%, observa-se incrementos no volume de raiz do sorgo de aproximadamente 21,21, 30,94, 18,50, 49,25, 52,22, 58,16, 55,48 e 54,42%, aos 10, 17, 24, 31, 38, 45, 52 e 59 DAE, respectivamente.

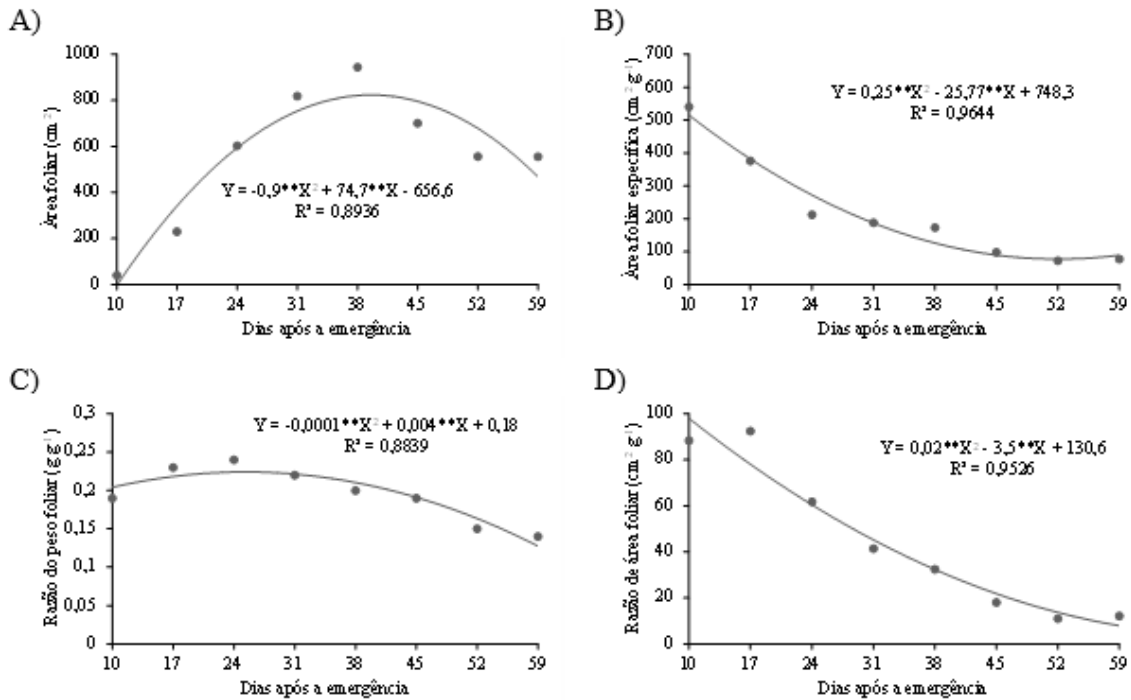
Diferentes níveis de irrigação possibilitam modificar a arquitetura da raiz da planta, o que provoca aumento dos pelos radiculares, raízes laterais e comprimento da raiz, o que conseqüentemente gera aumento da superfície radicular, possibilitando maior absorção de água e nutrientes do solo (Spaepen; Vanderleyden, 2011; Van Oosten *et al.*, 2017).

O volume de raiz do sorgo a cada aumento de 25% na reposição hídrica,

demonstra um acréscimo de 7,07, 10,31, 6,17, 16,41, 17,41, 19,39, 18,49 e 18,14%, aos 10, 17, 24, 31, 38, 45, 52 e 59 DAE, respectivamente. A limitação do crescimento da cultura do sorgo é maior quando as plantas estão sob reposições hídricas menores que 100%, portanto, menores volumes de água, pode causar variações no volume de raiz da cultura (Matos *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2024).

A área foliar máxima de 820 cm<sup>2</sup> foi verificada aos 40 dias após a emergência (Figura 4A). O aumento da área foliar indica melhor crescimento da planta, pois é um dos parâmetros morfológicos que reflete diretamente o desenvolvimento vegetal do sorgo, pois é utilizado para estimar a capacidade fotossintética das plantas, bem como para prever a produção de matéria seca e a produtividade (Lessa *et al.*, 2018; Borrego *et al.*, 2021).

**Figura 4.** Área foliar (A), área foliar específica (B), razão do peso foliar (C) e razão de área foliar (D) em função dos dias após a emergência. \*\* significativo a 1% de probabilidade segundo teste F.



