



Extração de nutrientes por variedades de sorgo forrageiro irrigadas com efluente salino da piscicultura

Miguel Julio Machado GUIMARÃES ^{*1}, Welson Lima SIMÕES ²,
Alessandra Monteiro SALVIANO ³, Juliane Rafaela Alves BARROS ²

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, São Raimundo das Mangabeiras, MA, Brasil.

² Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, Brasil.

³ Embrapa Solos - UEP, Recife, PE, Brasil.

*E-mail: mjmguiaraes@hotmail.com

Submetido em 02/12/2022; Aceito em 31/12/2023; Publicado em: 26/02/2024.

RESUMO: A utilização de água com altos teores de sais pode causar desequilíbrio nutricional e redução na produtividade das culturas. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a extração de nutrientes de três variedades de sorgo forrageiro cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação com efluente salino da piscicultura. O experimento foi conduzido em condições de campo, sendo os tratamentos provenientes de um esquema fatorial 3x4, com três variedades de sorgo forrageiro (Volumax, F305 e Sudão) e quatro frações de lixiviação (0; 5; 10 e 15%), dispostos em parcelas subdivididas com quatro blocos. As parcelas foram compostas pelas frações de lixiviação e as subparcelas pelas variedades. Aos 93 dias após o plantio, foram coletadas 10 plantas para a determinação da produção de matéria seca e dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn e Mn. Foram avaliados os totais extraídos e a distribuição dos nutrientes na planta. A variedade F305 extraiu quantidades intermediárias de nutrientes em relação às demais, sendo a variedade Sudão a que apresentou uma maior extração. O uso de fração de lixiviação influencia a quantidade de nutrientes extraídos, alterando sua distribuição nas diferentes partes da planta de sorgo forrageiro.

Palavras-chave: *Sorghum bicolor* Moench; acúmulo de minerais; reuso de água; salinidade.

Nutrient extraction by forage sorghum varieties irrigated with saline fish farming effluent

ABSTRACT: The use of water with high levels of salts may cause nutritional imbalance and reduction in crop productivity. In this context, the objective of the work was to evaluate the nutrient extraction of three varieties of forage sorghum cultivated under different irrigation slopes with saline effluent from pisciculture. The experiment was conducted under field conditions, and the treatments came from a 3x4 factorial scheme, with three varieties of forage sorghum (Volumax, F305 and Sudan) and four leaching fractions (0; 5; 10 and 15%), arranged in subdivided plots with four blocks. The plots were composed by the leaching fractions and the subplots by the varieties. At 93 days after planting, 10 plants were collected to determine dry matter production and N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, and Mn contents. The total extracted and the distribution of nutrients in the plant were evaluated. The F305 variety extracted intermediate amounts of nutrients in relation to the others, being the Sudan variety the one that presented the greatest extraction. The use of leaching fraction influences the amount of nutrients extracted, altering their distribution in the different parts of the forage sorghum plant.

Keywords: *Sorghum bicolor* Moench; minerals accumulation; water reuse; salinity.

1. INTRODUÇÃO

A produção agropecuária é a atividade com maior demanda de água no mundo, sendo essencial uma gestão eficiente dos recursos hídricos, integrando sistemas de produção e otimizando o uso da água. Por isso, o interesse pelo uso múltiplo e reutilização de efluentes de processos agrícolas e domésticos tem aumentado nos últimos anos, principalmente em regiões semiáridas, com baixa disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade.

A água salina que vem sendo utilizada na criação de peixes, por exemplo, pode ser reutilizada, de forma economicamente viável, na irrigação de culturas para alimentação animal (SILVA et al., 2014). De acordo com Dias et al. (2021), o sistema de produção integrada agricultura-

aquicultura envolvendo o cultivo irrigado de forrageiras com o rejeito da criação de tilápia, otimiza a utilização dos recursos hídricos e a exploração agrícola com a obtenção de duas produções a partir do uso compartilhado da água. Entretanto, o mau uso deste efluentes, ricos em elementos como o P, N, K, Ca, Mg e Na, pode acarretar eutrofização de corpos d'água e até a salinização dos solos.

A salinização do solo altera sua disponibilidade de nutrientes, tendo como consequência uma absorção competitiva, alteração no transporte ou partição dos nutrientes dentro da planta, acarretando num desbalanço nutricional da mesma. Esse desbalanço altera o metabolismo das plantas, sua susceptibilidade às injúrias (osmóticas iônicas) e suas necessidades nutricionais, reduzindo a

produtividade e a qualidade dos produtos gerados (ZHANG et al., 2021).

O efeito da salinidade sobre a composição mineral das plantas varia com a espécie e genótipo e, provavelmente, está relacionado com sua tolerância à salinidade (COELHO et al., 2017; ZHANG et al., 2021). Mansour et al. (2021) afirmam que a salinidade altera os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta. Neste sentido, diversos autores observaram diferentes comportamentos de plantas quando submetidas a tratamentos salinos. Coelho et al. (2017) verificaram que o aumento da salinidade da água de irrigação provocou redução da extração dos elementos minerais N, P, K, Ca, Mg e S, em plantas de sorgo irrigadas com água salina.

Com isto, o uso de técnicas que mitiguem os efeitos dos sais nas plantas é essencial para garantir a sustentabilidade dos cultivos irrigados com águas salinas. A aplicação de lâminas de irrigação que garantam a lixiviação de parte do excesso dos sais do solo pode ser uma técnica fundamental para reduzir a salinidade da zona radicular da planta e garantir a produtividade da cultura (GUIMARÃES et al., 2022). Guimarães et al. (2016a) avaliando o estado nutricional de variedades de sorgo forrageiro irrigadas com efluente salino de piscicultura observaram que o uso de fração de lixiviação de até 15% alterou os teores foliares de Cu, Zn, Fe e Mn, proporcionando redução nos de ferro, manganês e zinco e aumento no de cobre.

