



CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES E METAIS PESADOS EM FOLHA DE MORINGA IRRIGADA COM ÁGUA PRODUZIDA SINÉTICA E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO.

Francimar Maik da Silva Morais¹, José Francismar de Medeiros², Rafael Oliveira Batista³, Gabriela Carvalho Maia de Queiroz⁴, Rodrigo Rafael da Silva¹, Elidayane da Nóbrega Santos⁴

RESUMO: A água produzida do petróleo (AP) é um recurso normalmente descartado que pode causar danos ao meio ambiente, entretanto, se tratado e diluído apresenta potencial para irrigação agrícola, desta forma, reduzindo os efeitos negativos do seu descarte. A *Moringa oleífera* Lam. é uma cultura adaptada a região semiárida e que pode oferecer vários recursos para o setor petrolífero. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da utilização de diluições de água produzida sintética e da quantidade de água de irrigação na concentração de nutrientes e metais pesados na folha da *Moringa oleífera*. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal Rural do Semi-árido, em Mossoró- RN. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 16 tratamentos e quatro repetições. Esses tratamentos são constituídos de dois fatores em fatorial 4x4: diluições de AP sintética (0, 10, 20 e 30 % de AP) e diferentes lâminas de irrigação (100, 80, 60 e 40 % da evapotranspiração da cultura). A utilização de AP influenciou os teores de K, Mg, Ca, S, B, Cd, Co, Cu, Mn, Pb e Zn na folha e a redução das lâminas de irrigação ocasionou aumento no teor de N.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação, reuso agrícola, concentração de elementos.

CONCENTRATION OF NUTRIENTS AND HEAVY METALS IN MORINGA LEAF IRRIGATED WITH SYNETIC PRODUCED WATER AND IRRIGATION LAMINATION

¹ Doutorando, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água da UFERSA, CEP 59625-900, Mossoró, RN. Fone (84) 994701914. e-mail: maiksilva100@hotmail.com

² Engenheiro Agrônomo, UFERSA, Mossoró, RN

³ Prof. Doutor, Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN

⁴ Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da UFERSA, Mossoró, RN

ABSTRACT: Petroleum produced water (PW) is a normally discarded resource that can cause damage to the environment, however, if treated and diluted, it has potential for agricultural irrigation, thus receiving the negative effects of its disposal. *Moringa oleifera* Lam. it is a culture adapted to the semi-arid region and that can offer several resources for the oil sector. The objective of the present work was to evaluate the effect of using dilutions of synthetic produced water and the amount of irrigation water on the concentration of nutrients and heavy metals in the leaf of *Moringa oleifera*. The work was developed at the Federal Rural University of the Semi-arid, in Mossoró-RN. The experiment was treated in randomized blocks with 16 treatments and four replications. These treatments consist of two factors in a 4x4 factorial: synthetic PA dilutions (0, 10, 20 and 30% of AP) and different irrigation levels (100, 80, 60 and 40% of crop evapotranspiration). The use of AP influenced the levels of K, Mg, Ca, S, B, Cd, Co, Cu, Mn, Pb and Zn in the leaf and the reduction of irrigation depths caused an increase in the N content.

KEYWORDS: Irrigation; agricultural reuse; concentration of elements.

INTRODUÇÃO

A água produzida (AP) é o somatório da água produzida oriunda das formações geológicas que contém o petróleo e águas adicionadas na injeção em poços no processo de extração do petróleo e pode conter diferentes composições, que variam de acordo com a formação geológica explorada, a idade dos poços, o tipo de hidrocarboneto a ser extraído e os métodos de extração utilizado (AL-GHOUTI et al., 2019). A extração de petróleo e gás natural gera grandes volumes de AP, podendo chegar a 98 % de todo volume extraído, enquanto isso, a região semiárida apresenta problemas com restrições hídricas, principalmente pela elevada evapotranspiração e baixa precipitação (McCabe, 2012; SCHMIDT et al., 2018).

