

## CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E ACÚMULO DE FITOMASSA DO MILHETO SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA E ADUBAÇÃO ORGÂNICA

**JOSÉ RALIUSON INÁCIO SILVA<sup>1</sup>; EDUARDO SOUZA<sup>1</sup>; MAURÍCIO LUIZ DE MELLO VIEIRA LEITE<sup>1</sup>; GENIVAL BARROS JUNIOR<sup>1</sup>; JOSE ROMUALDO DE SOUSA LIMA<sup>2</sup> E ALDO TORRES SALES<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Avenida Gregório Ferraz Nogueira, s/n, José Tomé de Souza Ramos – CEP: 56909-535, Serra Talhada –PE, Brasil, [raliuson.silva@ufrpe.br](mailto:raliuson.silva@ufrpe.br), [eduardo.ssouza@ufrpe.br](mailto:eduardo.ssouza@ufrpe.br), [mauricio.leite@ufrpe.br](mailto:mauricio.leite@ufrpe.br), [genival.barrosjunior@ufrpe.br](mailto:genival.barrosjunior@ufrpe.br), [aldo.torres@ufrpe.br](mailto:aldo.torres@ufrpe.br)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Avenida Bom Pastor, s/n, Boa Vista – CEP:55292-270, Granhuns-PE, [romualdo.lima@ufape.edu.br](mailto:romualdo.lima@ufape.edu.br)

### 1 RESUMO

A utilização de água residuária pode aumentar a oferta hídrica e de alimentos em regiões semiáridas. Assim, objetivou-se estudar a dinâmica temporal das características estruturais e acúmulo de fitomassa do milho irrigado com diferentes lâminas de água cinza, com e sem adubação orgânica. A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido em esquema fatorial (4 x 2) + 1, com três repetições, sendo os fatores: níveis de água disponível do solo (25, 50, 75 e 100%) e doses de esterco (0 e 34 Mg ha<sup>-1</sup>), mais o tratamento controle (irrigação com água potável e sem adubação). Foram realizadas avaliações semanais das características estruturais: comprimento e diâmetro do colmo e número de perfilhos, folhas totais, folhas vivas e folhas mortas, sendo ajustados modelos matemáticos para descrever o comportamento dessas características ao longo do ciclo da cultura. Após 60 dias de aplicação dos tratamentos o milho foi colhido e determinou-se o acúmulo de fitomassa e massa de raízes. O modelo sigmoidal é o que melhor explica a dinâmica da maioria das características estruturais. A irrigação com águas cinzas não afetou as características estruturais, massa de raízes e o acúmulo de fitomassa do milho, sendo indicado adubação a fim de melhorar o seu desempenho.

**Palavras-chave:** *Pennisetum glaucum*, águas cinzas, dinâmica do crescimento, manejo de irrigação

**SILVA, J. R. I.; SOUZA, E.; LEITE, M. L. M. V.; BARROS JUNIOR, G.; LIMA, J. R. S.; SALES, A. T.**

**STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND PHYTOMASS ACCUMULATION OF MILLET UNDER DIFFERENT IRRIGATION REGIMES WITH WASTEWATER AND ORGANIC FERTILIZATION**

## 2 ABSTRACT

The use of wastewater can increase the water and food supply in semi-arid regions. Thus, the objective was to study the temporal dynamics of structural characteristics and the accumulation of phytomass in millet irrigated with different depths of greywater, with and without organic fertilization. The research was conducted under greenhouse conditions in a factorial scheme  $(4 \times 2) + 1$  with three replications, the factors being levels of water available from the soil (25, 50, 75 and 100%) and manure doses (0 and 34 Mg ha<sup>-1</sup>), plus control treatment (irrigation with drinking water and without fertilization). It was performed weekly evaluations of structural characteristics: stem length and diameter, and number of tillers, total leaves, live leaves and dead leaves. Mathematical models were adjusted to describe the behavior of these characteristics throughout the cycle. After 60 days of the application of the treatments, millet was harvested and the accumulation of phytomass and root mass was determined. The sigmoidal model best explains the dynamics of most structural features. The irrigation with greywaters did not affect the structural characteristics, root mass and phytomass accumulation of millet, and fertilization is indicated to improve its performance.

**Keywords:** *Pennisetum glaucum*, greywaters, growth dynamics, irrigation management

## 3 INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é caracterizada por elevada evapotranspiração e variabilidade na distribuição espaço-temporal das chuvas, comprometendo a recarga dos corpos hídricos e causando instabilidade na produção agropecuária (SILVA et al., 2017). A limitação de água ao longo do ciclo das plantas promove o estresse hídrico, sendo este um dos principais estresses abióticos que limita a produção das culturas, podendo tornar-se ainda mais severo em cenários climáticos futuros (REDDY et al., 2017).

A utilização de água de esgoto doméstico na irrigação é uma alternativa de manejo que busca minimizar a escassez hídrica nas regiões que sofrem déficit hídrico ao longo do ano (LARSEN et al., 2001). Além disso, a redução da lâmina de irrigação também tende a promover um uso mais racional dos recursos hídricos. Contudo, restringir o fornecimento de água pode acarretar em impactos significativos no rendimento das culturas, pois o estresse hídrico promove uma série de danos ao metabolismo das plantas como redução da

fotossíntese, redução da divisão celular, maior gasto energético e produção de espécies reativas de oxigênio (FAROOQ et al., 2019).