Dentre as culturas com níveis de tolerância à salinidade, o sorgo se destaca por ser uma forrageira típica de clima quente, de características xerófilas, com baixa exigência de fertilidade do solo e com tolerância a estresses abióticos,

como deficiência hídrica, encharcamento, além da salinidade (GOMES et al., 2006).

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar a extração de nutrientes de três variedades de sorgo forrageiro cultivadas sob diferentes lâminas de irrigação com efluente salino da piscicultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Campo Experimental Caatinga, pertencente à Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE (9° 8' 8,9" S, 40° 18' 33,6" O, 373 m), no ano de 2017. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSw. Durante o período do estudo, as médias da umidade relativa do ar e temperatura foram de 63,9 % e 25,5 °C, respectivamente. A evapotranspiração diária máxima foi de 7,0 mm, com média de 5,8 mm dia⁻¹. Os principais eventos de precipitação se concentraram nos dez primeiros dias após o plantio (DAP) e aos 74 DAP, totalizando 32,7 mm ao final do ciclo.

O solo da área experimental, classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, apresenta textura média (Tabela 1) e relevo plano. Antes do plantio a área foi arada, gradeada e adubada, sendo aplicados 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), 60 kg ha⁻¹ de fósforo (P2O5) e 20 kg ha⁻¹ de potássio (K2O) em fundação, utilizando-se ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Aos 30 DAP aplicou-se 30 kg ha⁻¹ de N, utilizando-se ureia como fonte do nutriente. A semeadura foi realizada no mês de abril de 2017, utilizando-se 10 sementes por metro linear, em fileiras espaçadas em 0,5 m, tendo a emergência ocorrido aos 7 dias após o plantio (DAP).

Tabela 1. Características químicas e físicas e granulométricas do solo da área experimental antes do experimento.

Table 1. Chemical and physical characteristics and particle size of the soil in the experimental area before the experiment.

Camada (cm)	CE (dS cm ⁻¹)	pH	MO (g kg ⁻¹)	P (mg dm ⁻³)	K	Na	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V (%)
0 – 10	1,64	5,5	7,7	15,65	0,65	0,8	2,8	1,5	2,1	5,8	7,8	73,4
10 – 20	1,99	5,7	5,7	14,25	0,55	0,65	1,9	1,3	2,7	4,4	7,1	61,8
20 – 45	2,91	7,4	6,3	3,6	2,05	1,5	1,8	1,4	3,7	6,8	10,4	64,7
Camada (cm)	Densidade (kg dm ⁻³)			Porosidade Total (%)			Granulometria (g kg ⁻¹)					
	Solo	Partícula					Areia	Silte		Argila		
0 – 10	1,46	2,59		43,86			729,4	182,9		87,7		
10 – 20	1,46	2,51		41,74			789,8	116,9		93,3		
20 – 45	1,37	2,52		45,58			613,2	178,1		208,7		

CE= condutividade elétrica do extrato de saturação; MO= matéria orgânica; P= fósforo disponível extraído por Mehlich¹; Ca= cálcio trocável; Mg= magnésio trocável; Na= sódio trocável; K= potássio trocável; CTC= capacidade de troca de cátions à pH 7,0; V=saturação por bases.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, com parcelas subdivididas, sendo as parcelas quatro frações de lixiviação (FL): 0; 5; 10 e 15% com efluente salino de piscicultura e as subparcelas três variedades de sorgo forrageiro: Volumax, F305 e Sudão. Cada unidade experimental (subparcela) foi formada por cinco fileiras de cinco metros de comprimento, perfazendo uma área de 12,5 m². A parcela útil foi composta pelas três fileiras centrais, eliminando-se um metro no início e no final de cada fileira, totalizando 4,5 m².

As irrigações foram realizadas, diariamente, por gotejamento superficial. O sistema de irrigação foi abastecido com efluente salino de tanques de piscicultura, com criação de tilápia preta, numa densidade populacional de 40 peixes m⁻³. No manejo dos tanques, cerca de 50% do seu volume total era, diariamente, substituído e bombeado para o tanque

de armazenamento, o qual era usado na irrigação. A condutividade elétrica da água (CEa) dos efluentes da piscicultura foi monitorada semanalmente com o auxílio de um condutivímetro digital portátil, a qual permaneceu em torno de 2,57 ± 0,2 dS m⁻¹.

As características químicas do efluente da piscicultura utilizado na irrigação foram determinadas semanalmente, durante o período do experimento, sendo as médias apresentadas na Tabela 2.

O manejo da irrigação se iniciou após todas as parcelas se encontrarem na capacidade de campo, a qual compreende a capacidade máxima de retenção de água do solo. A partir deste momento, as lâminas de água aplicadas por irrigação foram calculadas de acordo com a evapotranspiração da cultura medida no período entre as irrigações, aplicando-se a metodologia do Kc dual, usando Kc basais de 0,15; 0,95 e

0,35, respectivamente, para as fases fenológicas inicial, intermediária e para o final do ciclo, de acordo com a eficiência de aplicação de água do sistema e as frações de lixiviação testadas, conforme a Eq.1.

$$Li = \frac{(ETo * Kc * Kl) - P}{Ef * (1 + FL)} \quad (01)$$

Tabela 2. Características químicas da água de irrigação proveniente da piscicultura.

Table 2. Chemical characteristics of irrigation water from the fish farm.

Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	pH	CEa	Dureza	RAS	Classificação
mmol _e L ⁻¹						dS m ⁻¹	mg L ⁻¹ de CaCO ₃		
12,6	7,7	7,2	0,34	35,2	8,19	2,57	50,75	2,26	C ₄ S ₁
(±1,1)	(± 0,9)	(± 1,2)	(± 0,06)	(± 5,1)	(± 0,27)	(± 0,2)	(±5,4)	(± 0,4)	

CEa= condutividade elétrica a 25°C; Ca= cálcio; Mg= magnésio; Na= sódio; K= potássio; Cl-= cloreto; RAS= relação de adsorção de sódio.

Os tratos culturais constituíram de uma capina manual aos 30 DAP e aplicação preventiva de inseticida contra lagarta-do-cartucho – (*Spodoptera frugiperda*) aos 40 e 60 DAP.