A moringa é uma cultura adaptada a condições ambientais variáveis, apresenta tolerância a irrigação com águas de elevada salinidade e se apresenta como matéria prima promissora para produção de biocombustíveis (FREIRE et al., 2022). Considerando esses fatores, o trabalho teve como objetivo avaliar a utilização diluições de águas produzidas e quantidades de água na irrigação da moringa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido ao ar livre em área experimental do campus oeste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN (5°12'48" S, 37°18'44" O e 18 m de altitude). O clima da região, de acordo com a classificação de Koppen-Geiger, é do tipo BSh (quente e seco). A precipitação pluviométrica é bastante irregular, sendo a média anual de 637,9 mm; a temperatura média de 27,4°C; a umidade relativa do ar média de 68,9 %, a insolação média diária de 7,83 horas e a anual de 2771,27 horas de brilho solar, durante período histórico de 30 anos (ALVARES et al., 2013). Nesta área existe uma camada de Argissolo Vermelho Distrófico Típico depositado numa camada de 80 cm de espessura a cerca de 10 anos. Os dados meteorológicos durante o período do cultivo da moringa foram coletados na estação meteorológica da UFERSA.

O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 16 tratamentos e quatro repetições (Figura 4). Esses tratamentos foram constituídos de dois fatores (diluições de AP e lâminas de irrigação) em fatorial 4 x 4.

Diluições da AP:

- A0- 0 % de água produzida tratada + 100 % de água de abastecimento;
- A1- 10 % de água produzida tratada + 90 % de água de abastecimento;
- A2- 20 % de água produzida tratada + 80 % de água de abastecimento;
- A3- 30 % de água produzida tratada + 70 % de água de abastecimento.

Lâminas de irrigação:

- L100- 100 % da ETc + 10 % da fração de lixiviação;
- L80- 80 % da ETc + 10 % da fração de lixiviação;
- L60- 60 % da ETc + 10 % da fração de lixiviação;
- L40- 40 % da ETc + 10 % da fração de lixiviação;

Cada Unidade experimental foi conduzida em vaso de 50L. A água produzida sintética foi utilizada, simulando a composição média das AP's da região. A água produzida foi diluída com água de abastecimento de poço tubular. Ambas as águas foram caracterizadas quimicamente no LASAP da UFERSA, seguindo recomendações da Embrapa (SILVA, 2009). As características químicas das águas de irrigação podem ser observadas na Tabela 1.

O sistema de irrigação foi composto por quatro caixas de 500 L, com água pressurizada por bombas elétricas, sendo as linhas de mangueiras de 16 mm e emissores tipo espaguete. Na folha da moringa foram analisados os seguintes elementos: Nitrogênio (N) Fósforo (P), Potássio

(K), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Cobre (Cu), Cobalto (Co), Boro (B) Cromo (Cr) e Chumbo (Pb).

Tabela 1. Composição das águas utilizadas na irrigação da Moringa.

	pH	Ce	K ppm	Na ppm	Ca	Mg	Cl	CO ₃	HCO ₃
		dS.m-1 mg.L ⁻¹				mmol.L ⁻¹		
A0	7,50	0,48	8,32	102,00	0,42	0,19	0,71	0,40	2,70
A1	7,76	0,75	15,54	108,00	1,16	1,25	1,24	0,40	2,70
A2	7,81	0,99	22,36	114,00	1,66	2,57	1,84	0,40	2,70
A3	7,86	1,23	29,58	117,00	2,24	3,86	2,69	0,40	2,70
	S	Ba	B	Fe	Mn	Zn	F	Br	
 mg.L ⁻¹								
A0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A1	3,99	0,08	0,04	0,02	0,02	0,01	0,16	0,16	
A2	7,99	0,17	0,09	0,05	0,04	0,02	0,33	0,32	
A3	11,98	0,25	0,13	0,07	0,06	0,03	0,49	0,49	

A0: Água de abastecimento, A1: 10% de água produzida + 90% de água de abastecimento, A2: 20% de água produzida + 80% de água de abastecimento, A3: 30% de água produzida + 70% de água de abastecimento, K: Potássio, Na: sódio, Mg: magnésio, Ca: cálcio, Cl: Cloro, CO₃²⁻: Carbonato, HCO₃⁻: Bicarbonato, S: enxofre, Ba: bário, B: boro, Mn: manganês, Zn: zinco, F: flúor, Br: bromo. ND: Não detectável.

