

## Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos

Santos, G.C.L.<sup>®</sup>; Garcia, P.H.M.; Viana, T.B.L.; Borges, P.F.; Araujo, L.S. e Gonzaga Neto, S.

Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia/PB. Brasil.

### RESUMO

A avaliação do crescimento permite melhorar a compreensão da resposta da planta as condições de estresse. Objetivou-se avaliar a resposta do crescimento, acúmulo de biomassa e da eficiência do uso da água do sorgo a diferentes regimes hídricos continuados com água salina. O experimento foi conduzido em Serra Talhada, Pernambuco, Brasil. O sorgo, cv. Sudão IPA 4202, foi semeado em vasos em um viveiro. As plantas foram dispostas em delineamento inteiramente ao acaso submetidas a quatro regimes hídricos durante todo o ciclo com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) (125%, 100%, 75% e 50%.ET<sub>0</sub>), com 32 repetições. Ao longo do tempo foram coletados dados de biometria, biomassa de forragem e consumo de água da cultura. A planta foi fracionada e seus componentes foram mensurados. Os índices morfofisiológicos foram obtidos. Não houve efeito de regime hídrico na maioria das variáveis de crescimento, acúmulo e partição de matéria seca. A eficiência do uso da água foi mantida, mesmo com a redução no consumo de água pela cultura. As mudanças no aparecimento e na senescência foliar não alteraram os índices morfofisiológicos, sugerindo manutenção da taxa fotossintética da cultura nas distintas disponibilidades de água. Conclui-se que, o sorgo, cv. Sudão IPA 4202, possui alta adaptação a ambientes de cultivo com ampla variação de regime hídrico, recomendando-se lâmina de 50%.ET<sub>0</sub>.

### Growth and efficiency of sorghum water use under different continuous water regimes. Water stress in sorghum crop

### SUMMARY

Growth assessment improves the understanding of the plant's response to stress conditions. In this study, we aimed to evaluate the response of growth, biomass accumulation and the efficiency of sorghum water use to different continued saline water regimes. The experiment was carried out in municipality of Serra Talhada, Pernambuco, Brazil. The sorghum, cv. Sudan IPA 4202, was sown in pots in a nursery. The plants were laid out in completely randomized design submitted to four water regimes during the entire cycle based on reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) (125%, 100%, 75% and 50%.ET<sub>0</sub>), with 32 repetitions. Over time, data on biometrics, forage biomass and, crop water consumption were collected. The plant was fractionated and its components were measured. Morphophysiological indices were obtained. There was no effect of water regime in most variables of growth, and in the accumulated and dry matter partition. The water use efficiency was maintained, even with the reduction in crop water consumption. Changes in leaf appearance and senescence did not alter the morphophysiological indexes, suggesting maintenance of the photosynthetic rate of the crop in the different water availability. It is concluded that the sorghum, cv. Sudan IPA 4202, has high adaptation to crop environments with wide variation of water regime, recommending water depth of 50%.ET<sub>0</sub>.

### PALAVRAS CHAVE ADICIONAIS

Filocrono.  
Índices morfofisiológicos.  
Lâminas de irrigação.  
*Sorghum* sp.  
Taxas de crescimento.

### ADDITIONAL KEYWORDS

Phyllochron.  
Morphophysiological indices.  
Irrigation blades.  
*Sorghum* sp.  
Growth rates.

### INFORMATION

Cronología del artículo.  
Recibido/Received: 08.07.2019  
Aceptado/Accepted: 26.12.2019  
On-line: 15.04.2020  
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:  
[girlnecardeiros@gmail.com](mailto:girlnecardeiros@gmail.com)

### INTRODUÇÃO

A demanda de alimentos aumentará até 2050 em consequência do incremento da população mundial, que implicará na necessidade de maior produção de alimentos. Por outro lado, o cenário atual brasileiro mostra redução das áreas agropecuárias, por causa do

mau uso da terra e, problemas relacionados ao clima e solo, que afetam o rendimento agrícola (Saath e Fachinello, 2018).

Para atender essa demanda, no Semiárido brasileiro algumas culturas têm ganhado destaque, i.e., o sorgo que é bastante usado na alimentação animal em substi-

tuição ao milho. É uma espécie de alta adaptabilidade às condições de estresses abióticos; possui elevada produção de biomassa; além de ser mais resistente a doenças e tolerante ao déficit hídrico quando comparado ao milho (Tardin et al., 2013).

Em regiões áridas e semiáridas é muito comum o estresse hídrico-salino limitar a produção das culturas. Todavia, a demanda por água para irrigação leva os produtores a utilizar fontes hídricas disponíveis na região, que na maioria das vezes possui diferentes níveis de salinidade (Costa et al., 2015). Logo é imprescindível a condução de pesquisas sobre o uso de águas salinas como alternativa a irrigação de forrageiras do Semiárido brasileiro, com vistas à criação de estratégias de uma produção sustentável.

O sorgo possui características fisiológicas que permitem interromper o crescimento ou limitar as suas atividades metabólicas sob escassez hídrica (Bell et al., 2015; Guimarães et al., 2019). Por outro lado, as plantas sujeitas ao excesso hídrico possuem sua condutância estomática afetada e diminui as taxas de fotossíntese e de crescimento, ocasionando em queda da produção da parte aérea e de raízes. Todavia a resposta ao déficit e ao excesso varia conforme o nível de estresse (Guimarães et al., 2016).

A avaliação do crescimento permite melhorar a compreensão da resposta da planta as condições de estresse. Nesta análise se considera que toda a matéria reunida ao longo do ciclo da planta resulta da atividade fotossintética. Assim, a concentração da matéria seca (MS) e o aumento da área foliar calculado em função do tempo são utilizados na estimativa de índices morfofisiológicos (Pinto et al., 2016; Santos et al., 2013). As taxas de crescimento absoluto e relativo, taxa de assimilação líquida, área foliar específica, razão de área foliar e razão de massa foliar são os mais comuns (Benincasa, 2003; Lima et al., 2007).