A área foliar específica ajustou-se a um modelo quadrático, onde o máximo valor foi obtido aos 10 DAE, já a partir dos 45 DAE verifica-se a estabilização da área foliar específica do sorgo, com um valor de aproximadamente 83 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Figura 4B), isto é, devido ao aumento da massa seca das folhas obtida pela expansão da área foliar.

A área foliar específica está fortemente correlacionada com o ponto de perda de turgor das folhas, sendo um importante parâmetro de relações hídricas (Bucci *et al.*, 2004; Oresca *et al.*, 2021).

A razão de peso foliar máxima de 0,22 g g<sup>-1</sup> foi registrado aos 25 DAE (Figura 4C). Os valores elevados de razão de peso foliar no início do ciclo vegetativo e, posteriormente, decréscimo, é em função do direcionamento dos compostos fotossintetizados para outras regiões da planta (Aires, 2011; Dourado *et al.*, 2022).

A razão de área foliar apresentou os maiores valores entre 10 e 45 DAE, seguido de uma estabilização a partir dos 45 DAE, sendo a razão de área foliar estimada neste

período de aproximadamente 13,8 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Figura 4D); isto indica que nessa fase a maior parte do material fotossintetizados é convertido em folhas, para maior captação da radiação solar disponível.

A razão de área foliar declina à medida que as plantas crescem, pois com o crescimento aumenta a interferência de folhas superiores sobre as folhas inferiores (autossombreamento) e a tendência é a área foliar útil diminuir (Benincasa, 2003; Calone *et al.*, 2020). Diversos autores sugerem que a razão de área foliar alcança valores máximos no início do ciclo vegetativo e posteriormente decrescendo com a maturação da planta (Ferreira, 1996; Povh, 2004; Mubarik *et al.*, 2022).

## 6 CONCLUSÃO

A altura de planta, diâmetro de colmo, número de nós, comprimento de entrenós, número de folhas, comprimento de raiz, área foliar, área foliar específica, razão

do peso foliar e razão de área foliar da cultura do sorgo não são influenciados pelas reposições hídricas (25, 50, 75 e 100%).

O maior volume de raiz do sorgo é verificado na reposição hídrica de 100%, aos 10, 17, 24, 31, 38, 45, 52 e 59 dias após a emergência, indicando incrementos acima de 18%.

O volume de raiz do sorgo irrigado a cada sete dias após a emergência, apresenta um acréscimo médio de aproximadamente 13,90%.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Brasil (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG); Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC - Brasil); a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep); Centro de Excelência em Agro Exponencial (CEAGRE); ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano) - Campus Rio Verde; a Universidade de Rio Verde – UniRV; AGIRTEC – Soluções de Precisão; pelo apoio financeiro e estrutural para a realização deste estudo.

## 8 REFERÊNCIAS

AIRES, R. F. **Avaliação ecofisiológica da mamona nas condições ambientais do sul do Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado em Sistemas de Produção Agrícola Familiar) –Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, p. 1-59, 2011.

ALI, F.; AHSAN, M.; ALI, Q.; KANWAL, N. Phenotypic stability of *Zea mays* grain

yield and its attributing traits under drought stress. **Frontiers of Plant Science**, Londres, v. 8, article 1397, p. 1-11, 2017.

AVILA, R. G. **Indução de tolerância à seca em sorgo cultivado sob restrição hídrica e suplementada com silício e nitrato de potássio no pré-florescimento**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, p.1-124, 2018.

BAZALUK, O.; HAVRYSH, V.; NITSENKO, V. Energy assessment of sorghum cultivation in southern Ukraine. **Agriculture**, Basel, v. 11, n. 1, article 695, p. 1-22, 2021.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2. ed. Jaboticabal: Fundação Nacional de Ensino e Pesquisa, 2003.

BORREGO, F. Z.; GONZÁLEZ, A. R.; REYNA, V. P. A.; CARRILLO, M. G.; MORENO, V. M. R.; RANGEL, P. P. Efecto de diferentes niveles de evapotranspiración sobre área foliar, temperatura superficial, potencial hídrico y rendimiento en sorgo forrajero. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 39, n. 1, p. 1-14, 2021.

BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; SCHOLZ, F. G.; FRANCO, A. C.; BUSTAMANTE, M. Functional convergence in hydraulic architecture and water relations of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. **Tree Physiology**, Victoria, v. 24, n. 8, p. 891-899, 2004.