A extração dos elementos foi feita por digestão seca do material conforme metodologia de Silva (2009), e as leituras quantitativas dos elementos foram realizadas em equipamento ICP-OES. Os dados foram analisados estatisticamente por teste de normalidade, teste F e análise de regressão no software RStudio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de AP na irrigação da moringa ocasionou efeito significativo na acumulação de K, Mg, Ca, S B, Cd, Co, Cu, Mn, Pb e Zn, e as lâminas de irrigação (LAM) ocasionaram efeito significativo para acumulação de N nas folhas da moringa. Houve efeito significativo para os fatores LAM x AP na acumulação do Na nas folhas da cultura. Não se verificou efeito significativo dos fatores AP e LAM na acumulação do P.

Com a redução das lâminas de irrigação, o teor de N na folha da moringa aumentou (Figura 1). As lâminas de irrigação deficitárias também ocasionaram uma redução no número de folhas e MS de folhas, dessa forma, permitindo a maior concentração desse nutriente nas folhas. Efeito semelhante ocorreu em trabalho realizado por Arf et al. (2004), onde a cultura do feijão apresentou maior concentração de N em tratamentos que promoveram menor quantidade de MS. Os valores de N na folha de moringa foram de 22,87; 24,52; 27,59 e 29,31 g kg⁻¹ para

plantas irrigadas com 100, 80, 60 e 40 % da ETc da cultura, respectivamente, valores próximos à média dos encontrados por Vieira et al. (2008), que foi de 31,31 g de g kg⁻¹ de folha.

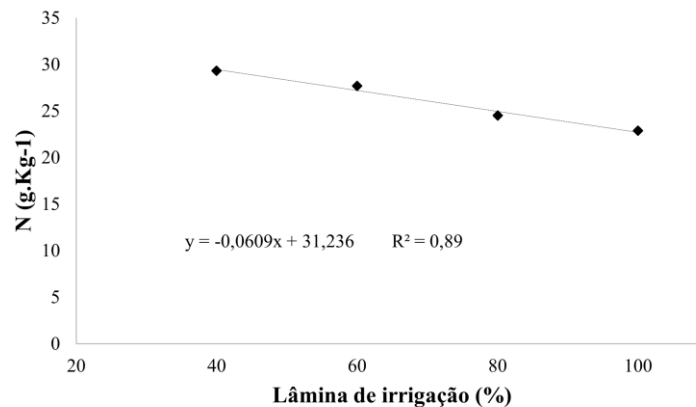


Figura 1. Teor de N na folha x Lâminas de irrigação utilizada na irrigação da *Moringa oleífera* Lam.

O teor de P não foi influenciado pelos tratamentos, sendo que o teor médio do nutriente na folha de moringa foi de 2,53 g kg⁻¹, valor próximo ao encontrado por outros autores. Moyo et al. (2011) verificaram que o P representa 0,3% da folha da moringa, o que representa 3,00 g kg⁻¹.

A concentração de K, Mg, Ca, S, na folha da moringa aumentou com a adição de AP na irrigação da planta (Figura 2), sendo esse aumento associado às concentrações desses elementos na AP. As plantas que receberam apenas água de abastecimento apresentaram 10,27 g kg⁻¹ de K na folha, sendo a maior quantidade de K encontrada nas plantas que receberam a A3, 14,19 g kg⁻¹. Moyo et al. (2011) encontraram em folhas de moringa 15,00 g de g kg⁻¹.

