



## EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA DE SORGO SOB NÍVEIS DE SALINIDADE E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Gabriela Carvalho Maia de Queiroz<sup>1</sup>, Rita Magally Oliveira da Silva Marcelino<sup>1</sup>, José Francismar de Medeiros<sup>2</sup>, Rodrigo Rafael da Silva<sup>3</sup>, Matheus Nathan de Araújo Sales<sup>4</sup>, Darcio César Constante<sup>4</sup>

**RESUMO:** A busca por culturas que produzam biomassa com o mínimo de água é importante para redução de custos com irrigação e preservação dos recursos hídricos, promovendo a sustentabilidade agrícola a longo prazo. O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência agronômica e do uso de água da cultivar de sorgo BRS Ponta Negra sob diferentes níveis de salinidade e lâminas de irrigação em regiões áridas e semiáridas. A pesquisa foi realizada no sítio Cumaru, localizado em Upanema, Rio Grande do Norte. O delineamento foi em casualizados blocos, como duplo fatorial, considerando 4 níveis de salinidade (1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e 4 níveis de lâminas de irrigação, estudado em dois períodos de corte (55,5, 75,4, 95,4 e 124,6% da ETc no 1º corte, e 54,1, 73,7, 93,4 e 123,9% da ETc no 2º corte). As eficiências agronômica e de uso de água do sorgo BRS Ponta Negra não foram alteradas pela salinidade, apenas pela lâmina de irrigação, em ambos os períodos de corte. Maiores lâminas de irrigação favoreceram a conversão de água em matéria fresca, especialmente quando o corte foi realizado no florescimento. Concluiu-se que o sorgo BRS Ponta Negra pode ser irrigado com águas salobras sem alteração na eficiência agronômica ou de uso de água, mas a aplicação de lâminas maiores reduziu a eficiência agronômica, especialmente ao fim do ciclo.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Sorghum* sp., estresse salino, produção de biomassa.

## AGRONOMIC EFFICIENCY AND EFFICIENCY OF WATER USE IN SORGHUM UNDER SALINITY LEVELS AND IRRIGATION DEPTHS

<sup>1</sup> Doutoranda em Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias, UFERSA, Mossoró, RN. e-mail: gabriela.queiroz@alunos.ufersa.edu.br

<sup>2</sup> Pesquisador CNPq, Prof. Doutor, Centro de Ciências Agrárias, UFERSA, Mossoró, RN

<sup>3</sup> Doutorando em Manejo de Solo e Água, Centro de Ciências Agrárias, UFERSA, Mossoró, RN

<sup>4</sup> Graduando em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, UFERSA, Mossoró, RN

**ABSTRACT:** The search for crops that produce biomass with minimal water is essential for reducing irrigation costs and preserving water resources, promoting long-term agricultural sustainability. The aim of this work was to evaluate the agronomic and water use efficiency of the BRS Ponta Negra sorghum cultivar under different salinity levels and irrigation depths in arid and semi-arid regions. The research was carried out at the Cumaru site, located in Upanema, Rio Grande do Norte. The design was randomized blocks, as a double factorial, considering 4 salinity levels (1.5, 3.0, 4.5, and 6.0 dS m<sup>-1</sup>) and 4 levels of irrigation depths, studied in two periods cut (55.5, 75.4, 95.4 and 124.6% of ET<sub>c</sub> in the 1st cut, and 54.1, 73.7, 93.4 and 123.9% of ET<sub>c</sub> in the 2nd cut). The agronomic and water use efficiencies of BRS Ponta Negra sorghum were not affected by salinity, only by the irrigation depth, in both cutting periods. Higher irrigation depths favored the conversion of water into fresh matter, especially when cutting was performed at flowering. It was concluded that BRS Ponta Negra sorghum could be irrigated with brackish water without changing agronomic efficiency or water use, but the application of higher depths reduced agronomic efficiency, especially at the end of the cycle.

**KEYWORDS:** *Sorghum* sp., salt stress, biomass production.

## INTRODUÇÃO

O sorgo é uma gramínea de metabolismo C<sub>4</sub> que vem apresentando potencial para a exploração em regiões semiáridas. Isso se deve pela maior adaptabilidade a tipos de solos (mais arenosos a mais argilosos) e moderada tolerância à salinidade e déficit hídrico, produzindo bem mesmo sob água de irrigação de 4,5 dS. m<sup>-1</sup> (AYERS & WESTCOT, 1985). Sob esse ponto, é interessante analisar o acúmulo de matéria seca e fresca do sorgo quando submetido a níveis de irrigação e salinidade, a fim de averiguar meios de reduzir os custos com irrigação sem perda significativa de produção.