Para minimizar os impactos do estresse hídrico, alguns autores dedicam-se ao estudo de adubações, pois plantas com equilíbrio nutricional adequado possuem uma eficiência no uso da água (WARAICH et al., 2011). A adubação também é recomendada em cultivos irrigados com água residuária, pois os nutrientes dissolvidos neste tipo de água podem não ser suficientes para um pleno desenvolvimento da cultura (SANTOS JÚNIOR et al., 2015; LARSEN et al., 2001).

A cultura do milheto (*Pennisetum glaucum*) vem se destacando nos últimos anos, por se adaptar a elevadas temperaturas, déficit hídrico e salinidade (NELSON et al., 2018; SILVA et al., 2018). Além disso, pode substituir o milho (espécie mais exigente em água e nutrientes) na dieta animal (SILVA et al., 2020). Para compreender as respostas das plantas ao manejo do ambiente, têm-se avaliado ao longo do ciclo das plantas diversas características estruturais (altura de plantas, número de folhas vivas e mortas,

diâmetro de colmo, entre outras) (ALMEIDA et al., 2021). Contudo, esse tipo de estudo gera uma grande quantidade de informações, pois na maioria das vezes essas análises são realizadas semanalmente. Assim, torna-se necessário aplicar técnicas que reduzam esta quantidade de informações sem comprometer o entendimento da dinâmica de crescimento da planta.

O estudo de curvas de crescimento via modelos não lineares permite reduzir informações presentes no conjunto de dados, resumindo-as em apenas alguns parâmetros/ou curvas com interpretações práticas (NASCIMENTO et al., 2017). Compreender a dinâmica das interações entre as características estruturais das plantas e o manejo da irrigação é essencial, pois essas características estão correlacionadas com o rendimento de grãos e forragem. Mudanças nas características estruturais do milheto são indicativos de estresse, assim, a avaliação dessas características é eficiente para identificar respostas ao manejo do ambiente em um curto espaço de tempo (ALMEIDA et al., 2021).

Diante do contexto, objetivou-se estudar a dinâmica temporal das características estruturais, massa de raízes e o acúmulo de fitomassa, do milheto (*Pennisetum glaucum*) irrigado com diferentes lâminas de água residuária (água cinza), com e sem adubação orgânica, em região semiárida do estado de Pernambuco.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, semiárido pernambucano (altitude: 429 metros, latitude: 7° 56' 15" S e longitude: 38° 18' 45" O). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é

do tipo BShw' semiárido, quente e seco. As condições meteorológicas (médias diárias) do ambiente protegido durante a condução do experimento foram temperatura do ar de 30,09±1,57 °C e umidade relativa do ar de 44,00±5,48%.

Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial (4 x 2) + 1 com três repetições, sendo o primeiro fator estudado as lâminas de irrigação com água residuária cinza em função das frações de água disponível (AD) do solo (25, 50, 75 e 100%); e, o segundo fator as condições de adubação orgânica (com e sem aplicação de esterco bovino). Já a testemunha (tratamento controle), recebeu irrigação com água do abastecimento urbano com lâmina equivalente a 100% da água disponível do solo e não recebeu adubação. Assim o experimento contou com nove tratamentos (T1 - 25% de AD sem adubação, T2 - 50% de AD sem adubação, T3 - 75% de AD sem adubação, T4 - 100% de AD sem adubação, T5 - 25% de AD com adubação, T6 - 50% de AD com adubação, T7 - 75% de AD com adubação, T8 - 100% de AD com adubação e T9 - tratamento controle).

A água residuária (Tabela 1) foi coletada a partir de um sistema de captação de água cinza proveniente do banho, da cozinha e da lavagem de roupa de uma residência rural. Após ser coletada, a água cinza era tratada por um sistema de filtragem composto por uma caixa de retenção de gordura e um tanque de filtragem formado por uma camada superficial de carvão vegetal, seguidas por uma camada de brita grossa, areia grossa, areia fina e brita fina, respectivamente, cuja função é reter as partículas maiores da própria gordura, restos de sabão e orgânicos que não foram retidos na caixa de gordura. Por fim, a água era direcionada para um tanque tranquilizador, onde posteriormente era captada e utilizada na irrigação do milheto.

**Tabela 1.** Análise química da água de abastecimento urbano (AA) e da água residuária cinza (AR) utilizadas na irrigação do milho.

Componentes	AA	AR	Componentes	AA	AR
Cálcio (mmol L <sup>-1</sup> )	0,64	2,2	Cloro (mmol L <sup>-1</sup> )	0,60	9,60
Magnésio (mmol L <sup>-1</sup> )	0,48	0,68	Cobre (mg L <sup>-1</sup> )	0,04	0,06
Sódio (mmol L <sup>-1</sup> )	0,32	17,04	Ferro (mg L <sup>-1</sup> )	0,08	0,08
Potássio (mmol L <sup>-1</sup> )	0,07	0,46	Manganês (mg L <sup>-1</sup> )	0,03	0,05
Carbonato (mmol L <sup>-1</sup> )	0,00	0,24	Zinco (mg L <sup>-1</sup> )	0,05	0,05
Bicarbonato (mmol L <sup>-1</sup> )	0,40	4,00	pH	7,20	7,75
Sulfatos (mmol L <sup>-1</sup> )	0,04	0,17	CE (dS m <sup>-1</sup> )	0,20	0,98
RAS	0,27	8,69	Classificação da água*	C1S1	C3S2

\*Classificação quanto ao risco de salinização e sodificação proposta por Richards (1954): C1S1 – baixo risco de salinização e sodificação, C3S2 – Alto risco de salinização e moderado risco de sodificação. RAS – Razão de Adsorção de Sódio, CE – Condutividade elétrica.