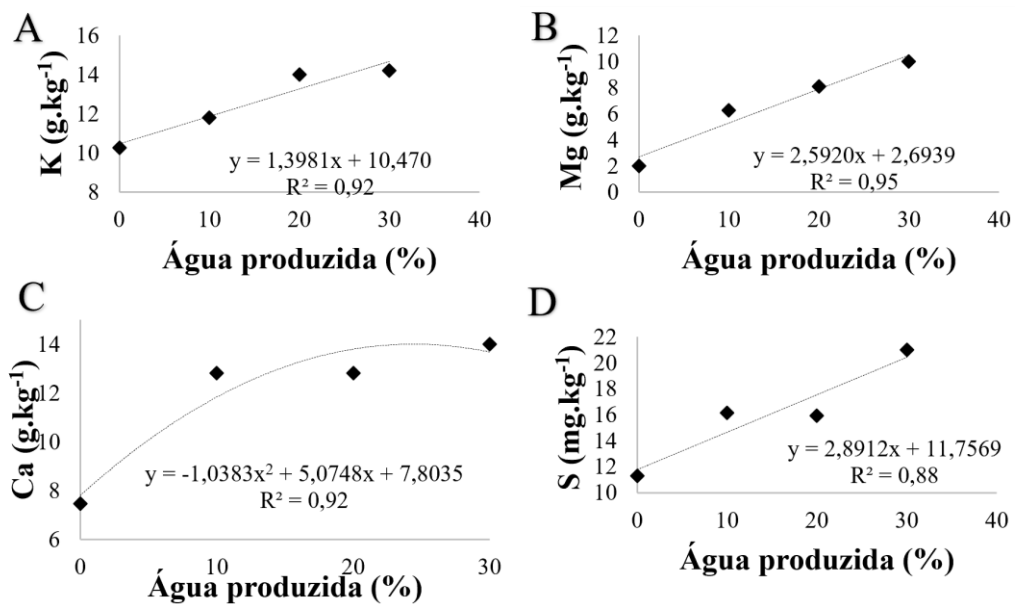


Figura 2. A- Teor de K na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleífera* Lam, B- Teor de Mg na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleífera* Lam, C- Teor de Ca na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleífera* Lam e D- Teor de S na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleífera* Lam.

As concentrações de Mg na folha de moringa foram de 1,98, 6,25, 8,1 e 10 g kg⁻¹ para as plantas irrigadas com A0, A1, A2, A3, respectivamente. Moyo et al. (2011) afirmaram que a folha da moringa tem em sua composição 0,5 % de Mg, o que representa 5 g kg⁻¹. Stadlander & Becker (2017) encontraram concentração média de Mg em folha de moringa de 4,82 g kg⁻¹. Desta forma, as plantas irrigadas com A1 apresentaram concentrações desse elemento mais próxima aos trabalhos citados, e A3 ocasionou aumento de 505% da concentração do elemento em relação ao tratamento testemunha.

Ca na folha de moringa foi de 7,48, 12,83, 12,81 e 14,01 g kg⁻¹ para as plantas irrigadas com A0, A1, A2, A3, respectivamente (Figura 2C). Moyo et al. (2011) encontraram teor de Ca em folhas de moringa igual a 36,5 g kg⁻¹, sendo esse valor mais que o dobro dos teores encontrados no presente trabalho. Stadlander & Becker (2017) encontraram teores de Ca mais próximos ao presente trabalho, sendo o valor mínimo encontrado pelos autores de 11 g kg⁻¹ e máximo de 23,7 g kg⁻¹ na Índia e Tailândia, respectivamente.

O teor de S na folha de moringa aumentou 86% quando comparado às plantas irrigadas com A3 (21,02 g kg⁻¹ de S) e à testemunha (11,30 g kg⁻¹ de S). Moyo et al. (2011) encontraram teor de S em folhas de moringa igual a 6,3 g kg⁻¹, valor inferior ao encontrado pelo presente trabalho.

Para as águas de irrigação isoladas em função das lâminas de irrigação, observa-se que para A1, A2 e A3 as LAM não influenciaram no acúmulo de sódio para as culturas (Figura 3A), havendo, porém, efeito significativo para lâminas quando a cultura foi irrigada com A0, de forma que o maior teor de Na encontrado foi obtido na L100, o que ocorreu porque os solos de T1 acumularam Na em maiores quantidades, devido à não ocorrência de livre lixiviação.

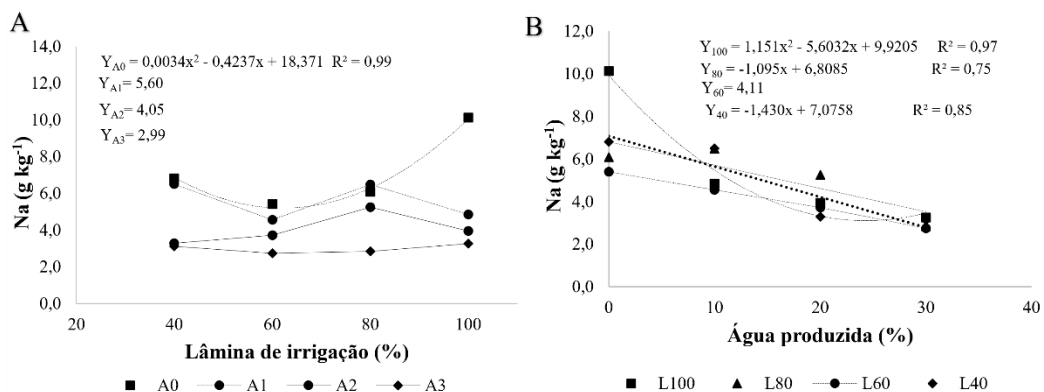


Figura 3. A- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.