A colheita foi realizada no mês de julho, aos 93 DAP, quando os grãos da porção central da panícula apresentaram aspecto pastoso a farináceo. Na ocasião, as plantas foram separadas em folhas, colmos e raízes e colocadas para secar em estufa à 60 °C, até obter peso constante, sendo pesadas para determinação da produtividade de matéria seca. Em seguida, o material foi triturado em moinho tipo Willey e submetido à digestão nítrico-perclórica para determinação dos teores de macro (P, Ca, Mg, N, K e S) e micronutrientes (Cu, Zn, Fe e Mn). O K e Na foram quantificados por fotometria de chama e Ca, Mg, Cu, Zn, Mn e Fe foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; S por turbidimetria do sulfato e P por espectrofotometria UV-VIS. O N foi quantificado pelo método de Kjeldahl (EMBRAPA, 2009).

O acúmulo desses minerais em cada parte da planta foi determinado a partir do produto entre os teores dos elementos e a sua massa seca correspondente.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o programa Sisvar 5.0. Para as situações em que houve interação significativa entre variedades e frações de lixiviação foi realizado o desdobramento das variáveis dentro de cada fator, caso contrário, considerou-se o efeito independente dos fatores para as variáveis estudadas. Para comparação entre as frações de lixiviação foram avaliados modelos de regressão de primeiro e segundo grau, quando significativos ao nível de 1 ou 5% de probabilidade. O teste de Tukey, a 5% de probabilidade, foi adotado para os casos de regressões não significativas (p>0,05) e para comparação entre as variedades de sorgo.

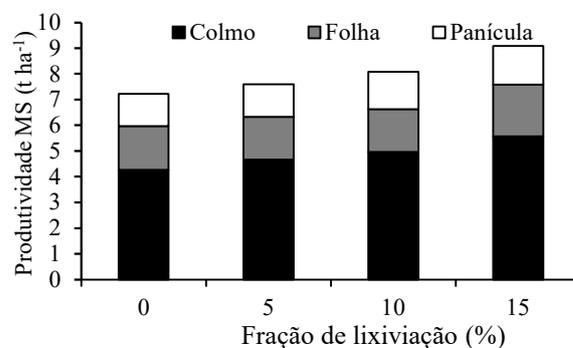
3. RESULTADOS

Verificou-se que não houve interação entre os fatores variedades e frações de lixiviação para a produtividade de matéria seca (MS) em todas as partes da planta avaliadas, para o acúmulo de P, Ca, Mg, S, Fe e Mn no colmo, de N, Mg, S, Fe e Mn na panícula, e de P, Ca, Mg, S, Fe e Zn nas folhas do sorgo forrageiro. Assim, as médias da produtividade de matéria seca e das quantidades extraídas desses nutrientes pelas três variedades de sorgo podem ser observadas na Figura 1 e Tabela 3, respectivamente.

Observa-se aumento linear no acúmulo de MS com o aumento da FL, em todas as partes da planta avaliadas, exceto para folha onde não foi possível o ajuste de modelo

em que: Li – Lâmina de irrigação, mm; ETo – Evapotranspiração medida no período, mm; Kc – Coeficiente de cultivo da cultura; Kl – Coeficiente de irrigação localizada; P – Precipitação medida no período, mm; Ef – Eficiência do sistema de irrigação, 0,9; FL – Fração de lixiviação aplicada, decimal.

matemático aos dados (Figura 1). A maior produção total foi observada quando se aplicou uma FL de 15% de lixiviação, com 9,0 t ha⁻¹.



Colmo	$\hat{y} = 0,0836**x + 4,2398**$	$(R^2 = 0,98)$
Folha	$\hat{y} = \bar{y} = 1,76$	
Panícula	$\hat{y} = 0,0184*x + 1,2322**$	$(R^2 = 0,86)$
MS Total	$\hat{y} = 0,1215**x + 7,0855**$	$(R^2 = 0,94)$

Figura 1. Acúmulo de matéria seca (MS) em diferentes partes de variedades de sorgo forrageiro submetidas a frações de lixiviação com efluente salino da piscicultura. **, * coeficiente de regressão significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Figure 1. Dry matter (DM) accumulation in different parts of forage sorghum varieties subjected to leaching fractions with saline fish farm effluent. **, * regression coefficient significant at 1 and 5% probability, respectively.

Fazendo-se o somatório total dos nutrientes extraídos pelas plantas, demonstrado na Tabela 3, pode-se observar que a variedade Sudão apresentou uma maior extração de macro e micronutrientes, com cerca de 233,34 kg ha⁻¹, seguida da Volumax com 202,76 kg ha⁻¹, e F305 com 185,47 kg ha⁻¹. Uma maior extração de nutrientes pode ser relacionada com o potencial fitorremediador da planta, sugerindo assim, uma maior adequabilidade da variedade Sudão para utilização em plantios em solos salinos ou com problemas de toxidez de íons.

Não houve efeito das FL na extração de Ca e Mg na parte aérea das três variedades de sorgo avaliadas. No entanto, as mesmas apresentaram acúmulos diferenciados nos colmos e nas folhas, sendo que a cultivar Sudão foi a que apresentou maior acúmulo de nutrientes. A variedade Sudão apresentou os maiores acúmulos de Ca e Fe no colmo, de Mg na panícula, e de Ca, S e Zn nas folhas, enquanto a variedade Volumax acumulou as maiores quantidades de P e Mn no colmo. Ressalta-se que essas duas variedades não diferiram

quanto ao acúmulo de N e Mn na panícula, e de P e Zn nas folhas. Não houve diferença significativa entre as três variedades quanto ao acúmulo de Mg e S, no colmo, de S e Fe, na panícula e de Mg e Fe nas folhas. Em geral, observase que a F305 extraiu quantidades intermediárias de nutrientes em comparação com as outras variedades avaliadas (Tabela 3).