Podemos considerar eficiência agrônômica como a quantidade de matéria fresca produzida pela cultura mediante uma determinada condição no manejo agrícola, como adubação com nitrogênio (ISLAM & ADJESIWOR, 2020), fósforo (NAEEM et al., 2021) ou lâmina de água utilizada na irrigação, por exemplo. É uma medida útil para averiguar a resposta das culturas quanto ao peso obtido em campo, por outro lado, para a produção de forragem é mais interessante conhecer a massa de matéria seca final obtida. Para isso, adotamos a eficiência de uso de água, uma variável muito requerida principalmente em ambientes semiáridos, onde a escassez hídrica é uma constante.

Diferentemente da eficiência agronômica, a eficiência de uso de água (EUA) considera a matéria seca produzida pela cultura considerando a evapotranspiração da mesma. A EUA pode ser estimada via satélite, dado sua alta correlação com o dossel das culturas e com as condições ambientais, mas torna-se uma medição imprecisa em eventos como secas (ELFARKH et al., 2023). Portanto, medições em campo trazem um resultado mais confiável do uso de água pelas culturas, e nesse sentido, a busca por culturas de maior EUA é viável ambiental e economicamente, pois reduz a quantidade de água necessária para irrigação e conseqüentemente os custos associados.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa ocorreu no sítio Cumaru, localizado em Upanema, Rio Grande do Norte. As variáveis estudadas foram a eficiência agronômica (Ef. Agr.) e eficiência de uso de água (Ef. Água), na cultivar de sorgo BRS Ponta Negra em 2 períodos de corte: florescimento/frutificação e maturidade fisiológica. O delineamento foi duplo fatorial em blocos casualizados (DBC), considerando 4 níveis de salinidade (1,5, 3,0, 4,5 e 6,0 dS m<sup>-1</sup>) e 4 níveis de lâminas de irrigação (55,5, 75,4, 95,4 e 124,6% da ETc no 1º corte – 210, 285, 360 e 470 mm, respectivamente, e 54,1, 73,7, 93,4 e 123,9% da ETc no 2º corte – 295, 402, 509 e 676 mm, respectivamente).

A salinidade foi obtida da mistura dos sais NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O na água natural, de modo que a proporção de mol de cargas de Na:Ca:Mg ficasse na proporção 7:2:1, representativos das águas salobras do semiárido do Nordeste do Brasil (MEDEIROS, 1992). Já as lâminas de irrigação foram delineadas de acordo com a estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), pelo método FAO-56 (ALLEN et al., 2004).

Para o cálculo da eficiência agronômica, considerou-se a razão entre biomassa fresca (kg ha<sup>-1</sup>) e lâminas de irrigação aplicada no período (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), enquanto a eficiência do uso de água foi determinada pela razão entre a lâmina de irrigação aplicada (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), e o rendimento de biomassa seca (kg ha<sup>-1</sup>). As análises estatísticas ocorreram por meio do software RStudio versão 4.2.2, de onde foram feitas análises de regressão e comparação de médias pelo teste de Tukey a significância de 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

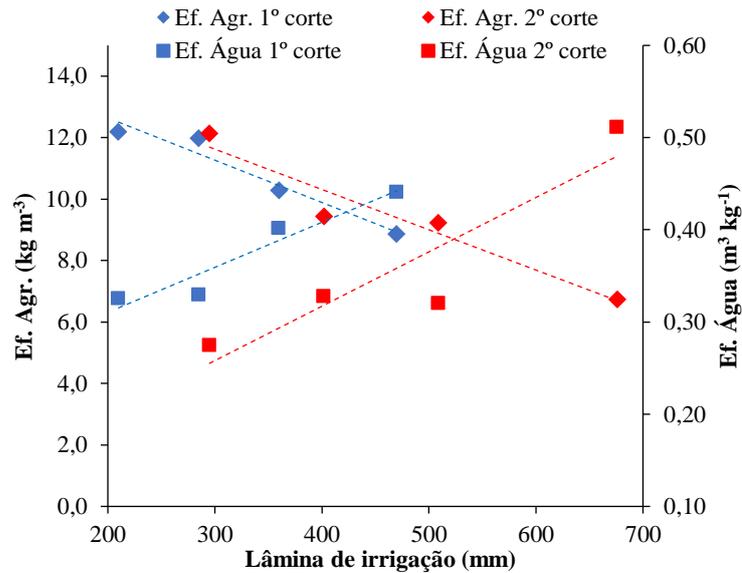
A salinidade não foi significativa para nenhuma das variáveis estudadas (Tabela 1). Tal fato indica que a salinidade presente na água de irrigação não interfere em como o sorgo BRS Ponta Negra utiliza desta água para o acúmulo de matéria fresca ou seca. Quando se trabalha com culturas agrícolas, a tolerância à salinidade é uma característica desejável, pois promove uma melhor resposta dos parâmetros de crescimento sob influência dos estresses abióticos (DEHNAVI et al., 2020).