Os vasos utilizados no ensaio tinham capacidade para 18 dm<sup>3</sup> e foram preenchidos com solo até atingir a densidade de 1,30 g cm<sup>-3</sup>. O solo, classificado Cambissolo Háplico, foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade, após ser destorroado e peneirado (malha de 4 mm), as características químicas e físicas desse solo foram determinadas e são apresentadas na Tabela 2. Para os tratamentos que receberam

adubo orgânico, o mesmo foi adicionado ao solo e homogeneizado para posterior preenchimento dos vasos, sendo adicionado 645 g de esterco bovino por vaso, equivalente a 34 Mg ha<sup>-1</sup>, dose suficiente para o pleno crescimento do milho (NICOLAU SOBRINHO et al., 2009), as características químicas do esterco também são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características químicas e textural do Cambissolo Háplico coletado na camada de 0-20 cm de espessura e composição química do esterco bovino utilizado como adubação orgânica no cultivo do milho.

Análise de solo (0-20 cm)										
Química							Textura			
pH	P	K	Na	Ca	Mg	H+Al	MO	Areia	Silte	Argila
	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%	%		
7,1	40,0	0,88	0,11	1,20	0,10	1	1,24	73,6	15,9	10,5
Análise do esterco										
	N	P	K	Ca	Mg	C	C/N			
	g kg <sup>-1</sup>									
	10,4	5,28	10,5	11,2	6,8	113,3	10,8			

pH - potencial hidrogeniônico, P – fósforo, K – potássio, Na - sódio, Ca – cálcio, Mg – magnésio, H – hidrogênio, Al – alumínio, MO – matéria orgânica, N – nitrogênio, C – carbono.

Para definição da água disponível do solo (AD), foi determinada a umidade do solo na capacidade máxima de retenção dos vasos (CRV), seguindo a metodologia de Casaroli e Jong van Lier (2008), e do ponto de murcha permanente (PMP), submetendo as amostras de solo indeformadas à uma pressão de 15 ATM em extrator de Richards. A AD foi determinada pela diferença entre CRV e PMP. Os procedimentos descritos para determinação da AD foram realizados para amostras de solo com e sem esterco, obtendo os seguintes resultados: para o solo sem esterco 0,18 g g<sup>-1</sup> e 0,03 g g<sup>-1</sup> referente à CRV e PMP, respectivamente; e para o solo com esterco 0,20 g g<sup>-1</sup> e 0,05 g g<sup>-1</sup> referente à CRV e PMP, respectivamente.

Na ocasião da semeadura, foram distribuídas seis sementes de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), cultivar IPA-Bulk-1 BF, por vaso. Do semeio até o décimo quinto dia, foi considerado como período de formação do estande. Todos os vasos foram irrigados diariamente com água potável, mantendo-se o solo sempre na capacidade de campo. Após esse período, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. Em seguida, iniciou-se a aplicação das diferentes lâminas de água residuária (água cinza) com base nas frações de água disponível do solo (25, 50, 75 e 100% AD). As irrigações foram realizadas diariamente, repondo-se a massa de água perdida pelo processo de evapotranspiração pesando-se os vasos.

Após o início da aplicação dos tratamentos (DAT) o experimento foi conduzido por 60 dias. Semanalmente, foram realizadas medidas das características estruturais do milho: comprimento do colmo (medindo-se da base da planta até o último nó); número de folhas vivas (sendo considerada folha viva a que estava totalmente expandida e apresentava mais de 50% da área foliar sem estar comprometida pela senescência); número de folhas mortas (folhas que apresentavam mais de 50% da área foliar comprometida pela senescência);

número de folhas totais (soma do número de folhas vivas mais o número de folhas mortas); diâmetro do colmo (medido com um paquímetro a 3,0 cm da superfície do solo) e o número de perfilhos por planta.

Para cada característica estrutural avaliada foram ajustados modelos matemáticos não lineares, quadrático (Equação 1) e sigmoidal (Equação 2) para descrever o comportamento das características estruturais ao longo do período experimental (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2014). Sendo considerado como variável independente o dia da avaliação (considerando dia zero o início da aplicação dos tratamentos) e variável dependente as características estruturais.

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{a}{1 + \exp(-(X_i - X_0)/b)} \quad (2)$$

Em que:  $Y_i$  = variável dependente;  $X_i$  = variável independente;  $b_0$ ,  $b_1$  e  $b_2$  = coeficientes de ajuste da equação de segundo grau; e  $a$ ,  $X_0$  e  $b$  = coeficientes de ajuste do modelo sigmoidal.

Ao final do experimento (60 DAT), as plantas foram cortadas rente ao solo para determinação da fitomassa. Também foram coletadas as raízes de cada parcela experimental, sendo que o solo foi retirado do vaso, destorroado e passado em peneira (malha de 4 mm) para retenção das raízes e posterior lavagem em água corrente. Para determinação da matéria seca, após esses procedimentos, a parte aérea e as raízes foram acomodadas em estufa a 65 °C até atingir peso constante (DETMANN et al., 2012).

Os dados foram submetidos inicialmente aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade de Cochran. Para avaliar a influência dos tratamentos no acúmulo de massa na parte

aérea e raiz foi aplicada análise de variância (teste F a 5%) e realizado ajuste de regressão para fatores quantitativos e teste de Tukey (5%) para fatores qualitativos. O programa utilizado para realizar as análises estatísticas, ajuste de modelos matemáticos e confecção dos gráficos foi o software R (TEAM CORE R, 2017).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis comprimento de colmo (CC), diâmetro de colmo (DC), número de perfilhos (NP), número de folhas totais (NFT) e número de folhas mortas (NFM) se ajustaram ao modelo sigmoidal, enquanto o

número de folhas vivas (NFV) foi a única variável a se ajustar ao modelo quadrático. Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes dos modelos ajustados aos seus respectivos tratamentos. O parâmetro 'a' do modelo sigmoidal (Equação 2) está relacionado ao valor máximo que a característica estrutural atingiu. Assim, nota-se que para as características CC, NP, NFT e NFM os tratamentos que receberam adubação orgânica e foram irrigados com as maiores frações de água disponível do solo (100%, 75% e 50%), obtiveram maiores valores para esse parâmetro, indicando um maior crescimento das plantas sob estes tratamentos.