CALONE, R.; SANOUBAR, R.; LAMBERTINI, C.; SPERANZA, M.; ANTISARI, L. V.; VIANELLO, G.; BARBANTI, L. Salt tolerance and Na allocation in *Sorghum bicolor* under

variable soil and water salinity. **Plants**, Basel, v. 9, n. 1, p. 1-20, 2020.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; BICUDO, S. J.; ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MACHADO, C. G. Nutrição do milho e da *Brachiaria decumbens* cultivado em consórcio em diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 5, p. 733-739, 2008.

CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; SOUSA, A. E. C.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; VIDAL, V. M. Yield of sugarcane submitted to nitrogen fertilization and water depths by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 9, p. 841-846, 2016.

DOURADO, P. R. M.; SOUZA, E. R.; SANTOS, M. A. D.; LINS, C. M. T.; MONTEIRO, D. R.; PAULINO, M. K. S. S.; SCHAFFER, B. Stomatal Regulation and Osmotic Adjustment in Sorghum in Response to Salinity. **Agriculture**, Basel, v. 12, n. 5, article 658, p. 1-12, 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar 5.3: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, E. **Ajustamento osmótico e análise de crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.), em função do nível de potássio e estresse hídrico**. 1966. Tese (Doutorado em Botânica) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, p.1-100, 1996.

GHAFFAR, A.; EHSANULLAH; AKBAR, N.; KHAN, S. H.; JABRAN, K.; HASHMI, R. Q.; IQBAL, A.; ALI, M. A. Effect of trench spacing and micronutrients on growth and yield of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Australian Journal of**

**Crop Science**, Kenmore, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2012.

GÍRIO, L. A. S.; DIAS, F. L. F.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S.; SCHULTZ, N.; BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A. Bactérias promotoras de crescimento e adubação nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 1, p. 33-43, jan. 2015.

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; ARAUJO, G. G. L.; SILVA, Ê. F. F.; WILLADINO, L. G. Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 4, p. 285-290, 2019.

JORDAN, R. A.; ALMEIDA, A.; QUEIROZ, M. V.; GOMES, E. P.; REZENDE, R. K. Energy balance of irrigated and rainfed sorghum production. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 37, n. 5, p. 907-917, 2017.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LACERDA, M. J. R.; FREITAS, K. R.; SILVA, J. W. Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de microondas e convencional. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 185-190, 2009.

LESSA, B. F. T.; SILVA, T. M.; DUTRA, A. S.; OLIVEIRA, A. B. Modelos matemáticos para a estimativa da área foliar total em sorgo sacarino. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 33, n. 2, p. 175-182, 2018.

LIMA, N. R. C. B.; SANTOS, P. M.; MENDONÇA, F. C.; ARAÚJO, L. C.

- Critical periods of sorghum and palisadegrass in intercropped cultivation for climatic risk zoning. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 40, n. 1, p. 1452-1457, 2011.
- MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. *In*: FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU: EDUSP, 1979. v. 1, p. 331-350.
- MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; VIANA, J. H. M. **Resposta fisiológica do sorgo ao estresse hídrico em casa de vegetação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. (Comunicado técnico, 87).
- MANFRON, P. A.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A. R.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; MEDEIROS, S. L. P.; PILAU, F. G. Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 333-342, 2003.
- MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar**: uma introdução ao procedimento prático. 1. ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 1-31, 2012.
- MASOJIDEK, J.; TRIVEDI, S.; HALSHAW, L.; ALEXIOU, A.; HALL, D. O. The synergetic effect of drought and light stress in sorghum and pearl millet. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 96, n. 1, p. 198-207, 1991.
- MATOS, F. S.; BASÍLIO, A. A. G.; FURTADO, B. N.; GRATÃO, M. S.; BORGES, L. P.; AMORIM, V. A. Establishment of *Sorghum bicolor* L. plants under different water regimes. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 10, n. 1, p. 122-131, 2021.
- MENDOZA-GRIMÓN, V.; AMORÓS, R.; FERNÁNDEZ-VERA, J. R.; HERNÁNDEZ MORENO, J. M.; PALACIOS-DÍAZ, M. D. P. Effect of Different Water Quality on the Nutritive Value and Chemical Composition of Sorghum bicolor Payenne in Cape Verde. **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 6, article 1091, p. 1-11, 2021.
- MUBARIK, M. K.; HUSSAIN, K.; ABBAS, G.; ALTAF, M. T.; BALOCH, F. S.; AHMAD, S. Productivity of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) at diverse irrigation regimes and sowing dates in semi-arid and arid environment. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Amesterdã, v. 46, n. 1, p. 1-18, 2022.
- NEGRI, B. F.; HUFNAGEL, B. M.; BERNARDINO, K. C.; PASTINA, M. M.; MAGALHÃES, J. V.; SOUSA, S. M. **Caracterização morfológica do sistema radicular de linhagens endogâmicas recombinantes de sorgo sob baixo nível de fósforo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 98).
- NIKOLAOU, G.; NEOCLEOUS, D.; CHRISTOU, A.; KITTA, E.; KATSOULAS, N. Implementing Sustainable Irrigation in Water-Scarce Regions under the Impact of Climate Change. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 8, article 1120, p. 1-33, 2020.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. *In*: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, DF: Embrapa: SEA, 1991. p. 189-253.