**Tabela 1.** Teste F e significância estatística para Eficiência Agronômica e Eficiência de uso de água do sorgo BRS Ponta Negra nos dois períodos de corte estudados.

	Ef. Agron. 1	Ef. Água 1	Ef. Agron. 2	Ef. Água 2
Bloco	12,50**	6,37**	3,26 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>
Sal	1,30 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
Lam	6,39**	3,96*	20,69**	15,61**
Sal*Lam	0,96 <sup>ns</sup>	0,66 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	1,06 <sup>ns</sup>
CV	19,81%	26,27%	17,93%	25,53%

Nossos resultados mostram, portanto, que áreas cujas águas apresentam um teor mais salobro/salino, como é o caso do semiárido brasileiro, podem utilizar da água já disponível para irrigação dessa cultivar sem prejuízos à eficiência agronômica e de uso de água. Um desses casos é o aquífero costeiro Grombalia (Tunísia), em que a CE de águas subterrâneas era de 3,47 dS m<sup>-1</sup> em 2015 em média Slama & Sebei (2020), de modo que o cultivo de sorgo também é viável. Haja visto as condições climáticas e de água de irrigação serem semelhantes às do Brasil, é interessante estudar a resposta dessa cultivar na região, de modo a expandir o uso da mesma, e também evidenciar quais variáveis realmente influenciam no rendimento de massa seca e fresca.

Para a lâmina de irrigação, em ambos os períodos de corte a lâmina interferiu na eficiência agronômica e de uso de água (Tabela 1), na qual a eficiência agronômica reduziu conforme o aumento da lâmina ao passo que a eficiência de uso de água foi crescente (Figura 1). Em nossa pesquisa, não analisamos o efeito do tempo, no entanto é válido destacar que o período de corte interfere no acúmulo de biomassa do sorgo, haja visto ser máxima quando o sorgo está maduro e decrescer conforme a senescência Teixeira et al. (2017). Quanto às equações de regressão geradas, em todas o coeficiente angular foi significativo a 5% e a lâmina pôde estimar com boa precisão ( $R^2 > 0,84$ ) as eficiências observadas (Tabela 2).



**Figura 1.** Eficiência agrônômica e de uso de água no sorgo BRS Ponta Negra no 1º e 2º cortes, em função da lâmina de irrigação aplicada.

**Tabela 2.** Equações de regressão obtidas para eficiência agrônômica e eficiência de uso de água do sorgo BRS Ponta Negra nas 2 épocas de corte estudadas.

Variável	Época de corte	Equação	R <sup>2</sup>
Eficiência Agrônômica	1º corte	$Y = -0,0138^{**}Lam + 15,39^{**}$	$R^2 = 94,83$
Eficiência de Uso de Água		$Y = 0,0005^{**}Lam + 0,21^{**}$	$R^2 = 91,85$
Eficiência Agrônômica	2º corte	$Y = -0,0131^{**}Lam + 15,56^{**}$	$R^2 = 92,90$
Eficiência de Uso de Água		$Y = 0,0006^{**}Lam + 0,08$	$R^2 = 84,19$

Aos 68 dias, a lâmina de 470 mm ( $0,44 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ) proporcionou cerca de 35,4% quilos de matéria seca por  $\text{m}^3$  de água a mais que a lâmina de 210 mm ( $0,33 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ). No segundo corte (90 dias), a lâmina de 676 mm proporcionou uma diferença de 86,0% a mais de matéria seca que a lâmina de 295 mm (Tabela 3). Já referente à eficiência agrônômica, foi máxima no período de florescimento (68 dias), chegando a  $12,20 \text{ kg m}^{-3}$ , quando irrigado a 210 mm (55,5% da ETc). Comparando-se o 2º corte com o 1º, a aplicação de lâmina de 676 mm nos 90 dias após o plantio gerou um decaimento de  $8,87 \text{ kg m}^{-3}$  para  $6,74 \text{ kg m}^{-3}$  (-24,02%) na eficiência agrônômica, evidenciando que à medida que a planta amadurece, o teor de água nos tecidos tende a reduzir.