**Tabela 3.** Coeficientes dos modelos sigmoidal e regressão quadrática ajustados a partir dos dados medidos nas plantas de milho sob diferentes lâminas de água residuária cinza, com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha<sup>-1</sup> de esterco bovino).

Trat.	Comprimento do colmo (CC)			Diâmetro do colmo (DC)			Número de perfilhos (NP)		
	a	X0	b	a	X0	b	a	X0	b
T1	89,01	23,93	6,28	9,07	11,76	5,17	3,00	14,36	0,50
T2	83,50	19,95	4,25	8,12	11,21	7,19	2,28	6,09	0,98
T3	86,44	22,18	4,58	8,53	10,10	8,36	2,57	6,32	1,36
T4	76,87	21,07	4,88	8,55	10,54	3,52	2,71	6,57	1,41
T5	114,0	19,07	4,36	10,19	7,27	3,72	4,15	9,30	4,31
T6	95,19	15,43	4,56	9,02	8,79	3,49	5,34	14,51	5,00
T7	93,16	17,51	4,92	9,93	10,22	2,90	3,79	10,72	4,89
T8	76,44	18,43	5,70	9,05	11,68	3,17	3,10	8,63	4,54
T9	82,26	23,60	7,50	8,42	10,74	5,05	2,92	9,93	4,82

Trat.	Nº de folhas totais (NFT)			Número de folhas vivas (NFV)			Número de folhas mortas (NFM)		
	a	X0	b	b0	b1	b2	a	X0	b
T1	15,49	11,49	6,19	1,36	0,58	-0,006	11,57	83,69	7,98
T2	20,04	15,64	9,47	3,04	0,45	-0,005	8,54	33,91	7,48
T3	19,41	13,76	7,56	2,35	0,59	-0,007	7,88	32,43	7,31
T4	18,13	11,51	6,65	3,04	0,58	-0,009	12,10	35,49	7,60
T5	30,56	15,60	6,39	2,67	0,81	-0,009	13,93	30,05	6,15
T6	32,66	15,54	6,00	1,93	1,07	-0,013	13,74	29,46	4,56
T7	29,04	14,14	5,63	2,18	0,97	-0,013	12,75	29,86	5,02
T8	25,03	14,71	5,81	1,08	0,96	-0,014	13,36	32,06	5,66
T9	19,44	13,92	6,35	1,47	0,70	-0,009	8,12	33,21	7,39

a, X0 e b - coeficientes do modelo sigmoidal; b0, b1 e b2 - coeficientes do modelo de segundo grau; AD - água disponível do solo; T1 - 100% de AD sem esterco, T2 - 75% de AD sem esterco, T3 - 50% de AD sem esterco, T4 - 25% de AD sem esterco, T5 - 100% de AD com esterco, T6 - 75% de AD com esterco, T7 - 50% de AD com esterco, T8 - 25% de AD com esterco e T9 - controle.

Já o parâmetro 'X0' indica com quantos dias as plantas de milho atingem 50% do valor máximo da característica estrutural, sendo que quanto menor esse valor mais rápido as plantas atingem a fase reprodutiva. As plantas irrigadas com 100, 75 e 50% da AD do solo apresentaram menores valores para esse parâmetro nas

características estruturais CC, NP, NFT e NFM. Isto sugere que plantas de milho bem hidratadas tem crescimento mais acelerado e conseguem atingir o ciclo reprodutivo mais rápido do que plantas sob restrição hídrica.