Além dos efeitos sobre a dinâmica de crescimento das culturas, o déficit hídrico afeta o consumo de água pela cultura e, logo, a sua eficiência no uso da água (Hadebe et al., 2017). Bell et al. (2015) citam que o sorgo possui bom rendimento produtivo, mesmo sob condições de déficit hídrico, por causa da sua capacidade de manter a eficiência do uso da água.

Objetivou-se avaliar a resposta do crescimento, acúmulo de biomassa e da eficiência do uso da água do sorgo a diferentes regimes hídricos continuados com água salina.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vaso dentro de um viveiro com sombrite de 50% de retenção da radiação solar, no período de 25/05/2017 a 11/07/2017 na Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, no município de Serra Talhada, estado de Pernambuco, Brasil. O clima da região é semiárido, do tipo BSh (Alvares et al., 2013), com precipitação pluviométrica de 642 mm ano<sup>-1</sup> concentrada entre os meses de janeiro e abril e evapotranspiração de referência de 1890 mm ano<sup>-1</sup>, com maiores magnitudes ocorrendo durante a estação do ano da primavera.

Cinco sementes do sorgo, cv. Sudão IPA 4202, foram semeadas em vasos de polietileno de 0,30 x 0,25 m com capacidade de 7,2 kg de solo. No fundo dos vasos foi feito um orifício e inserido conexão de tipo PVC, para facilitar a drenagem, sobreposta por uma manta de poliéster e 0,02 m de camada de brita nº1, para evitar perda de solo.

O solo usado como substrato, tipo cambissolo, foi coletado da camada de 0,0 a 0,3 m de profundidade, peneirado com malha de 4 mm, com as propriedades: pH = 6,1; Al<sup>3+</sup> = 0,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> = 4,79 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> = 1,27 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Na<sup>+</sup> = 0,67 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> = 1,26 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P = 211 mg dm<sup>-3</sup>; C = 3,18 g kg<sup>-1</sup>; M.O. = 6,2 g kg<sup>-1</sup>.

Antes de ser inserido nos vasos, o solo foi misturado a esterco caprino, de modo a obter a proporção de 3:1 (solo:esterco). Adubação de cobertura, equivalente a 60 kg ha<sup>-1</sup> do formulado NPK 10:10:10, foi feita. Aos 14 dias após a semeadura plantio (DAS), manteve-se apenas uma planta por vaso.

As plantas foram dispostas em delineamento inteiramente ao acaso, espaçadas em 0,50 m entre si, submetidas a quatro regimes hídricos com base na fração da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) (125%, 100%, 75% e 50% da evapotranspiração de referência), com 32 repetições.

A ET<sub>0</sub> foi calculada por meio do método de Penman Monteith (Allen et al., 1998) e com dados coletados de uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia a 40 m do viveiro.

Os eventos de irrigação foram realizados manualmente em intervalos de dois dias com água de condutividade elétrica média de 1,35 dS m<sup>-1</sup>. Todas as plantas receberam o mesmo volume de água até os primeiros 14 DAS (100%.ET<sub>0</sub>), a partir de quando se iniciou os tratamentos.

A diferenciação entre as lâminas foi feita até aos 48 dias, quando o experimento foi finalizado, conforme recomendação do Instituto Agrônomo de Pernambuco, que sugere cortes do sorgo cv. Sudão em intervalos de 40 a 50 dias.

Ao longo do tempo (17, 25, 31, 36, 41 e 48 dias após a semeadura), quatro plantas por tratamento foram amostradas para coleta de dados de biometria e biomassa seca. Inicialmente foram registrados os valores da altura (AP, cm), altura do colmo e largura do dossel (LD, cm), número de folhas emergentes (NFE, unidades planta<sup>-1</sup>), completamente expandidas (NFCE, unidades planta<sup>-1</sup>) e mortas (NFM, unidades planta<sup>-1</sup>), comprimento foliar (CF, cm) e largura foliar (LF, cm), diâmetro do colmo (DC, mm) e número de perfilhos (NP, unidades planta<sup>-1</sup>). Com os dados de CF, LF, número total de folhas por planta (NTFP, somatório do NFCE ao longo do tempo) e espaçamento entre plantas foi obtido o índice de área foliar (IAF, m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>).

A planta foi fracionada em folhas vivas (FV), folhas mortas (FM), colmo (C) e raiz (R), e esses componentes estruturais foram pesados com auxílio de balança de precisão para obtenção da biomassa de forragem verde (BFV), ou seja, BFVfV, BFVfM, BFVC e BFVR, e

a partir destes componentes: a biomassa de forragem verde total (BFVT=BFVfV+BFVfM+BFVc+BFVr) e a biomassa de forragem verde da parte aérea (BFVPA=BFVfV+BFVfM+BFVc).

As mesmas foram acondicionadas em sacos de papel e conduzidas à estufa de ventilação forçada a 65°C por 48 h de secagem, até obter a massa seca (MS). Com isso, adquiriu-se a biomassa de forragem seca (BFS), ou seja, BFSfV, BFSfM, BFSfC e BFSfR, e a partir destes componentes: a biomassa de forragem seca total (BFST=BFSfV+BFSfM+BFSfC+BFSfR) e a biomassa de forragem seca da parte aérea (BFSPA=BFVfV+BFVfM+BFVc).

Ainda, calculou-se o conteúdo de matéria seca por componente estrutural e total da planta (CMSfV, CMSfM, CMSfC, CMSfR e CMSfTP), o conteúdo total de água na planta (CTAP), a partição de massa seca (pMSfV, pMSfM, pMSfC e pMSfR) e a razão MSTP/MSR.