- OLIVEIRA, A. B.; GOMES FILHO, E. Germinação e vigor de sementes de sorgo forrageiro sob estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 48-56, 2009.
- OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JÚNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.951-960, 2010.
- OLIVEIRA, R. M. D. E.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, K. M. J.; PORTUGAL, A. F.; SILVA, A. F.; CARVALHO, A. J. Interferência de plantas daninhas em sorgo sacarino em diferentes espaçamentos no semiárido mineiro rena. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 15, n. 3, p. 481-489, 2016.
- ORESCA, D.; OLIVEIRA, A. C.; SILVA, T. G. F.; PESSOA, L. G. M.; SOUZA, J. C. G.; MACIEL, L. H. Agronomic performance of forage sorghum and millet grown under irrigation with saline water and nitrogen doses in the Brazilian semi-arid. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 10, p. e359101018976, 2021.
- PALACIOS-DIAZ, M. D. P.; FERNÁNDEZ-VERA, J. R.; HERNÁNDEZ-MORENO, J. M.; AMORÓS, R.; MENDOZA-GRIMÓN, V. Effect of Irrigation Management and Water Quality on Soil and *Sorghum bicolor* Payenne Yield in Cape Verde. **Agriculture**, Basel, v. 13, n. 1, article 192, p. 1-18, 2023.
- POVH, J. A. **Efeitos de reguladores vegetais no desenvolvimento de plantas de *Salvia officinalis* L. e na produção de óleo essencial**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, p. 1-100, 2004.
- QUADROS, P. D.; ROESCH, L. F. W.; SILVA, P. R. F.; VIEIRA, V. M.; ROEHRS, D. D.; CAMARGO, F. A. O. Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 209-218, 2014.
- RAKGOTHO, T.; NDOU, N.; MULAUDZI, T.; IWUOHA, E. C.; MAYEDWA, N.; AJAYI, R. F. Green synthesized zinc oxide nanoparticles mitigate salt stress in *Sorghum bicolor*. **Agriculture**, Basel, v. 12, n. 5, article 597, p. 1-16, 2022.
- RODRIGUES, J. A. S. **Sistema de produção do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 2010. v. 2, n. 9.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.
- SHIGAKI, F.; FREITAS, N.; BERTO, A.; CEDDIA, M. B.; ZONTA, E.; LIMA, E. Influência do estresse hídrico nos parâmetros de crescimento, acúmulo de N e produtividade de diferentes variedades de cana-de-açúcar em Miracema – RJ. **Revista Universitária Rural: Série Ciências da Vida**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 63-71, 2004.
- SILVA, A. G.; BARROS, A. S.; SILVA, L. H. C. P.; MORAES, E. B.; PIRES, R.; TEIXEIRA, I. R. Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 1, p. 168-174, 2009.

- SILVA, J. C.; SILVA, R. F.; SANTOS, V. M.; GIOVENARDI, A. R.; SILVA, D. M.; CANEPILLE, E.; SILVA, A. P. Plant growth-promoting bacteria in sorghum development in copper-contaminated soil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 59, p. e1660-1669, 2024.
- SILVA, N. F. **Otimização de fontes e doses de nitrogênio (15N) na cana-de-açúcar irrigada no cerrado**. 2017. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciências Agrárias) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, p. 1-114, 2017.
- SOUSA, P. G. R.; VIANA, T. V. A.; CARVALHO, C. M.; SOUSA, J. P. F.; CAMPOS, K. C.; AZEVEDO, B. M. Economic analysis of different irrigation depths in forage sorghum crops. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 19, n. 1, p. 1-12, 2020.
- SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J. Auxin and plant-microbe interactions auxin and plant-microbe interactions. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, Long Island, v. 7, n. 3, p. 1-13, 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- VALE, F. X. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; LIBERATO, J. R. **Quantificação de doenças** – Software Quant. versão 1.0.1. Viçosa: UFV, 2001.
- VAN OOSTEN, M. J.; PEPE, O.; PESCALE, S.; SILLETTI, S.; MAGGIO, A. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Amesterdã, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2017.