O número de folhas vivas (NFV) se ajustou melhor à regressão quadrática

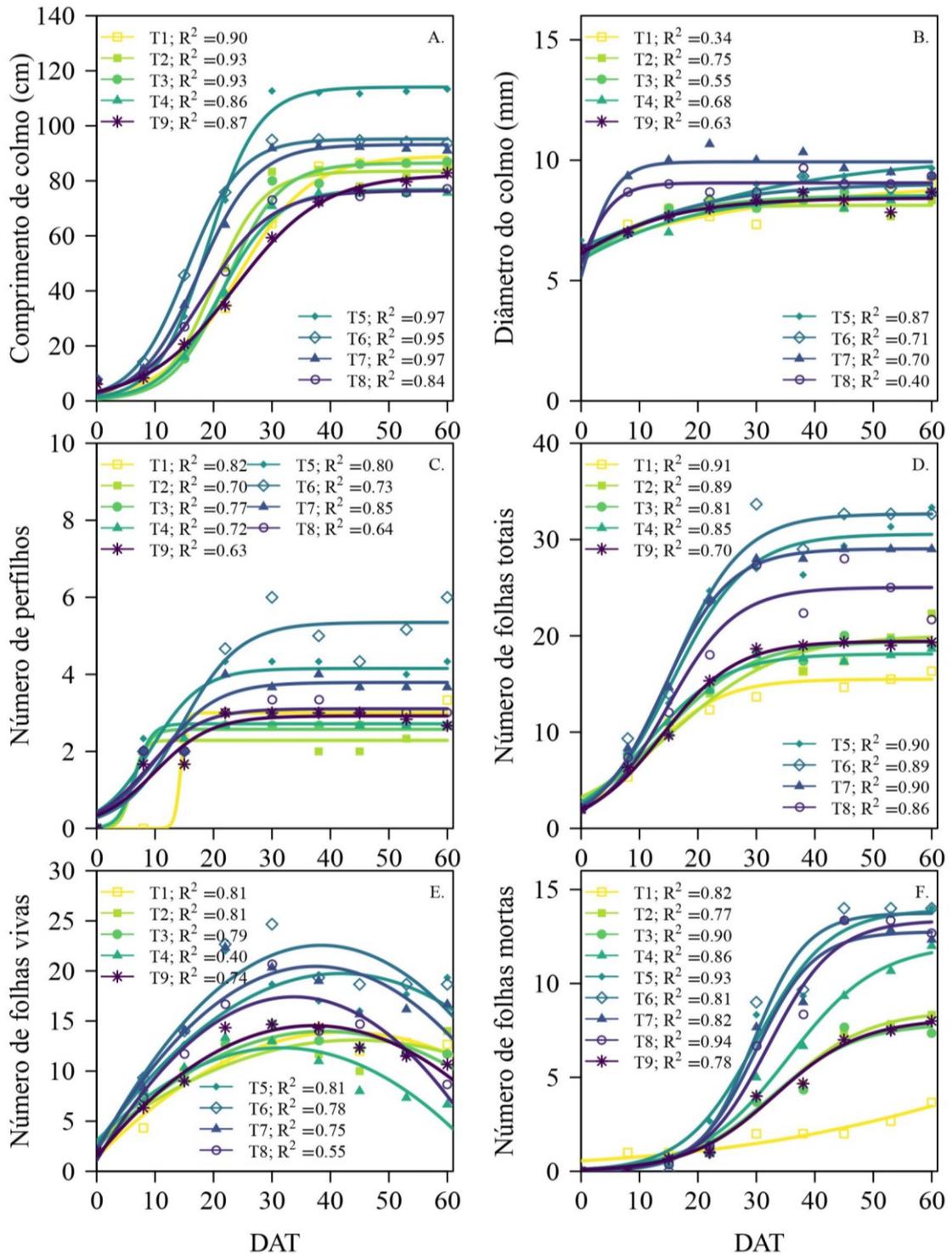
(Tabela 3), o que possibilitou, após a derivação da regressão, obtenção do  $X_{\max}$  (dia que ocorre o maior NFV). As plantas sem adubação apresentaram o maior NFV aos 48, 45, 42 e 32 dias, para as respectivas frações de 100, 75, 50 e 25% de AD do solo. Já nas plantas adubadas o maior NFV foi alcançado aos 45, 41, 37 e 34 dias, seguindo a ordem decrescente das frações de AD do solo. Independentemente da presença ou ausência da adubação, os valores de  $X_{\max}$  reduzem em função do menor suprimento de água. Indicando que as plantas de milho sob deficiência hídrica, tendem a apresentar o pico máximo do NFV mais rapidamente ao longo do ciclo da cultura. Assim, cultivos de milho com limitações hídricas devem ser constantemente monitorados para que a quantidade de folhas mortas não alcance uma proporção que possa prejudicar a qualidade da forragem.

A eficiência de predição dos modelos foi avaliada através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Figura 1); sendo a maioria dos ajustes satisfatórios, com o  $R^2$  acima de 0,8. O comprimento de colmo (CC) apresentou um crescimento acelerado entre os 10 e 35 DAT, estabilizando após esse período (Figura 1A). Os tratamentos adubados tiveram maior CC em todos os tempos de avaliação em comparação com aqueles não adubados. As plantas adubadas apresentaram um maior crescimento, pois o fornecimento adequado de nutrientes acelera o processo de diferenciação e, consequentemente, expansão tecidual (LI et al., 2013). O CC sofreu reduções com a diminuição das lâminas de irrigação, sendo

que essa redução foi mais drástica para os tratamentos que receberam adubação, chegando a ter uma redução de 34% ao compararmos os resultados médios obtidos para a maior lâmina de irrigação (100% de AD) com os da menor lâmina (25% de AD). O déficit hídrico promove uma menor diferenciação celular e menor número de células, comprometendo a expansão dos tecidos vegetais das plantas (TARDIEU; GRANIER; MULLER, 2011).

Para as plantas irrigadas com 75 e 50% da AD, houve uma redução no comprimento de colmo de apenas 15%, em comparação àquelas irrigadas com 100% de AD. Em contrapartida, nos tratamentos que não receberam adubação, o CC obteve baixa variação (<4%) entre as três maiores lâminas de irrigação (100, 75 e 50% AD). Esses resultados sugerem uma tolerância do milho ao déficit hídrico, suportando uma redução de até 50% da água disponível do solo, sem comprometer significativamente o comprimento do colmo. Essa tolerância do milho ao estresse hídrico pode estar associada ao aumento na expressão de determinados genes e proteínas que determinam os padrões na regulação e transporte de água na planta (REDDY et al., 2017); e também, o acúmulo de osmólitos compatíveis (prolina, aminoácidos livres e açúcar solúveis) que contribuem para que o milho faça um ajustamento osmótico, reduzindo o potencial hídrico celular e facilitando a absorção de água pela planta mesmo sob déficit (MARVIYA; VAKHARIA, 2016).

**Figura 1.** Dinâmica temporal das características estruturais de milho sob diferentes níveis de água residuária cinza, com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha<sup>-1</sup> de esterco bovino); DAT – dias após aplicação dos tratamentos; AD – água disponível do solo; T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco e T9 – controle.