As equações de regressão ajustadas para o acúmulo de nutrientes nas diferentes partes das plantas de sorgo forrageiro em função das frações de lixiviação (FL), independente da variedade, podem ser observadas na Figura 2. O acúmulo de Mg na folha apresentou comportamento quadrático com o aumento da FL (Figura 2a), com acúmulo máximo de 7,58 kg ha⁻¹ para uma FL de 8,2%.

Houve uma redução linear do acúmulo de Mn, tanto no colmo (Figura 2e) quanto na panícula (Figura 2d), e do S na panícula (Figura 2c) com o aumento da FL, enquanto para o acúmulo de Zn na folha o comportamento foi quadrático (Figura 2b). No entanto, o acúmulo de Fe no colmo aumentou linearmente com o aumento da FL (Figura 2f).

Verificou-se que o padrão de distribuição do acúmulo de N, K, Cu e Zn no colmo (Tabela 4) foi diferenciado entre as variedades de sorgo forrageiro. O Acúmulo de N no colmo das variedades Volumax e F305 aumentou de maneira linear com o aumento da FL, já para a variedade Sudão não foi possível o ajuste de equação de regressão (Tabela 4).

Tabela 3. Extração de nutrientes por variedades de sorgo forrageiro submetido a frações de lixiviação com efluente salino da piscicultura. Table 3. Nutrient extraction by forage sorghum varieties subjected to leaching fractions with saline fish farm effluent.

Variedades	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	
	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
	Colmo										
Volumax	19,98	6,35 a	30,83	8,25 b	9,07 a	1,73 a	17,57	216,47 b	267,89 a	113,9	
F305	14,42	4,66 ab	35,21	8,95 ab	8,93 a	1,34 a	25,53	483,35 ab	201,19 b	135,2	
Sudão	21,57	3,37 b	39,87	11,43 a	9,34 a	2,38 a	18,58	552,21 a	186,63 b	135,13	
	Panícula										
Volumax	35,45 ab	5,28	11,94	2,53a	4,23 b	2,33 a	23,14	216,08 a	88,57 a	76,88	
F305	33,02 b	3,92	10,78	2,69a	4,44 b	2,21 a	23,64	250,91 a	64,36 b	71,41	
Sudão	35,84 a	6,47	16,00	4,46a	5,39 a	2,68 a	28,74	244,53 a	100,89 a	101,39	
	Folha										
Volumax	30,16	3,42 a	13,63	8,13 b	6,09 a	1,92 b	14,64	272,22 a	96,39	43,16 ab	
F305	22,96	1,59 b	11,91	8,81 ab	6,82 a	1,18 c	9,61	257,71 a	69,44	39,95 b	
Sudão	30,36	3,34 a	18,85	10,45 a	7,30 a	2,46 a	15,81	260,53 a	77,74	58,42 a	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As médias não seguidas de letras apresentaram interação significativa e sua análise estatística é mostrada nas próximas tabelas e figuras.

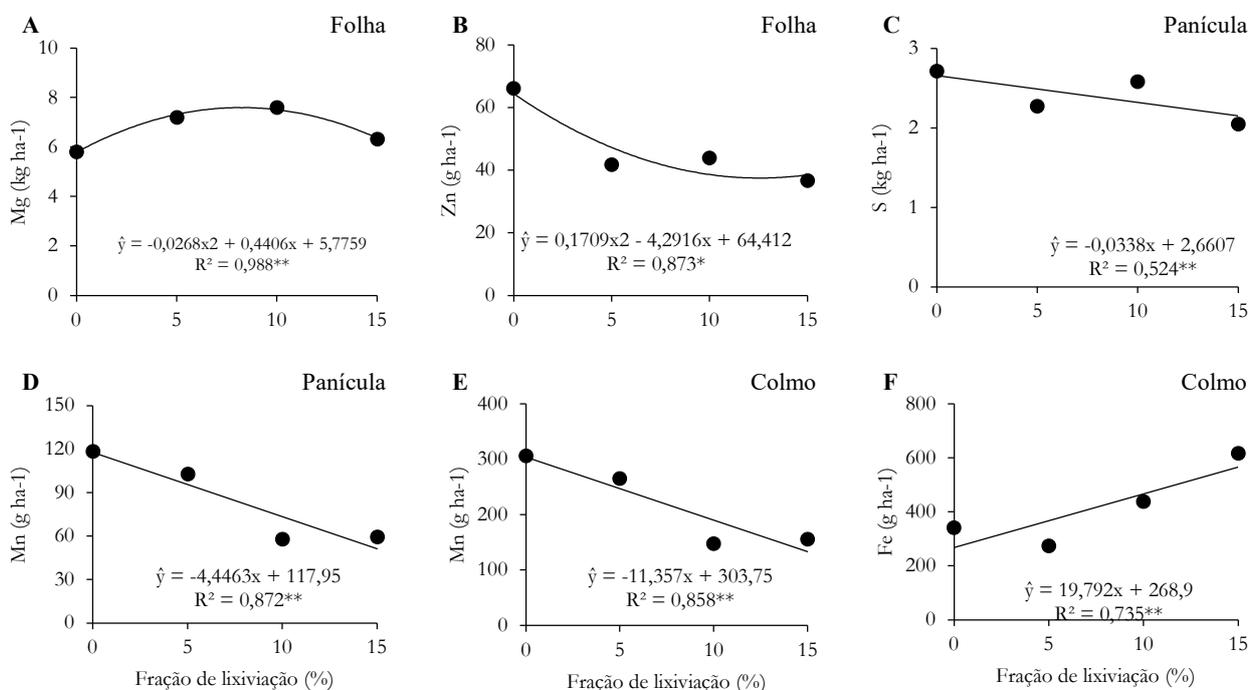


Figura 2. Extração de nutrientes por variedades de sorgo forrageiro submetidas a frações de lixiviação com efluente salino de piscicultura, em diferentes partes da planta, para os nutrientes Mg (a) e Zn (b) na folha, S (c) e Mn (d) na panícula, Mn (e) e Fe no colmo. **, * coeficiente de regressão significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Figure 2 Nutrient extraction by forage sorghum varieties subjected to leaching fractions with saline fish farm effluent, in different parts of the plant, for the nutrients Mg (a) and Zn (b) in the leaf, S (c) and Mn (d) in the panicle, Mn (e) and Fe in the stem. **, * regression coefficient significant at 1 and 5% probability, respectively.