Como o efeito da lâmina no 1º corte não foi significativo, ainda comparando-se os períodos de corte, pode-se observar que para a cultivar BRS Ponta Negra, sob a menor lâmina de irrigação (295 mm), a planta praticamente manteve o conteúdo de água, decaindo de 12,20 para  $12,14 \text{ kg m}^{-3}$  (-0,47%). Essa “manutenção” no teor de água pode estar associada ao colmo, pois o estresse hídrico pode reduzir o comprimento deste, o que reflete na biomassa (MACÊDO et al., 2018), e, portanto, na matéria seca.

O aumento da lâmina de irrigação resultou em aumento na eficiência do uso de água pela cultivar. Os resultados de Ef. Ág. divergem dos obtidos por Bhattarai et al. (2020), onde o cultivo em sequeiro resultou na maior eficiência de uso de água pelo sorgo forrageiro, mas corroboram com Machicek et al. (2019), onde o sorgo sudão mostrou maior Ef. Água na colheita de 90 dias comparado a colheitas anteriores.

**Tabela 3.** Médias de Eficiência Agronômica e Eficiência de Uso de Água para a cultivar de sorgo BRS Ponta Negra conforme concentração de sais e lâminas de irrigação estudadas.

1º corte					2º corte				
Ef. Agr. (kg MF m <sup>-3</sup> )			Ef. Ág. (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> MS)		Ef. Agr. (kg MF m <sup>-3</sup> )			Ef. Ág. (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> MS)	
Salinidade da água de irrigação (dS m <sup>-1</sup> )									
1,5	11,09	a	0,37	a	1,5	9,50	a	0,35	a
3,0	11,61	a	0,35	a	3,0	9,22	a	0,37	a
4,5	10,73	a	0,39	a	4,5	9,34	a	0,38	a
6,0	9,92	a	0,39	a	6,0	9,50	a	0,34	a
Lâmina aplicada (mm)									
210	12,20	a	0,33	b	295	12,14	a	0,28	b
285	11,99	a	0,33	b	402	9,44	b	0,33	b
360	10,29	ab	0,40	ab	509	9,23	b	0,32	b
470	8,87	b	0,44	a	676	6,74	c	0,51	a

É válido comparar a EUA do sorgo com outras gramíneas C4, como é o caso do milho. Sob condições de irrigação a eficiência de uso de água de ambos é semelhante, ao passo que sob déficit hídrico o sorgo apresenta maior EUA e menor evapotranspiração, o que pode estar ligado a variáveis biofísicas (condutância capilar, índice de área foliar) e fenológicas (duração da fase de crescimento, desenvolvimento da cultura) Roby et al. (2017). No milho, a redução da lâmina de irrigação de 100% para 75% da ETc não modifica a eficiência de uso de água, mas ambas são maiores que a observada a 50% da ETc (Bayisa et al., 2021).

Outra cultura bastante estudada em pesquisas envolvendo eficiência de uso de água é a switchgrass (*Panicum virgatum*), visada à bioenergia Yimam et al. (2015). Em estudos envolvendo 6 cultivares de switchgrass (Shelter, Alamo, Cave in Rock, Shawnee, Kanlow e Trailblazer) sob irrigação a 25% da ETc, a eficiência de uso de água variou entre 0,11 e 0,16 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>, aumentando para 0,19 e 0,9 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup> sob irrigação a 100% ETc no 1º corte (GONULAL et al., 2021). Comparado aos resultados do nosso estudo, o sorgo mostrou consideravelmente maior eficiência, em que mesmo a menor EUA a 25% da ETc (0,33 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>) superou a maior EUA da switchgrass.

## CONCLUSÕES

O uso de águas de salinidade até 6,00 dS m<sup>-1</sup> não interferiu no acúmulo de matéria seca ou fresca por lâmina de água utilizada na produção da cultivar BRS Ponta Negra.

A redução da lâmina de irrigação interfere positivamente na conversão de água em matéria seca, especialmente quando o corte é realizado na época de florescimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. **Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)**. Rome.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Salinity Problems. In: **Water quality for agriculture**. 1. ed. [S. l.]: FAO, 1985. p. 13–58.