O diâmetro do colmo (DC) foi a variável que menos respondeu aos tratamentos aplicados, uma vez que não foram observadas diferenças consideráveis em função da limitação hídrica ou da adubação, estabilizando-se aos 20 DAT (Figura 1B). O diâmetro do colmo é um componente estrutural importante e está associado com o índice de tombamento das plantas, sendo que quanto maior o DC, menor será esta característica (COSTA et al., 2016). Assim, pode-se afirmar que a irrigação deficitária e a água cinza não prejudicaram essa característica estrutural importantíssima.

O número de perfilhos apresentou estabilidade a partir dos 10 DAT nas plantas sem adubação, e aos 30 DAT nas plantas adubadas (Figura 1C). O nível de água disponível do solo (AD) não influenciou na dinâmica do número de perfilhos nos tratamentos sem adubação. Já para os tratamentos que receberam adubação, o número de perfilhos decresce com o nível de AD do solo. Ocorreu uma estabilização do número de folhas totais (NFT) das plantas a partir dos 30 DAT (Figura 1D). Nos tratamentos sem adubação, a dinâmica do NFT não sofreu alterações significativas em função da AD do solo, contudo, as plantas adubadas apresentaram um decréscimo no NFT em função da redução da AD.

Assim como nas demais características estruturais, o número de folha vivas (NFV) obteve melhor desempenho em tratamentos adubados (Figura 1E). A existência de mais folhas por unidade de área tende a aumentar a absorção de CO<sub>2</sub> e maximizar a produtividade (THARANYA et al., 2018). Quando submetidos ao maior nível de restrição hídrica (25% de AD), as plantas sofreram uma redução mais acentuada no NFV (principalmente o tratamento adubado – T8). Plantas de milho adubadas apresentam incremento significativo na área foliar, contudo, quando elas são submetidas ao estresse hídrico tendem a sofrer mais os efeitos da restrição

hídrica (senescência foliar), pois possuem uma maior superfície transpirante (AFFHOLDER, 1995).

O número de folhas mortas (NFM) tende a uma estabilização a partir dos 45 DAT (Figura 1F). As plantas adubadas, independentemente do nível de água disponível no solo obtiveram os maiores valores no NFM, consequência da maior emissão do NFV na fase inicial de crescimento (Figura 1E). O processo de desenvolvimento da folha finda com sua senescência, enquanto sua velocidade e intensidade são influenciadas por fatores ambientais (temperatura do ar e disponibilidade de água), manejo da colheita, disponibilidade de nitrogênio no solo e fatores genéticos (PEREIRA et al., 2011)

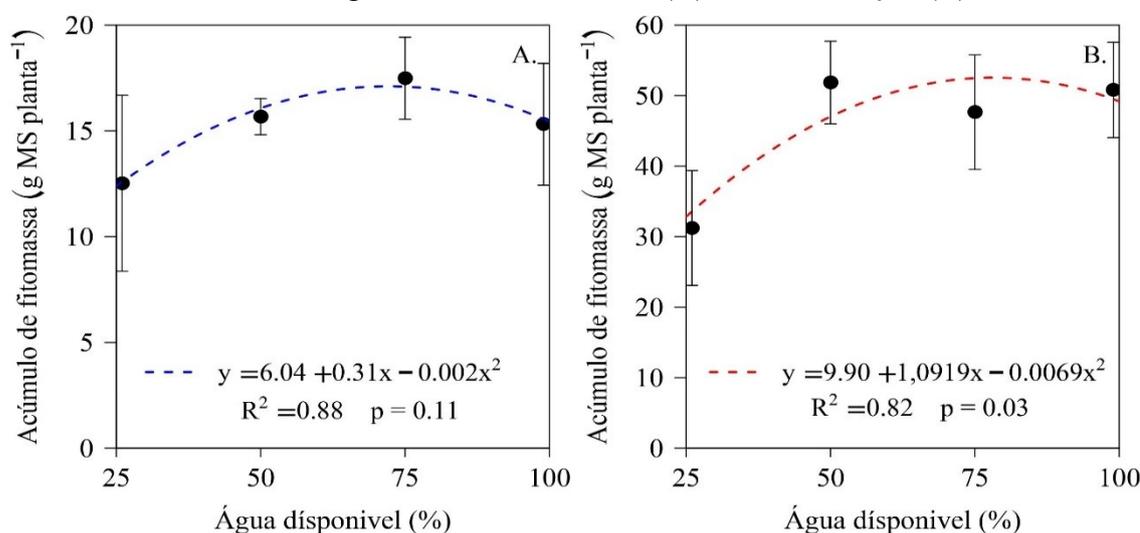
A adubação orgânica aumentou a fitomassa do milho em mais de 100%, independentemente do nível de água disponível do solo (Figura 2). O acúmulo de fitomassa no milho irrigado com água de abastecimento urbano (T9 – controle), igualou-se às plantas irrigadas com água cinza e que não receberam adubação (15,22 g de MS planta<sup>-1</sup>). Isso demonstra que a água cinza não comprometeu o acúmulo de fitomassa, contudo, também não disponibilizou nutrientes para incremento do rendimento do milho.

A água cinza, geralmente, possui uma baixa quantidade de nutrientes dissolvidos devido à sua origem, que não conta com dejetos das latrinas residenciais (LARSEN et al., 2001). Em experimento com milho irrigado com água residual, o acréscimo de 4,5% de urina humana no volume dessa água, proporcionou acúmulo de fitomassa similar às plantas sob fertilização mineral e irrigadas com água de boa qualidade (SANTOS JÚNIOR et al., 2015). O milho apesar de se desenvolver bem em solos arenosos, de baixa fertilidade, responde à adubação devido sua capacidade de translocação de nutrientes (UPPAL et al., 2015).