Comparando-se a extração de N pelas variedades, para cada FL, observou-se que a Volumax e a Sudão apresentaram comportamento semelhante, com maiores acúmulos desse nutriente em todas as frações, exceto quando se utilizou 10%. Para este valor de FL, a ordem de acúmulo de N foi Sudão>Volumax>F305. Houve maior acúmulo de K no colmo em todas as variedades, tendo os dados sido ajustados ao modelo quadrático (Tabela 4). No entanto, não houve diferença significativa entre as variedades para o acúmulo desse nutriente nas diferentes FL, exceto quando não foi utilizada fração de lixiviação, onde a variedade Sudão apresentou maior acúmulo. As variedades Volumax e F305 apresentaram maiores acúmulos de K nas FL de 6,1% e 5,9%, respectivamente, com reduções expressivas do acúmulo para FL acima desses valores. Já a variedade Sudão apresentou redução do acúmulo de K até a FL 11,9%, onde, a partir desse ponto, houve um pequeno aumento dos valores de K acumulados.

Em relação ao acúmulo de Cu, não foi possível ajuste de modelo de regressão aos dados da variedade Volumax (Tabela 4). No entanto, a variedade Sudão apresentou redução linear, e na variedade F305 um aumento, de comportamento quadrático, no acúmulo desse nutriente.

Também não foi possível o ajuste de modelo de regressão aos dados de acúmulo de Zn no colmo da variedade Sudão (Tabela 4). Para a variedade F305 houve redução linear do acúmulo desse nutriente com o aumento da FL, já na variedade Sudão a redução apresentou comportamento quadrático.

Considerando-se o acúmulo de N, K, Cu e Mn em folhas (Tabela 5) também houve padrão de distribuição diferenciado entre as variedades de sorgo forrageiro.

Os dados de acúmulo de N nas folhas em função da FL para variedade Volumax ajustaram-se ao modelo linear, enquanto os dados da F305 ao modelo quadrático, com maior acúmulo na FL 11,12%. Assim como no colmo, não foi possível o ajuste de equação de regressão para a variedade

Sudão (Tabela 5). Quando se observam as FL, em geral, as variedades Volumax e a Sudão acumularam mais N nas folhas, estando a variedade F305 com comportamento intermediário.

O acúmulo de K na folha da variedade Volumax apresentou ajuste ao modelo quadrático, com um acúmulo máximo de K quando aplicado uma FL de 5,9%, totalizando 17,44 kg ha⁻¹. A variedade Sudão apresentou redução linear do acúmulo desse nutriente na folha, já para a F305 não foi possível o ajuste de modelo matemático (Tabela 5).

Não se verificou um comportamento padrão para o acúmulo de micronutrientes pelo sorgo. Em solos salinos e sódicos, a disponibilidade dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) é particularmente baixa, pois depende do pH e CE da solução do solo, e as plantas crescendo nesses solos, frequentemente, apresentam deficiência desses elementos. Todavia, essa relação é complexa, sendo que a salinidade pode aumentar, diminuir ou não causar efeito na concentração desses nutrientes na parte aérea das plantas (Zhang et al., 2021).

Observa-se aumento linear no acúmulo de cobre nas folhas da variedade Volumax e redução do acúmulo de Mn nas três variedades estudadas (Tabela 5). Quanto ao cobre, o maior acúmulo deve ser resultado da sua baixa mobilidade no solo, e da sua interação com íons de alta mobilidade no solo, como o Zn e o Mn (Casali et al., 2008). Considerando-se que estes nutrientes competem pelos mesmos sítios de absorção no vegetal e de adsorção no solo, a redução nos teores de Zn e Mn pode favorecer a absorção do íon Cu.

O acúmulo dos elementos P, K, Cu e Zn na panícula (Tabela 6) diferiu entre as variedades de sorgo forrageiro.

Verificou-se um aumento linear do acúmulo de P na panícula de sorgo forrageiro com o aumento da FL nas variedades Volumax e F305, sendo que a variedade Sudão apresentou ajuste quadrático aos dados observados, com tendência a redução do acúmulo com o aumento da FL acima de 4,63% (Tabela 6).

Tabela 4. Extração de N, K, Cu e Zn em colmo de variedades de sorgo forrageiro submetido a frações de lixiviação com efluente salino de piscicultura.

Table 4. Extraction of N, K, Cu and Zn in thatch of forage sorghum varieties subjected to leaching fractions with saline fish farm effluent.

Variedade	Colmo				Equação de regressão	R ²
	Fração de lixiviação (%)					
	0	5	10	15		
Extração de N (kg ha ⁻¹)						
Volumax	16,87 a	20,24 a	19,92 b	22,89 a	y = 0,3551**x + 17,32**	0,86
F305	12,77 b	12,77 b	15,75 c	16,39 b	y = 0,2763*x + 12,347**	0,86
Sudão	19,76 a	17,11 a	26,75 a	22,65 a	não significativo	-
Extração de K (kg ha ⁻¹)						
Volumax	28,69 b	41,57 a	30,87 a	22,19 a	y = -0,2156**x ² + 2,6308*x + 29,966**	0,83
F305	33,48 b	47,35 a	36,07 a	23,93 a	y = -0,2602**x ² + 3,104*x + 34,689**	0,89
Sudão	54,31 a	40,41 a	31,30 a	33,47 a	y = 0,1608**x ² - 3,8446*x + 54,635*	0,99
Extração de Cu (g ha ⁻¹)						
Volumax	13,77 b	19,51 a	17,21 a	19,79 b	não significativa	
F305	17,21 ab	17,21 a	22,95 a	44,76 a	y = 0,218**x ² - 1,5034**x + 17,73**	0,98
Sudão	21,52 a	18,94 a	21,80 a	12,05 c	y = -0,5107**x + 22,407**	0,52
Extração de Zn (g ha ⁻¹)						
Volumax	104,14 b	135,42 a	101,56 a	114,47 a	não significativo	
F305	205,42 a	112,46 a	124,80 a	98,12 a	y = -6,1913**x + 181,64**	0,69
Sudão	265,10 a	86,07 a	111,89 a	77,46 a	y = 1,446**x ² - 32,431**x + 251,84**	0,84

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. **, * coeficiente de regressão significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Extração de nutrientes por variedades de sorgo forrageiro irrigadas com efluente salino da piscicultura

Tabela 5. Extração de N, K, Cu e Mn nas folhas de variedades de sorgo forrageiro submetido a frações de lixiviação com efluente salino de piscicultura.