O modelo sigmoide de três parâmetros foi ajustado aos dados de NTFP, NFM, MSTP, MSfV e IAF, usando como variável independente os graus dias acumulados (GDA). O GDA foi estimado a partir do somatório dos graus dia diário (GD) calculado por:

$$GD = t_{\text{média}} - tb$$

em que,  $tb$  - temperatura base inferior (igual a 10°C).

A partir da derivada do modelo sigmoide e dos parâmetros ajustados para cada variável (NTFP, NFM, MSTP, MSfV e IAF), calculou-se: taxa de aparecimento foliar (TAPF, folhas °Cdia<sup>-1</sup>) e taxa de senescência foliar (TSF, folha °Cdia<sup>-1</sup>); e, os índices morfológicos. Estes índices foram expressos por: taxa de crescimento absoluto (TCA, g m<sup>-2</sup> °Cdia<sup>-1</sup>), taxa de crescimento relativo (TCR, g g<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>), taxa de assimilação líquida (TAL, g m<sup>-2</sup> °Cdia<sup>-1</sup>), área foliar específica (AFE, m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), razão de área foliar (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) e razão de massa foliar (g g<sup>-1</sup>) (Benincasa, 2003).

O efeito do déficit hídrico no desenvolvimento da cultura foi avaliado por meio do atraso (em tempo térmico) para a emissão e a senescência foliar, por meio do cálculo do filocrono (FIL, 1/TAFP e 1/TSF, ambos em °Cdia folha<sup>-1</sup>).

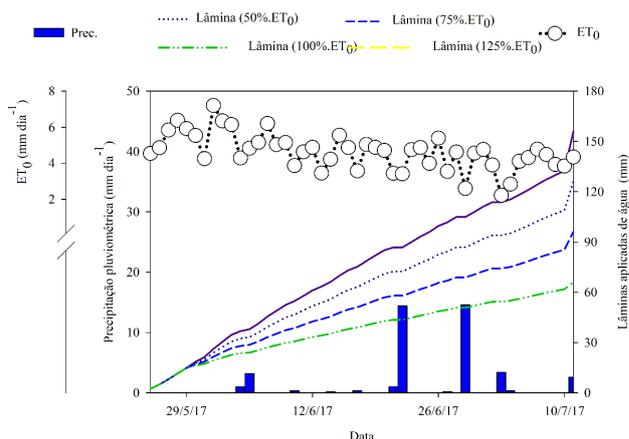
O consumo hídrico de plantas foi obtido a partir do resíduo do balanço de água no vaso. Para isto, a pesagem dos vasos, antes e após a realização da irrigação, foi conduzida, e os componentes a seguir foram mensurados: precipitação pluviométrica, irrigação e drenagem profunda (a partir da inserção de recipientes abaixo dos vasos). A eficiência do uso da água foi obtida pela razão entre a BFST e a lâmina de água consumida pela cultura ao longo do ciclo.

Os dados de crescimento, biomassa e suas partições, conteúdo de matéria seca, consumo acumulado de água e a eficiência do uso da água, aos 48 dias, e os valores máximos dos índices morfológicos ao longo de todo o ciclo foram submetidos ao teste de normalidade e homocedasticidade. Sob normalidade dos

resíduos e variâncias homogêneas, aplicou-se a análise de variância e, quando necessário, teste de Tukey a 5%.

## RESULTADOS

Ao longo do tempo, as lâminas de irrigação aplicadas ao sorgo totalizaram 86, 110, 134 e 157 mm durante os 48 dias de ciclo (**Figura 1**), resultando, em média, lâminas diárias de 3,3, 2,8, 2,3 e 1,8 mm, nesta ordem, entre os regimes de 150%.ET<sub>0</sub> a 50%.ET<sub>0</sub>. Neste período, a precipitação acumulada totalizou 42 mm, enquanto a evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi decrescente



**Figura 1.** Precipitação pluviométrica diária, evapotranspiração de referência diária e lâminas de água acumuladas ao longo do ciclo do sorgo, cv. Sudão IPA 4202, cultivado em vaso sob diferentes regimes hídricos continuados, em Serra Talhada, PE, semiárido brasileiro (Daily rainfall, daily reference evapotranspiration and water depth accumulated over the sorghum cycle, cv. Sudan IPA 4202, cultivated in a pot under different continued water regimes, in Serra Talhada, PE, Brazilian semi-arid region).

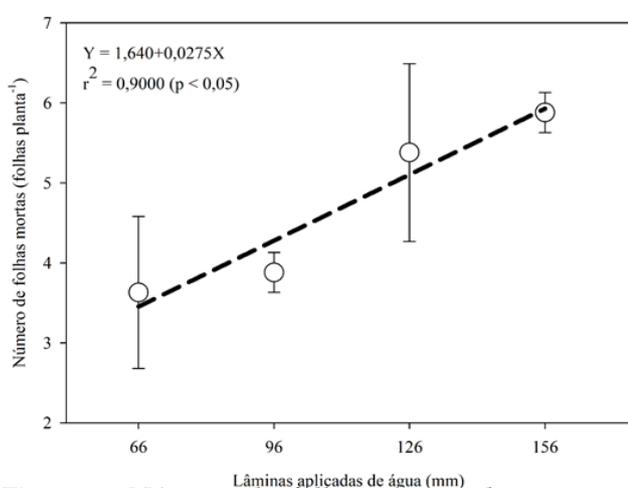
ao longo do período experimental, uma vez que foi conduzido ao longo do outono e início do inverno.