As plantas de milho sem adubação não sofreram influência significativa dos níveis de AD do solo sobre o acúmulo de fitomassa, não sendo possível ajustar nenhum modelo matemático significativo (Figura 2A). Quando o milho é adubado, ocorre um aumento da área foliar nas fases iniciais de crescimento, contudo, quanto maior a área foliar, maior o estresse hídrico, pois as plantas de milho demandarão mais água (AFFHOLDER, 1995). Os efeitos do estresse hídrico ainda dependem do manejo

da irrigação, sendo que quanto menor o intervalo entre os eventos de irrigação, menor será o efeito desse estresse (ISMAIL; EL-NAKHLAWY; BASAHI, 2018). Além disso, deve-se considerar que os tratamentos sem adubação tendem a ter área foliar semelhante, como indica a dinâmica no número de folhas vivas (Figura 1D), conseqüentemente, tendem a ter transpiração semelhante.

**Figura 2.** Produção de fitomassa seca em função da água disponível do solo em milho adubado com 34 Mg ha<sup>-1</sup> de esterco bovino (A) e sem adubação (B).

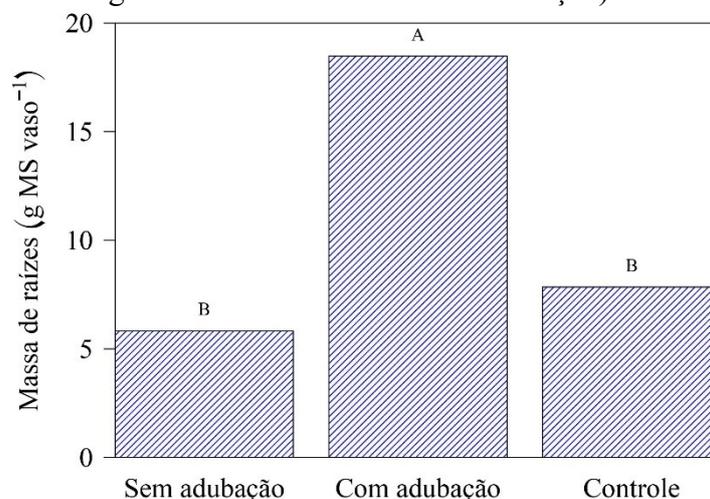


Quando as plantas de milho foram adubadas houve efeito significativo do nível de água disponível do solo, sendo que a equação polinomial do segundo grau foi a que melhor se ajustou para descrever esse comportamento (Figura 2B). Ao derivar a equação polinomial encontrou-se o máximo acúmulo de fitomassa com 79% de AD, ocorrendo uma tendência de decréscimo a partir desse ponto (Figura 2B). A redução do acúmulo de fitomassa foi mais significativa nas plantas irrigadas com 25% de AD. Entretanto, a irrigação com até 50% de AD não promoveu redução significativa da fitomassa do milho. A resposta do milho à irrigação deficitária está associada ao metabolismo da planta, que regula a abertura e o fechamento estomático, pressão

osmótica e expressão de genes tolerantes à seca (GHATAK et al., 2015).

Assim como ocorreu com as características estruturais e com o acúmulo de matéria seca da parte aérea, a massa seca de raízes não foi beneficiada de forma significativa pela irrigação com água cinza (Figura 3). No entanto, a adubação com esterco bovino favoreceu o crescimento das raízes, aumentando a massa seca das mesmas em 3,6 vezes em comparação com os tratamentos sem adubação. O incremento na massa de raízes é importante, pois a mesma possui forte associação com o rendimento de grãos, acúmulo de fitomassa e transpiração das plantas de milho (THARANYA et al., 2018).

**Figura 3.** Massa seca de raízes de plantas de milho irrigadas com residuária (água cinza) sem e com adubação orgânica (0 e 34 Mg ha<sup>-1</sup> de esterco bovino), e o tratamento controle (irrigado com água do abastecimento e sem adubação).



## 6 CONCLUSÃO

A irrigação com águas cinzas na cultura do milho não compromete as características estruturais, os acúmulos de fitomassa e massa de raízes, entretanto, quando a irrigação com água cinza é associada à adubação orgânica, ocorre um melhor desempenho das características estruturais e acúmulo de biomassa.

O milho, quando adubado, pode ser irrigado com até 50% da água disponível do solo sem que haja comprometimento de forma significativa no desempenho da cultura.

Apesar do menor crescimento e rendimento, as plantas de milho sem adubação podem ser irrigadas mantendo-se

até 25% de água disponível do solo, sem comprometer o desenvolvimento da cultura.

## 7 AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve apoio do Observatório Nacional da Dinâmica da Água e do Carbono no Bioma Caatinga - ONDACBC, apoiado pela FACEPE (outorgas: APQ-0296-5.01 / 17; APQ-0498-3.07 / 17 ONDACBC; APQ-0532-5.01/14) e CNPq (processos: 435508/2018-0; 312984/2017-0). Além disso, o primeiro autor (José Ralison I. Silva) agradece o apoio da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco pela concessão da bolsa de mestrado (IBPG-1786-5.01/16).

## 8 REFERÊNCIAS

AFFHOLDER, F. Effect of organic matter input on the water balance and yield of millet under tropical dryland condition. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 41, n. 2, p. 109-121, 1995.