Table 5. Extraction of N, K, Cu and Mn in leaves of forage sorghum varieties subjected to leaching fractions with saline fish farm effluent.

Variedade	Folha				Equação de regressão	R ²
	Fração de lixiviação (%)					
	0	5	10	15		
Extração de N (kg ha ⁻¹)						
Volumax	25,33 a	28,70 a	31,66 a	34,93 a	y = 0,6353**x + 25,391**	0,99
F305	18,89 b	24,58 a	23,64 b	24,73 c	y = -0,0459*x ² + 1,0207*x + 19,323**	0,83
Sudão	29,55 a	26,07 a	35,99 a	29,83 b	não significativo	
Extração de K (kg ha ⁻¹)						
Volumax	13,43 b	17,51 b	15,40 a	8,19 b	y = -0,1128**x ² + 1,336**x + 13,483**	0,99
F305	12,34 b	16,36 b	10,60 b	8,32 b	não significativo	
Sudão	23,59 a	25,81 a	11,10 b	14,90 a	y = -0,8158**x + 24,968**	0,56
Extração de Cu (g ha ⁻¹)						
Volumax	10,93 b	13,95 a	16,08 a	17,59 a	y = 0,4422**x + 11,32**	0,97
F305	8,67 b	8,66 b	10,55 b	10,55 b	não significativo	
Sudão	16,21 a	12,06 ab	19,60 a	15,38 a	não significativo	
Extração de Mn (g ha ⁻¹)						
Volumax	142,09 a	107,79 a	65,96 a	69,73 a	y = -5,1786**x + 135,23**	0,86
F305	82,92 b	104,78 ab	46,36 a	43,72 a	y = -3,5202**x + 95,846**	0,59
Sudão	127,77 a	66,33 b	52,39 a	64,45 a	y = 0,735**x ² - 15,102**x + 126,69**	0,99

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As médias não seguidas de letras apresentaram interação significativa e sua análise estatística é mostrada nas próximas tabelas e figuras. **, * coeficiente de regressão significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 6. Extração de P, K, Ca, Cu, Fe e Zn na panícula de variedades de sorgo forrageiro, submetido a frações de lixiviação com efluente salino da piscicultura.

Table 6. Extraction of P, K, Ca, Cu, Fe and Zn in the panicle of forage sorghum varieties subjected to leaching fractions with saline fish farm effluent.

Variedade	Panícula				Equação de regressão	R ²
	Fração de lixiviação (%)					
	0	5	10	15		
Extração de P (kg ha ⁻¹)						
Volumax	3,08 b	5,31 ab	5,51 a	7,21 a	y = 0,2515**x + 3,3897**	0,91
F305	2,32 b	4,72 b	3,35 b	5,30 ab	y = 0,152**x + 2,7819**	0,52
Sudão	7,05 a	6,90 a	7,20 a	4,74 b	y = -0,0231*x ² + 0,2142*x + 6,8905**	0,87
Extração de K (kg ha ⁻¹)						
Volumax	10,81 b	15,58 a	11,07 a	10,32 b	não significativo	
F305	11,32 b	11,65 a	10,32 a	9,81 b	não significativo	
Sudão	21,11 a	15,33 a	12,99 a	14,58 a	y = 0,0737**x ² - 1,5439**x + 21,133**	0,99
Extração de Cu (g ha ⁻¹)						
Volumax	19,41 b	23,39 b	24,88 a	24,88 a	y = 0,3583*x + 20,451**	0,80
F305	19,41 b	23,41 b	25,87 a	25,88 a	y = 0,4379*x + 20,352**	0,86
Sudão	32,34 a	31,35 a	25,78 a	25,38 a	y = -0,5275**x + 32,692**	0,88
Extração de Zn (g ha ⁻¹)						
Volumax	77,63 a	81,11 a	73,64 a	75,14 ab	não significativo	
F305	78,63 a	70,66 a	79,62 a	57,72 b	não significativo	
Sudão	138,33 b	91,56 a	93,05 a	82,60 a	y = 0,3632*x ² - 8,7627**x + 135,32**	0,90

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As médias não seguidas de letras apresentaram interação significativa e sua análise estatística é mostrada nas próximas tabelas e figuras. **, * coeficiente de regressão significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Houve tendência de redução do acúmulo de K até a FL de 10,4%, com ajuste ao modelo quadrático, para a variedade Sudão. Nas variedades Volumax e F305 não foi possível o ajuste de equação de regressão (Tabela 6). O acúmulo de cobre aumentou linearmente com a FL nas variedades Volumax e F305, diferindo da variedade Sudão, a qual apresentou redução nos valores (Tabela 6). Na panícula, o acúmulo de Zn foi reduzido com o aumento da FL, assim como nas outras partes das plantas de sorgo (Tabela 6), sendo

possível o ajuste de modelo de regressão apenas na variedade Sudão.

4. DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados de extração de nutrientes de forma particionada por estrutura da planta permite uma melhor compreensão de como os nutrientes se distribuem nas plantas de sorgo. Os resultados de produtividades obtidos neste estudo se encontram próximos das

produtividades encontradas por Costa; Medeiros (2017) ao avaliar a produtividade de sorgo irrigado com água salina em condições semiáridas.