BAYISA, G. D.; HORDOFA, T.; TEZERA, K.; et al. Maize Yield and Water Use Efficiency Under Different Irrigation Levels and Furrow Irrigation Methods in Semiarid, Tropical Region. **Air, Soil and Water Research**, v. 14, 2021. SAGE Publications Ltd.

BHATTARAI, B.; SINGH, S.; WEST, C. P.; RITCHIE, G. L.; TROSTLE, C. L. Water Depletion Pattern and Water Use Efficiency of Forage Sorghum, Pearl millet, and Corn Under Water Limiting Condition. **Agricultural Water Management**, [S. l.], v. 238, p. 106206, 2020. DOI: 10.1016/J.AGWAT.2020.106206.

DEHNAVI, A. R.; ZAHEDI, M.; LUDWICZAK, A.; PEREZ, S. C.; PIERNIK, A. Effect of Salinity on Seed Germination and Seedling Development of Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Genotypes. **Agronomy** 2020, Vol. 10, Page 859, v. 10, n. 6, p. 859, 2020. Multidisciplinary Digital Publishing Institute.

ELFARKH, J.; JOHANSEN, K.; EL HAJJ, M. M.; ALMASHHARAWI, S. K.; MCCABE, M. F. Evapotranspiration, gross primary productivity and water use efficiency over a high-density olive orchard using ground and satellite based data. **Agricultural Water Management**, v. 287, p. 108423, 2023. Elsevier.

GONULAL, E.; SOYLU, S.; SAHIN, M. Effects of different water stress levels on biomass yield and agronomic traits of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars under arid and semi-

arid conditions. **Turkish Journal of Field Crops**, v. 26, n. 1, p. 25–34, 2021. Society of Fields Crop Science.

ISLAM, M. A.; ADJESIWOR, A. T. Nitrogen fertilization in tall fescue: Productivity, agronomic efficiency and relative profitability. **Grassland Science**, v. 66, n. 2, p. 67–73, 2020. Blackwell Publishing Inc.

MACÊDO, A. J. DA S.; RAMOS, J. P. DE F.; SANTOS, E. M.; DE SOUSA, W. H.; DE OLIVEIRA, F. G.; SOUZA, J. T. A.; ORESCA, D. Morphometric and productive characteristics of sorghum genotypes for forage production in the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 256–267, 2018. DOI: 10.1590/S1519-99402018000300003.

MACHICEK, J. A.; BLASER, B. C.; DARAPUNENI, M.; RHOADES, M. B. Harvesting Regimes Affect Brown Midrib Sorghum-Sudangrass and Brown Midrib Pearl Millet Forage Production and Quality. **Agronomy** 2019, Vol. 9, Page 416, [S. l.], v. 9, n. 8, p. 416, 2019. DOI: 10.3390/AGRONOMY9080416.

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos estados do RN, PB e CE**. 1992. Campina Grande, 1992.

NAEEM, U.; AFZAAL, M.; HAQ, I. UL; et al. Investigating the effect of *Aspergillus niger* inoculated press mud (biofertilizer) on the potential of enhancing maize (*Zea mays* L.) yield, phosphorous use efficiency, and phosphorous agronomic efficiency. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 8, p. 1–13, 2021. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.

ROBY, M. C.; SALAS FERNANDEZ, M. G.; HEATON, E. A.; MIGUEZ, F. E.; VANLOOCKE, A. Biomass sorghum and maize have similar water-use-efficiency under non-drought conditions in the rain-fed Midwest U.S. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 247, p. 434–444, 2017. Elsevier.

SLAMA, T.; SEBEI, A. Spatial and temporal analysis of shallow groundwater quality using GIS, Grombalia aquifer, Northern Tunisia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 170, p. 103915, 2020. Pergamon.

TEIXEIRA, T. P. M.; PIMENTEL, L. D.; DIAS, L. A. DOS S.; et al. Redefinition of sweet sorghum harvest time: New approach for sampling and decision-making in field. **Industrial Crops and Products**, v. 109, p. 579–586, 2017. Elsevier.

YIMAM, Y. T.; OCHSNER, T. E.; KAKANI, V. G. Evapotranspiration partitioning and water use efficiency of switchgrass and biomass sorghum managed for biofuel. **Agricultural Water Management**, v. 155, p. 40–47, 2015. Elsevier.