A maioria das variáveis de crescimento do sorgo não foi afetada pelos regimes hídricos continuados ao longo do ciclo ( $p > 0,05$ ) (**Tabela I**). A única variável de crescimento afetada foi o NFM, que foi crescente com o aumento da lâmina de água aplicada ao sorgo (**Figura 2**), com magnitudes variando de 3,67 a 5,88 folhas planta<sup>-1</sup> entre os regimes 50%.ET<sub>0</sub>, 75%.ET<sub>0</sub>, 100%.ET<sub>0</sub> e 125%.ET<sub>0</sub> (66, 96, 126 e 156 mm). As matérias verde e seca, CMS e de CTAP, partições de matéria seca e valores máximos dos índices morfológicos também não foram influenciados pela lâmina aplicada à cultura (**Tabela II**). De toda MSTP (13,87 g planta<sup>-1</sup>), o maior investimento de fotoassimilados foi feito para a raiz (4,81 g planta<sup>-1</sup>), seguida das folhas (4,65 + 0,33 = 4,98 g planta<sup>-1</sup>) e colmo (4,07 g planta<sup>-1</sup>). Contudo é possível verificar a contribuição do colmo no acúmulo de água pela planta, que foi de 72,29 g planta<sup>-1</sup> (CTAP). Percebe-se para esta estrutura, que o conteúdo de matéria seca foi menor (0,11 g g<sup>-1</sup>) quando comparado às

**Tabela I. Crescimento do sorgo, cv. Sudão IPA 4202, aos 48 dias, cultivado em vaso sob diferentes regimes hídricos continuados, em Serra Talhada, PE, semiárido brasileiro** (Growth of sorghum, cv. Sudan IPA 4202, at 48 days, cultivated in a pot under different continued water regimes, in Serra Talhada, PE, Brazilian semi-arid region).

	NFCE	NFE	CF	LF	AP	AC	LD	DC	NP	AF	IAF
Tratamentos	unid.	unid.	cm	cm	cm	cm	cm	mm	unid.	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup> cm <sup>-2</sup>
125%.ET <sub>0</sub>	2,50	3,63	69,49	4,00	92,96	42,66	67,13	12,53	2,13	158,80	0,56
100%.ET <sub>0</sub>	2,00	4,00	59,69	3,48	93,60	38,46	64,78	12,29	2,25	118,34	0,34
75%.ET <sub>0</sub>	2,50	4,00	62,50	3,56	94,51	41,81	69,81	11,92	2,38	127,60	0,46
50%.ET <sub>0</sub>	2,88	2,63	64,79	3,91	94,06	50,71	71,59	11,98	2,00	145,68	0,59
Média	2,47	3,56	64,12	3,74	93,40	43,17	67,60	12,26	2,18	135,96	0,49
CV (%)	23	23	9	14	7	20	12	10	21	22	39

Observação: não houve efeito dos regimes hídricos sobre todas as variáveis avaliadas, conforme teste de Tukey ao nível de 5% de significância ( $p > 0,05$ ). NFCE = número de folhas completamente expandidas, NFE = número de folhas emergentes, CF e LF = comprimento de largura foliar, AP = altura da planta, AC = altura do colmo, LD = largura do dossel, DC = diâmetro do caule, número de perflhos, AF = área foliar e IAF = índice de área foliar. CV = coeficiente de variação.



**Figura 2. Número de folhas mortas do sorgo, cv. Sudão IPA 4202, aos 48 dias, cultivado em vaso sob diferentes regimes hídricos continuados, em Serra Talhada, PE, semiárido brasileiro** (Number of dead sorghum leaves, cv. Sudan IPA 4202, at 48 days, cultivated in a pot under different continued water regimes, in Serra Talhada, PE, Brazilian semi-arid).

demais partes da planta. A capacidade máxima e velocidade de acúmulo de matéria seca do sorgo, ou seja, as suas TCA e TCR embora não tenham sido afetadas pelos regimes hídricos exibiram magnitudes médias de 45,800 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> e 0,0195 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Com um IAF de 0,49 cm<sup>2</sup> cm<sup>-2</sup> (Tabela I), a TAL (fotossíntese líquida) foi de 12,1560 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Estes resultados estiveram atrelados à habilidade da cultura absorver a radiação fotossinteticamente ativa conforme a sua espessura foliar, i.e., a AFE, que foi de 0,0107 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, a capacidade de conversão dos recursos naturais água, nutrientes e radiação em fotoassimilados (RAF = 0,0077 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>), que depende da massa foliar destinada às folhas (RMF = 0,8423 g g<sup>-1</sup>). A RMF é o mesmo dado da pMSFM, porém esta, no presente estudo, refere-se a partição aos 48 dias (final do ciclo), enquanto, a RMF indica o máximo valor atingido ao longo do ciclo da cultura.

O regime hídrico foi determinante nas taxas morfológicas de aparecimento e de senescência foliar (Figura 3). A menor magnitude do aparecimento foliar (Figura 3A) foi verificado no regime de 50%.ET<sub>0</sub> (0,0185 folhas °Cdia<sup>-1</sup>), ao passo que nas demais condições (75.ET<sub>0</sub>, 100.ET<sub>0</sub> e 125.ET<sub>0</sub>) não houve diferença entre si. Nestes

regimes foram detectadas as maiores senescência foliar (Figura 3B) em decorrência do maior surgimento de folhas ao longo do tempo. O NTFP por regime hídrico variou de 9,5 a 13,75 folhas planta<sup>-1</sup> entre a condição de 50%.ET<sub>0</sub> e 125%.ET<sub>0</sub>. Os inversos das TAPF e TSF indicam o filocrono de surgimento e mortalidade das folhas, que refletem as quantidades necessárias de energia térmica ao desenvolvimento foliar. Assim, percebeu-se que na condição de menor disponibilidade há necessidade de maior acúmulo de energia para a emissão de uma nova folha pela planta (53,9 °Cdia folhas<sup>-1</sup>). Nos outros regimes, o filocrono médio foi de 28,2 °Cdia folhas<sup>-1</sup>.

O aumento do suprimento de água para o sorgo também afetou o consumo de água da planta ( $p < 0,05$ ), variando de 49 mm a 40 mm durante os 48 dias de ciclo da cultura (Figura 4A), entre os regimes hídricos de 50%.ET<sub>0</sub> e 125%.ET<sub>0</sub>. Todavia, não foi observado efeito na eficiência do uso de água pela cultura, com média de 0,30 g planta<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (Figura 4B).