O uso de FL, principalmente quando se usam águas salina ou residuárias na irrigação, permite a redução da concentração dos sais da zona radicular, mitigando os efeitos tóxicos da salinidade para as plantas. Guimarães et al. (2016), avaliando o crescimento de variedades de sorgo forrageiro, e Simões et al. (2016), avaliando a distribuição de sais no perfil do solo após o cultivo irrigado da beterraba, ambos utilizando diferentes FL com efluentes salinos da piscicultura nas condições do Submédio do Vale do São Francisco, observaram que o aumento da FL promoveu redução da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) no perfil do solo e aumento no crescimento e produtividade das culturas. Em ambos os trabalhos, os pesquisadores relatam que isso se deve ao deslocamento de sais no bulbo úmido através do fluxo de massa.

Além disso, o uso de efluente de aquicultura rico em nutrientes, como N e P, e com a presença de microrganismos heterotróficos, aumentam a disponibilidade desses nutrientes no solo, podendo beneficiar o crescimento das plantas e reduzir custos com adubação. Oliveira et al. (2009), avaliando alterações nas características químicas do solo irrigado com efluente de piscicultura e água de poço tubular, na região de Mossoró-RN, observaram que as duas fontes, classificadas como baixo risco de salinização e sodificação (C2S1), alteraram as características químicas do solo, porém o efluente de piscicultura proporcionou um maior aumento nos teores dos sais do solo.

O potencial fitorremediador de forrageiras já fora observado por Santos et al. (2022) ao avaliarem o cultivo de erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl.), irrigada com água salina. Os mesmos verificaram que solos cultivados com erva-sal, irrigada com água salina, apresentaram reduções de 80%, 63% e 84% na condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio e valores de porcentagem de sódio trocável, respectivamente, concluindo que, essas alterações podem provocar melhorias na qualidade biológica e fertilidade do solo, com reflexo nos teores de carbono, fósforo e nitrogênio. Tais resultados corroboram com Silva et al. (2016), os quais afirmam que a fitorremediação é uma eficiente estratégia de recuperação de solos salinos e sódicos, tanto pela remoção considerável de sais, quanto pela melhoria da estruturação do solo e pelo incremento da atividade biológica. Neste sentido, as variedades que apresentam maior acúmulo de elementos (Sudão e Volumax) podem ser utilizadas como fitorremediadoras em áreas degradadas.

O aumento do acúmulo de N quando se utilizou FLs mais elevadas se deve, provavelmente, à redução dos níveis de salinidade no bulbo molhado, conforme observado por Guimarães et al. (2018) no cultivo do sorgo e Simões et al. (2016) no cultivo de beterraba. Há um antagonismo entre os íons Cl^- e NO_3^- na absorção pelas plantas, sendo que o excesso de um deles, na solução do solo, reduz a absorção do outro (ZHANG et al., 2021). Esse comportamento também foi observado por Zhang et al. (2021) em milho. Ressalta-se, também, que o aumento na absorção de N pode estar relacionado ao enriquecimento do solo com a matéria orgânica proveniente do efluente de piscicultura.

As respostas observadas para o acúmulo de potássio podem estar relacionadas ao aumento da relação Na/K no solo, proporcionando a lixiviação preferencial dos íons K^+ .

De acordo com Alves et al. (2015), a absorção deste íon pode ser reduzida pelo excesso de Na^+ ou Ca^{2+} no solo, em função da maior competição entre o Na^+ e o K^+ pelos sítios de absorção no plasmalema ou ainda pelo maior efluxo de K^+ das raízes, em função de distúrbios na integridade das membranas (SCHOSSLER et al., 2012). Além disso, o aumento da FL também pode ter proporcionado a movimentação desse cátion para as camadas mais profundas do solo, reduzindo sua absorção. Guimarães et al. (2016b) também observaram uma redução nos teores de K e aumento nos teores de Na no tecido foliar das plantas com o aumento da lixiviação.

Os acúmulos de Zn e Mn foram reduzidos com o aumento da FL, em todas as partes das plantas de sorgo, já o de Fe no colmo aumentou e o de cobre, tanto aumentou, quanto reduziu, dependendo da variedade e da parte da planta avaliada. Isso se deve, provavelmente, a redução nos valores de CE e aumento do pH do solo, determinados pelas diferentes FLs utilizadas, haja vista que a absorção de nutrientes irá variar em função destas variáveis de solo. Simões et al. (2016), avaliando a distribuição de sais no perfil do solo e a produtividade de cultivares de beterraba, submetidas a diferentes frações de lixiviação com efluente salino de piscicultura, nas condições do Vale do Submédio São Francisco, verificaram que o uso de FL de 10 e 15% proporcionaram melhor distribuição dos íons, permitindo, assim, maiores produtividades da cultura devido à redução nos valores de CE do solo. Além disso, a maior mobilidade do Zn e do Mn, em solos com textura franca e com baixa CTC, facilita as perdas por lixiviação, principalmente no uso de maiores FL, podendo, desta forma, diminuir a disponibilidade nas camadas mais superficiais do solo.

Resultados de pesquisas mostram controvérsias quanto aos efeitos da salinidade na absorção do nutriente fósforo. Freire et al. (2020) observaram que a salinidade reduz a concentração de P nos tecidos das plantas. Todavia, há pesquisas que mostram aumento (Navarro et al., 2001) ou nenhum efeito da salinidade sobre o acúmulo desse nutriente (RASHAD; HUSSIEN, 2014). Segundo Navarro et al. (2001), o efeito depende da disponibilidade de P na solução. A disponibilidade de fosfato no solo pode ser reduzida, tanto pelo aumento da força iônica da solução, que reduz a atividade desse íon, quanto pelo processo de sorção, que controlam a concentração de fosfato na solução do solo, e pela presença de minerais de baixa solubilidade, como os fosfatos de cálcio (P-Ca), ferro (P-Fe) e alumínio (P-Al).

5. CONCLUSÕES

O uso de efluente salino com diferentes frações de lixiviação altera o acúmulo de nutrientes nas diferentes partes da planta em cultivares de sorgo forrageiro.

A variedade Sudão foi a que apresentou maior extração total de nutrientes, seguida da Volumax e da F305.