ALMEIDA, M. C. R. D.; LEITE, M. L. M. V.; SOUZA, L. S. B. D.; SIMÕES, V. J. L. P.; PESSOA, L. G. M.; LUCENA, L. R. R. D.; SÁ JÚNIOR, E. H. D. Agronomic characteristics

of the *Pennisetum glaucum* submitted to water and saline stresses. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 43, n. 1, p. 1-11, 2021.

CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 59-66, 2008.

COSTA, R. F.; PIRES, D. A. D. A.; MOURA, M. M. A.; SALES, E. C. J. D.; RODRIGUES, J. A. S.; RIGUEIRA, J. P. S. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 2, p. 127-133, 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2014. 480 p.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVEDO, J. A. G. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 214 p.

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; UL-ALLAH, S.; SIDDIQUE, K. H. Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 219, n. 1, p. 95-108, 2019.

GHATAK, A.; CHATURVEDI, P.; NAGLER, M.; ROUSTAN, V.; LYON, D.; BACHMANN, G.; WECKWERTH, W. Comprehensive tissue-specific proteome analysis of drought stress responses in *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. (Pearl millet). **Journal of Proteomics**, Amsterdam, v. 143, n. 1, p. 122-135, 2015.

LARSEN, T. A.; PETERS, I.; ALDER, A.; EGGEN, R.; MAURER, M.; MUNCKE, J. Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 35, n. 9, p. 192-197, 2001.

LI, D.; TIAN, M.; CAI, J.; JIANG, D.; CAO, W.; DAI, T. Effects of low nitrogen supply on relationships between photosynthesis and nitrogen status at different leaf position in wheat seedlings. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 70, n. 3, p. 257-263, 2013.

ISMAIL, S. M.; EL-NAKHLAWY, F. S.; BASAHI, J. M. Sudan grass and pearl millets productivity under different irrigation methods with fully irrigation and stresses in arid regions. **Grassland Science**, Tochigi, v. 64, n. 1, p. 29-39, 2018.

MARVIYA, G. V.; VAKHARIA, D. N. Effect of terminal water stress and benzyl adenine on osmoregulants in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] genotypes. **Indian Journal of Agricultural Biochemistry**, Nova Delhi, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2016.

NASCIMENTO, C. A. M. S.; RIBEIRO, M. N.; ROCHA, L. L.; LUCENA, L. R. R. Avaliação de curvas de crescimento em suínos. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 66, n. 255, p. 317-323, 2017.

NELSON, W. C. D.; HOFFMANN, M. P.; VADEZ, V.; ROETTER, R. P.; WHITBREAD, A. M. Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 217, n. 1, p. 150-166, 2018.

NICOLAU SOBRINHO, W.; SANTOS, R. V.; JUNIOR, J. C. M.; SOUTO, J. S. Acúmulo de nutrientes nas plantas de milho em função da adubação orgânica e mineral. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 107-110, 2009.

PEREIRA, O. G.; ROVETTA, R.; RIBEIRO, K. G.; SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M. D.; CECON, P. R. Características morfológicas e estruturais do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 9, p. 1870-1878, 2011.

REDDY, P. S.; THARANYA, M.; SIVASAKTHI, K.; SRIKANTH, M.; HASH, C. T.; KHOLOVA, J.; SHARMA K. K.; VADEZ, V. Molecular cloning and expression analysis of Aquaporin genes in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.] genotypes contrasting in their transpiration response to high vapour pressure deficit. **Plant Science**, Limerick, v. 265, n. 6, p. 167-176, 2017.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. New York: LWW, 1954.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; SOUZA, C. F. D.; PÉREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. R.; MEDEIROS, S. D. S. Interação urina e efluente doméstico na produção do milho cultivado em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 5, p. 456-463, 2015.

SILVA, J. R. I.; SOUZA, R. M. S.; SANTOS, W. A.; ALMEIDA, A. Q.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. **Scientia Plena**, Aracajú, v. 13, n. 10, p. 1-10, 2017.

SILVA, J. R. I.; JARDIM, A. M. R. F.; BARROSO NETO, J.; LEITE, M. L. M. V.; TEIXEIRA, V. I. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuara, v. 11, n. 3, p. 127-139, 2018.

SILVA, R. M. D.; TAVEIRA, R. Z.; RESTLE, J.; FABRICIO, E. D. A.; CAMERA, A.; MAYSONNAVE, G. S.; BILEGO, U. O.; PACHECO, P. S.; VAZ, F. N. Economic analysis of the risk of replacing corn grains (*Zea mays*) with pearl millet grains (*Pennisetum glaucum*) in the diet of feedlot cattle. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 50, n. 3, p. 1-10, 2020.

TARDIEU, F.; GRANIER, C.; MULLER, B. Water deficit and growth. Co-ordinating processes without an orchestrator? **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 14, n. 3, p. 283-289, 2011.

TEAM CORE R. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017.

THARANYA, M.; KHOLOVA, J.; SIVASAKTHI, K.; SEGHAL, D.; HASH, C. T.; RAJ, B.; SRIVASTAVA, R. K.; BADDAN, R.; THIRUNALASUNDARI, T.; YADAV, R.; VADEZ, V. Quantitative trait loci (QTLs) for water use and crop production traits co - locate with major QTL for tolerance to water deficit in a fine - mapping population of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlim, v. 131, n. 7, p. 1509-1529, 2018.

UPPAL, R. K.; WANI, S. P.; GARG, K. K.; ALAGARSWAMY, G. Balanced nutrition increases yield of pearl millet under drought. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 177, n. 1, p. 86-97, 2015.

WARAICH, E. A.; AHMAD, R.; ASHRAF, M. Y.; SAIFULLAH, U.; AHMAD, M. Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. **Soil & Plant Science**, Copenhagen, v. 61, n. 4, p. 291-304, 2011.