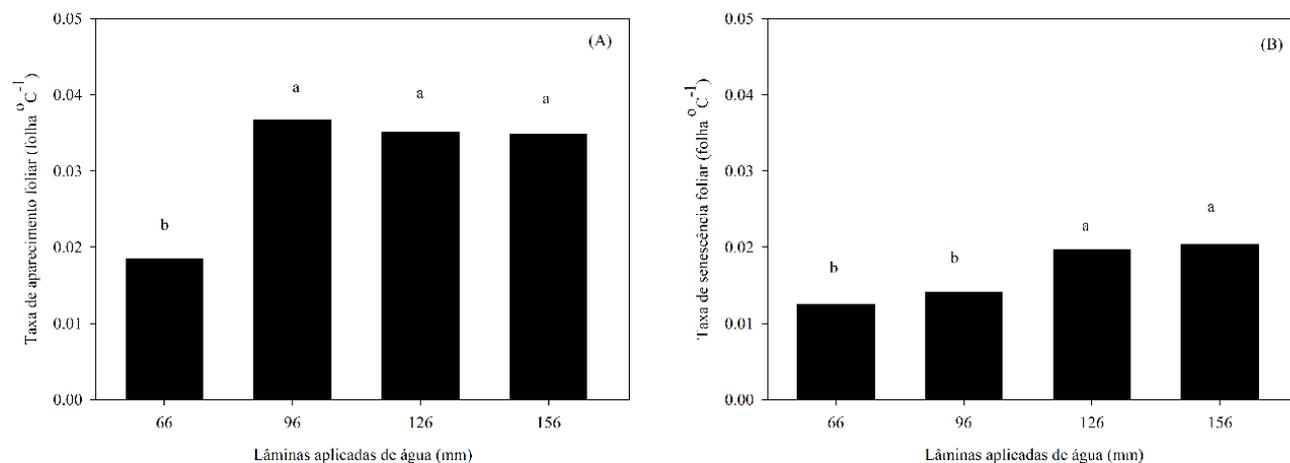
## DISCUSSÃO

O sorgo é uma importante cultura, que permite a substituição parcial do milho na alimentação animal, especialmente, no Semiárido brasileiro. Todavia, para superar a variabilidade espacial e sazonal das chuvas deste tipo de ambiente, o uso de irrigação com água salina é indispensável. Neste estudo, procurou-se melhorar a compreensão da resposta da cultura do sorgo submetida a diferentes regimes hídricos com água salina. Poucas variáveis de crescimento e de acúmulo de matéria seca do sorgo foram afetadas pelos distintos regimes hídricos (Tabelas I e II). Este resultado pode estar associado à alta tolerância do sorgo à seca e ao excesso de água combinados ao estresse salino (Guimarães et al., 2016; Guimarães et al., 2019). Nestas condições, o sorgo limita as suas atividades metabólicas (Bell et al., 2015). As plantas sujeitas ao déficit hídrico-salino fecham os estômatos, inibem a absorção de nutrientes e reduzem a eficiência do aparato fotossintético (Santos et al., 2013). Sob excesso de água, a planta possui a condutância estomática afetada e diminui as taxas de fotossíntese e de crescimento, ocasionando a queda da produção de biomassa da parte aérea e de raízes (Guimarães et al., 2016).

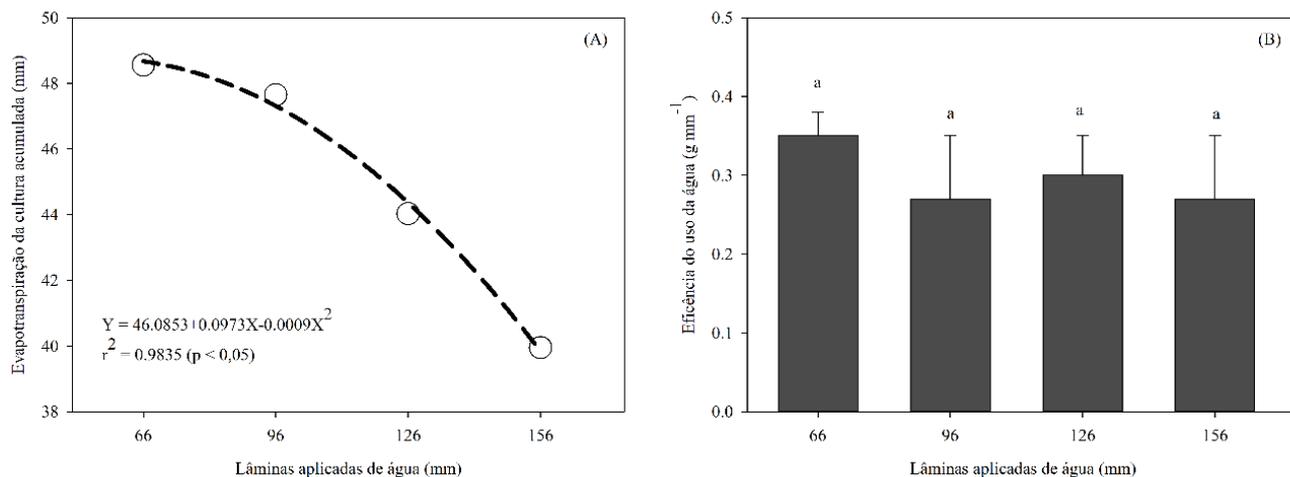
**Tabela II. Biomassa de forragem verde e seca, conteúdo de matéria seca e de água, partições e valores máximos dos índices morfofisiológicos do sorgo, cv. Sudão IPA 4202, aos 48 dias, cultivado em vaso sob diferentes regimes hídricos continuados, em Serra Talhada, PE, Semiárido brasileiro** (Green and dry fodder biomass, dry matter and water content, partitions and maximum values of the morphophysiological indexes of sorghum, cv. Sudan IPA 4202, at 48 days, cultivated in pots under different continuous water regimes, in Serra Talhada, PE, Brazilian semi-arid) .