6. REFERÊNCIAS

- ALVES, F. A. L.; SILVA, S. L. F.; MAIA, J. M.; FREITAS, J. B. S.; SILVEIRA, J. A. G. Regulação do acúmulo de Na^+ e resistência à salinidade em (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 20, n. 1, p. 1-10, 2015. <https://doi.org/10.12661/pap.2015.001>
- CASALI, C. A.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G.; CORCINI, A. L. M.; KAMINSKI, J.

- MELO, G. W. B. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1479-1487, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400012>
- COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; SOUZA, M. A.; SANTOS, J. E. Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 178-192, 2017. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p178-192>
- COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 6, n. 3, p. 169-177, 2017.
- DIAS, N. S.; SOUZA, A. C. M.; FERNANDES, C. S.; SARMENTO, J. D. A.; SILVA JUNIOR, C. C. Uso de rejeito salino para a produção de tilápias e forrageiras. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 23, n. 1, p. 47-51, 2021. <http://dx.doi.org/10.5935/2176-4158/rcpa.v23n1p47-51>
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica. 2. ed. Brasília, 2009. 627p.
- FREIRE, J. L. O.; NASCIMENTO, G. S.; MEDEIROS, A. K. A. Teores e acúmulos de nutrientes em mudas de maracujazeiros sob salinidade hídrica e uso de urina de vaca. **Nativa**, v. 8, n. 4, p. 464-475, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i4.10103>
- GOMES, S. O.; PITOMBEIRA, J. B.; NEIVA, J. N. M.; CANDIDO, M. J. D. Comportamento Agronômico e composição químico-bromatológica de cultivares de sorgo forrageiro no Estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 2, p. 221-227, 2006.
- GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; WILLADINO, L. G.; LOPES, I.; GALVÃO, K. de S. Teores de micronutrientes em plantas de sorgo forrageiro irrigadas com efluente salino de piscicultura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, p. 687-694, 2016a. <https://doi.org/10.7127/rbai.v10n300410>
- GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E.; WILLADINO, L. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 461-465, 2016b. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p461-465>
- GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; CAMARA, T. J. R.; SILVA, C. U. C.; WILLADINO, L. G. Antioxidant defenses of irrigated forage sorghum with saline aquaculture effluent. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 135-142, 2018. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n116rc>
- GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; OLIVEIRA, A. R.; SILVA, J. S.; BARROS, J. R. A.; WILLADINO, L. Management for grain sorghum cultivation under saline water irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 11, p. 755-762, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p755-762>
- MANSOUR, M. M. F.; EMAM, M. M.; SALAMA, K. H. A.; MORSY, A. A. Sorghum under saline conditions: responses, tolerance mechanisms, and management strategies. **Planta**, v. 254, n. 24, p. 1-38, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03671-8>
- NAVARRO, J. M.; BOTELLA, M. A.; CERDÁ, A.; MARTINEZ, V. Phosphorus uptake and translocation in salt-stressed melon plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 158, n. 3, p. 375-381, 2001. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00147>
- OLIVEIRA, H. do V. de; BEZERRA NETO, F.; AZEVEDO, C. M. da S. B.; LIMA, C. B.; GURGEL, G. C. de S. Alterações nas características químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo irrigado com efluente de piscicultura, em ambiente protegido. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 3, n. 1, p. 9-14, 2009. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v3i1.240>
- RASHAD, R. T.; HUSSIEN, R. A. A comparison study on the effect of some growth regulators on the nutrients content of maize plant under salinity conditions. **Annals of Agricultural Science**, v. 59, p. 89-94, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2014.06.013>
- SANTOS, M. A.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; ROCHA, A. T.; LUCENA, P. G.; LADISLAU, C. M. P.; MELO, H. F. Reclamation of Saline Soil under Association between *Atriplex nummularia* L. and Glycophytes Plants. **Agriculture**, v. 12, n. 8, e1124, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081124>
- SCHOSSLER, T. R.; MACHADO, D. M.; ZUFFO, A. M.; ANDRADE, F. R.; PIAULINO, A. C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de Plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 1563-1578, 2012.
- SILVA, W. P.; ALMEIDA, C. D. G. C.; ROLIM, M. M.; FRANÇA E SILVA, E. F.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, V. G. F. Monitoramento da salinidade de águas subterrâneas em várzea cultivada com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 394-401, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000400006>
- SILVA, Y. A. B.; SILVA, Y. J. A. B.; FREIRE, M. B. G. S.; LOPES, E. A. P. L.; SANTOS, M. A. *Atriplex nummularia* Lindl. as alternative for improving salt-affected soils conditions in semiarid environments: a field experiment. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 76, n. 3, p. 343-348, 2016. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000300012>
- SIMÕES, W. L.; YURI, J. E.; GUIMARÃES, M. J. M.; SANTOS, J. E.; ARAÚJO, E. F. J. Beet cultivation with saline effluent from fish farming. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 62-66, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n1p62-66>
- ZHANG, X.; FRANZISKY, B. L.; EIGNER, L.; GEILFUS, C. M.; ZORB, C. Antagonism of chloride and nitrate inhibits nitrate reductase activity in chloride stressed maize. **Plant Growth Regulation**, v. 93, p. 279-289, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00685-2>

Agradecimentos: Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus São Raimundo das Mangabeiras, pelo apoio institucional.

Contribuição dos autores: M. J. M. G. - Conceitualização, metodologia, análise estatística, validação, redação, revisão e edição; W. L. S. - Administração do projeto e supervisão; A. M. S. - Análise estatística, redação e revisão; J. R. A. B. - Investigação ou coleta de dados, revisão e edição.

Financiamento: *Não se aplica.*

Revisão por comitê institucional: *Não se aplica.*

Comitê de Ética: *Não se aplica.*

Disponibilização de dados: Os dados do estudo poderão ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente, via e-mail.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses. As entidades de apoio não tiveram qualquer papel na concepção do estudo; na coleta, análise ou interpretação de dados; na redação do manuscrito ou na decisão de publicação dos resultados.