	BFVT	BFVPA	BFVfV	BFVfM	BFVC	BFVR
Tratamentos	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>
125%.ET <sub>0</sub>	72,8	55,6	22,4	0,7	32,5	17,2
100%.ET <sub>0</sub>	79,2	58,1	23,0	1,3	33,9	21,0
75%.ET <sub>0</sub>	74,0	50,1	20,8	1,5	27,8	24,0
50%.ET <sub>0</sub>	115,6	82,9	31,9	1,2	49,7	32,7
Média	86,45	61,89	24,44	1,24	36,20	24,57
CV (%)	29	31	26	56	36	35
	BFST	BFSPA	BFSfV	BFSfM	BSVC	BSVR
Tratamentos	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>	g planta <sup>-1</sup>
125%.ET <sub>0</sub>	11,0	7,5	4,0	0,3	3,2	3,5
100%.ET <sub>0</sub>	13,1	8,8	4,6	0,3	4,0	4,3
75%.ET <sub>0</sub>	13,0	8,1	4,1	0,4	3,6	4,9
50%.ET <sub>0</sub>	16,8	11,2	5,9	0,3	5,1	5,5
Média	13,87	9,05	4,65	0,33	4,07	4,81
CV (%)	29	28	25	62	35	37
	CMSP	CMSPA	CMSfCE	CMSfM	CMSC	CMSR
Tratamentos	g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>
125%.ET <sub>0</sub>	0,15	0,13	0,18	0,42	0,10	0,20
100%.ET <sub>0</sub>	0,17	0,15	0,20	0,27	0,12	0,20
75%.ET <sub>0</sub>	0,17	0,16	0,20	0,29	0,13	0,20
50%.ET <sub>0</sub>	0,15	0,14	0,19	0,29	0,10	0,17
Média	0,16	0,15	0,19	0,32	0,11	0,20
CV (%)	14	13	13	52	18	14
	CTAP	pMSFCE	pMSfM	pMSC	pMSR	MSTP/MSR
Tratamentos		g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>
125%.ET <sub>0</sub>	98,84	0,35	0,01	0,30	0,33	2,05
100%.ET <sub>0</sub>	61,05	0,33	0,03	0,27	0,37	1,70
75%.ET <sub>0</sub>	66,06	0,35	0,02	0,30	0,32	2,18
50%.ET <sub>0</sub>	61,89	0,38	0,02	0,28	0,31	2,24
Média	72,29	0,34	0,02	0,29	0,35	1,95
CV(%)	28	17	49	12	14	23
	TCA	TCR	TAL	AFE	RAF	RMF
Tratamentos	g m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	g m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	g g <sup>-1</sup>
125%.ET <sub>0</sub>	4,8638	0,0200	10,3603	0,0116	0,0079	0,7848
100%.ET <sub>0</sub>	4,4532	0,0193	12,1230	0,0064	0,0043	0,8836
75%.ET <sub>0</sub>	4,2600	0,0196	9,2876	0,0163	0,0125	0,8749
50%.ET <sub>0</sub>	4,7429	0,0192	16,8530	0,0083	0,0061	0,8258
Média	4,5800	0,0195	12,1560	0,0107	0,0077	0,8423
CV(%)	25	8	41	68	77	14

Observação: não houve efeito dos regimes hídricos sobre todas as variáveis avaliadas, conforme teste de Tukey ao nível de 5% de significância. BFVT, BFVPA, BFVfV, BFVfM, BFVC e BFVR = biomassa de forragem verde total, parte aérea, folhas vivas, folhas mortas, colmo e raiz; BFST, BFSPA, BFSfV, BFSfM, BFSC e BFSR = biomassa de forragem seca total, parte aérea, folhas vivas, folhas mortas, colmo e raiz; CMSTP, CMSTPS, CMSfCE, CMSC e CMSR = conteúdo de matéria seca total da planta, parte aérea, folhas completamente expandidas, caule e da raiz; CTAP = conteúdo total de água na planta, pMSfCE, pMSC e pMSR = partição de massa seca para as folhas completamente expandidas, caule e raiz, TCA e TCR = taxas de crescimento absoluto e relativo, TAL = taxa de assimilação líquida, AFE = área foliar específica, RAF = razão de área foliar e RMF = razão de massa foliar. CV = coeficiente de variação.



**Figura 3.** Taxa de aparecimento (A) e de senescência foliar (B) do sorgo, cv. Sudão IPA 4202, cultivado em vaso sob diferentes regimes hídricos continuados, em Serra Talhada, PE, semiárido brasileiro (Rate of appearance and foliar senescence of sorghum, cv. Sudan IPA 4202, cultivated in a pot under different continued water regimes, in Serra Talhada, PE, Brazilian semi-arid).



**Figura 4.** Evapotranspiração (A) e eficiência do uso da água (B) do sorgo, cv. Sudão IPA 4202, cultivado em vaso sob diferentes regimes hídricos continuados, em Serra Talhada, PE, semiárido brasileiro (Evapotranspiration and efficiency of sorghum water use, cv. Sudan IPA 4202, cultivated in a pot under different continued water regimes, in Serra Talhada, PE, Brazilian semi-arid region).

Como adaptação a uma condição de ambiente estressante, as plantas modificam a dinâmica de produção de fotoassimilados para estruturas estratégicas, i.e., as raízes ou intensificam a perda de área foliar transpirante (Maia Junior et al., 2013). Neste estudo, a ausência de efeitos dos regimes hídricos na partição de matéria seca e nos conteúdos de matéria seca e de água na planta (Tabela II) mostra a ampla faixa de adaptação do sorgo. Esta plasticidade da cultura está muito atrelada a índices fisiológicos envolvidos no crescimento, já que refletem a capacidade do vegetal em produzir e alocar a matéria orgânica aos órgãos, a qual depende da fotossíntese, respiração e translocação de fotoassimilados dos sítios de produção aos locais de uso ou armazenamento (Perrier et al., 2017). O regime hídrico inadequado inibe o crescimento das plantas ao reduzir a captação de água nas células em expansão, altera enzimaticamente as características da parede celular, ocasiona alterações no desenvolvimento das

plantas e da área foliar e, por consequência, no desempenho fotossintético da planta (Skirycz & Inzé, 2010).

O efeito dos regimes hídricos no desempenho fotossintético, neste estudo, foi avaliado para o sorgo por meio do cálculo de índices morfofisiológicos (Tabela II). Os resultados mostraram que a interposição de lâminas de água variando de 50%.ET<sub>0</sub> e 125%.ET<sub>0</sub> não foi capaz de modificar a produção e a utilização dos fotoassimilados pela cultura. A TCA máxima de 45,800 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> representa a habilidade de acúmulo de MS por unidade de área disponível (Benincasa, 2003). A TCR indica o incremento de MS da planta em relação à massa seca pré-existente, ou seja, a sua velocidade de crescimento (Benincasa, 2003; Maia Junior et al., 2013), a qual neste estudo o valor máximo foi de 0,0195 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, independentemente do regime hídrico (Tabela II). Este índice tende a decrescer com a idade da planta (Ntanos & Koutroubas, 2002). Segundo Oliveira et al. (2018), a habilidade de crescer rapidamente é

um importante mecanismo de adaptação das espécies vegetais, o que constitui um método para escapar de limitações ambientais. A TAL máxima foi de 12,1560 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (Tabela II), indicando a taxa de fotossíntese líquida ou a matéria seca produzida por unidade de área foliar disponível (Benincasa, 2003), o que comprova a eficiência das folhas em contornar estresses ambientais para a síntese de biomassa (Benincasa, 2003; Oliveira et al., 2018). A TAL reflete a plasticidade fisiológica das plantas (Pinto et al., 2016). A ocorrência do aumento do número de folhas e da área foliar provoca elevação da fotossíntese líquida; contudo ocorrendo algum tipo de limitação ambiental, os seus valores são rapidamente reduzidos. A AFE, por sua vez, relaciona a área da superfície da folha com a sua massa seca. A área foliar é um componente morfofisiológico e, a MS, um componente anatômico da planta, o que juntos refletem a composição interna das células do mesófilo (Benincasa, 2003). Neste estudo, a AFE máxima foi de 0,0107 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Tabela II). Benincasa (2003) citam que os valores de AFE, no início do desenvolvimento das plantas, podem ser superiores, demonstrando folhas pouco espessas, com pouca matéria seca e área foliar. Com o desenvolvimento da cultura há aumento de área foliar e matéria seca das folhas, ocasionando a diminuição da AFE. A RMF foi de 0,8423 g g<sup>-1</sup> (Tabela II), mostrando a fração de massa seca que não foi exportada para outras estruturas não foliares (Maia Junior et al., 2013). Este índice é maior no início do ciclo e decresce à medida que a planta se desenvolve, pois com a expansão das folhas superiores aumenta o sombreamento sobre as folhas inferiores, ocasionando diminuição da área foliar útil (Benincasa, 2003). A RAF máxima foi de 0,0077 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Tabela II), o que enfatiza a relação entre área foliar (responsável pela intercepção da energia luminosa e absorção do CO<sub>2</sub>) e a matéria seca total, resultando na fotossíntese bruta (Benincasa, 2003).

Neste estudo foi observado que o baixo regime hídrico afetou apenas o número de folhas mortas, as taxas de aparecimento e senescência foliar, e o consumo de água pela cultura (Figuras 2, 3A, 3B e 4A). Sob condição de déficit hídrico, estudos citam que a dinâmica foliar é o primeiro processo morfológico afetado, antes mesmo de processos fisiológicos como a fotossíntese e a divisão foliar (Magalhães et al., 2013; Perrier et al. 2017). O regime hídrico acima de 50%.ET<sub>0</sub> favoreceu o aparecimento de novas folhas, refletindo no menor tempo para a emissão de uma folha subsequente, ou seja, menor filocrono. A emissão foliar é favorecida até o momento em que a planta atinge sua máxima capacidade de suporte foliar e enquanto a senescência e morte das folhas não se inicia, como resultado do sombreamento das folhas superiores. Assim, como verificado no presente estudo, os regimes hídricos com maior emissão foliar, por consequente, atingiram taxas de senescência foliar superiores a condição 50%.ET<sub>0</sub>. Este resultado sugere que, os maiores regimes hídricos (75%.ET<sub>0</sub>, 100%.ET<sub>0</sub> e 125%.ET<sub>0</sub>) não promoveram inibição do desenvolvimento do sorgo, por excesso de água. A redução de 17% (50%.ET<sub>0</sub> versus 125%.ET<sub>0</sub>) no consumo de água pela cultura submetida a estas lâminas mostram que o sorgo, além de resistente ao déficit hídrico, suporta maiores condições de disponibilidade de água. Embora não tenha sido verificado efeito das

lâminas na matéria seca final do sorgo, percebeu-se que o sorgo apresentou maior rendimento na lâmina de 50%.ET<sub>0</sub>, o que implicou pouco efeito na eficiência do uso da água pela cultura. Este resultado confirma a habilidade do sorgo em se desenvolver em uma ampla faixa de ambientes hídricos (Hadebe et al., 2017). Bell et al. (2015) citam que o sorgo possui bom rendimento produtivo, mesmo sob condições de déficit hídrico, por causa da sua capacidade de manter a eficiência do uso da água.

## CONCLUSÕES

O presente estudo revelou que a cultura do sorgo, cv. Sudão IPA 4202, possui alta adaptação a ambientes de cultivo com ampla variação de regime hídrico (50%.ET<sub>0</sub> a 125%.ET<sub>0</sub>), já que não se observou efeito no crescimento e, acúmulo e partição da biomassa de forragem, com manutenção da eficiência do uso da água, mesmo com a redução no consumo de água em condições de alto regime hídrico. As modificações no aparecimento e na senescência foliar não alteraram os índices morfofisiológicos, indicando manutenção da taxa fotossintética do sorgo nas diferentes disponibilidades de água. Assim é possível recomendar baixas lâminas de irrigação (50%.ET<sub>0</sub>) para a cultura do sorgo, cv. Sudão IPA 4202.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão de bolsa dos discentes do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba.

## BIBLIOGRAFIA

- Allen RG, Pereira LS, Raes D & Smith M 1998, 'Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements'. FAO, Rome. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Ajeigbe HA, Akinseye, FM, Ayuba K & Jonah J (2018), 'productivity and water use efficiency of sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] grown under different nitrogen applications in Sudan savanna zone, Nigeria,' International Journal of Agronomy, vol. 2018, Article ID 7676058, 11 pages, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/7676058>.
- Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JL de M (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol Zeitschrift, vol. 22, no. 1, pp. 711-728. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Bell JM, Schwartz R, McInnes KJ, Howell T & Morgan CLS 2015, 'Deficit irrigation effects on yield and yield components of grain sorghum' Agricultural Water Management, vol. 203, no. 1, pp. 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.002>
- Benincasa MMP 2003 'Análise de crescimento de plantas: noções básicas'. 2rd edn. Funep, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Bonfim-Silva EM, Silva TJA, Cabral CEA, Kroth BE & Rezende D 2011, 'Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico'. Revista Caatinga, vol. 24, no. 2, pp. 180-186. <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1871>
- Costa JPN, Cavalcante Junior EG, Medeiros JF & Guedes RAA 2015, 'Evapotranspiração e rendimento do milho a diferentes lâminas e salinidade da água de irrigação'. Irriga, vol. 1, no. 2, pp. 74-80. <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p74>

- Cunha FF, Soares AA, Pereira OG, Lambertucci DM & Abreu FVS 2007, 'Características morfológicas e perfilamento do *Panicum maximum* Jacq. cv. tanzânia irrigado'. *Ciência & Agrotecnologia*, vol. 31, no. 3, pp. 628-635. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000300005>
- Guimarães MJM, Simões WL, Tabosa JN, Santos JE dos & Willadino L 2016, 'Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions'. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 20, no. 5, pp. 461-465. <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p461-465>
- Guimarães MJM, Simões WL, Oliveira AR, Araújo GGL, Silva EFF & Willadino LG 2019, 'Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water'. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 23, no. 4, pp. 285-290. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p285-290>
- Hadebe, ST, Mabhaudhi T & Modi AT 2017, 'Water use of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) in response to varying planting dates evaluated under rainfed conditions'. *Water SA*, vol. 43, no. 1, pp. 91-103. <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v43i1.12>
- Magalhães JA, Carneiro MSS, Andrade AC, Pereira ES, Andrade AP, Bakke AO, Rodrigues BHN, Mochel Filho WJE & Costa NL 2016, 'Características morfológicas e estruturais do capim-andropogon sob irrigação e adubação'. *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 34, no. 1, pp. 2427-2436. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.4514>
- Maia Junior SO, Andrade JR, Araújo DL, Sousa JS & Medeiros IFS 2013, 'Taxas de crescimento de cultivares de girassol sob diferentes regimes hídricos'. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, vol. 8, no. 3, pp. 150-155. <https://doi.org/10.18378/rvads.v8i3.2310>
- Ntanos DA & Koutroubas SD 2002, 'Dry matter and N accumulation and translocation for Indica and Japonica rice under Mediterranean conditions'. *Field Crops Research*, vol. 74, no. 1, pp. 93-101. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00203-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00203-9)
- Oliveira MKT, Dombroski JLD & Fernandes ALM 2018, 'Taxas de crescimento de mudas *Erythrina velutina* em dois ambientes de crescimento'. *Agropecuária Científica no Semiárido*, vol. 14, no. 1, pp. 21-27. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v14i1.905>
- Perrier L, Rouan L, Jaffuel S, Clément-Vidal A, Roques S, Soutiras A, Baptiste C, Bastianelli D, Fabre D, Dubois C, Pot D & Luquet D (2017), 'Plasticity of sorghum stem biomass accumulation in response to water deficit: a multiscale analysis from internode tissue to plant level'. *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, no. 8, pp. 1-14. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2017.01516>
- Pinto JRS, Dombroski JLD, Freitas RMO, Souza GO & Santos Junior JH 2016, 'Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea*, sob sombreamento no semiárido'. *Revista Floresta*, vol. 46, no. 4, pp. 465-472. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v46i4.42665>
- Saath KCO & Fachinello AL 2018, 'Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil'. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, vol. 56, no. 2, pp. 195-212. <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-9479056020>
- Santos JB, Santos DB, Azevedo CAV, Rebequi AM, Cavalcante LF & Cavalcante IHL 2013, 'Comportamento morfofisiológico da mamoneira BRS Energia submetida à irrigação com água salina'. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 17, no. 2, pp. 145-152. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000200005>
- Skiryycz A & Inzé D 2010, 'More from less: plant growth under limited water'. *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 21, no. 2, pp. 197-203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2010.03.002>
- Tardin FD, Almeida Filho JE, Oliveira CM, Leite CEP, Menezes CB, Magalhães PC, Rodrigues JAS & Schaffert RE 2013, 'Avaliação agronômica de híbridos de sorgo granífero cultivados sob irrigação e estresse hídrico'. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 12, no. 2, pp. 102-117. [http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/download/423/pdf\\_62](http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/download/423/pdf_62)