Na Figura 3B, observa-se que para as L100, L80 e L40, o teor de Na acumulado da folha da moringa reduziu com a utilização de AP na irrigação. Quando utilizada a L60, a água de

irrigação não influenciou significativamente na acumulação do elemento. O teor médio de Na encontrado no experimento foi de 4,94 g kg⁻¹.

A interação estatística dos fatores para Na ocorreu principalmente graças ao alto teor do elemento encontrado na folha das plantas do T1, em virtude do elevado acúmulo do elemento no solo submetido à lixiviação controlada.

Com a utilização de AP na irrigação, a acumulação de B, Mn, Zn e Cu aumentou (Figura 4). O aumento no teor de B e Mn está diretamente relacionado à maior concentração desses elementos na água produzida. No caso do Zn e do Cu, elementos em quantidades semelhantes em todas as águas de irrigação, seus aumentos devem ser influenciados pelo maior acúmulo de outros nutrientes para esses tratamentos.

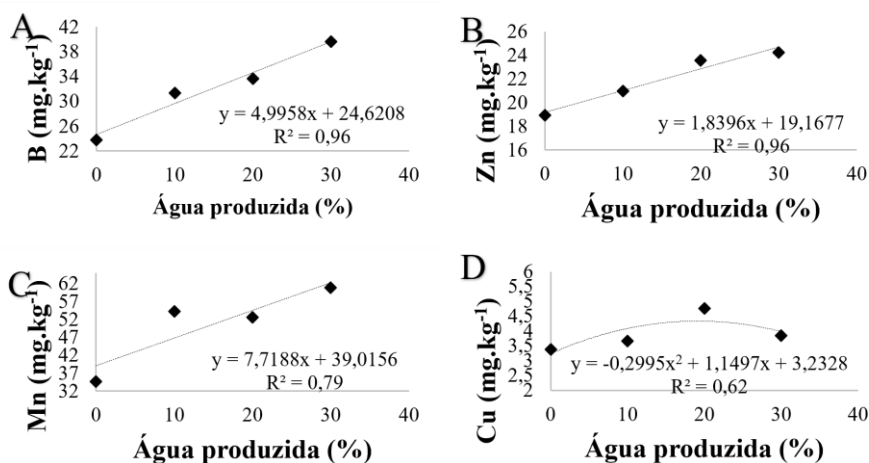


Figura 4. A- Teor de B na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleifera* Lam, B- Teor de Zn na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleifera* Lam, C- Teor de Mn na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleifera* Lam e D- Teor de Cu na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleifera* Lam.

O Boro, quando as plantas foram irrigadas com A0, acumulou 23,78 mg kg⁻¹, sendo a concentração do mesmo elemento nos tratamentos que receberam A3 de 39,66 mg kg⁻¹, assim a utilização de 30 % de AP promoveu aumento de aproximadamente 67%. O aumento do teor de Mn nas folhas da moringa também foi significativo, passando de 34,63 para 60,91 mg kg⁻¹ para A0 e A3, respectivamente. Para o Mn, a A3 promoveu aumento do seu teor na folha de moringa em aproximadamente 76 %, em relação a A0.

A respeito do Zn, seu teor foi de 18,94 mg kg⁻¹ para A0 e de 24,22 mg kg⁻¹ para A3, um aumento 27 % no teor desse elemento. A concentração de Cu na folha, apesar de aumentar com a utilização de AP sintética na irrigação, se ajustou à equação do modelo quadrático, de forma que o maior teor de Cu nas folhas foi promovido por A2 (4,16 mg kg⁻¹) e a A0 foi a água que proporcionou menor teor de Cu nas folhas da cultura (3,38 mg kg⁻¹).

Co, Pb e Cd reduziram suas concentrações na folha da cultura com a utilização de AP na irrigação (Figura 5). A redução desses elementos ocorreu, possivelmente, por competirem pelos mesmos sítios de acumulação que outros elementos contidos em maiores concentrações na AP.

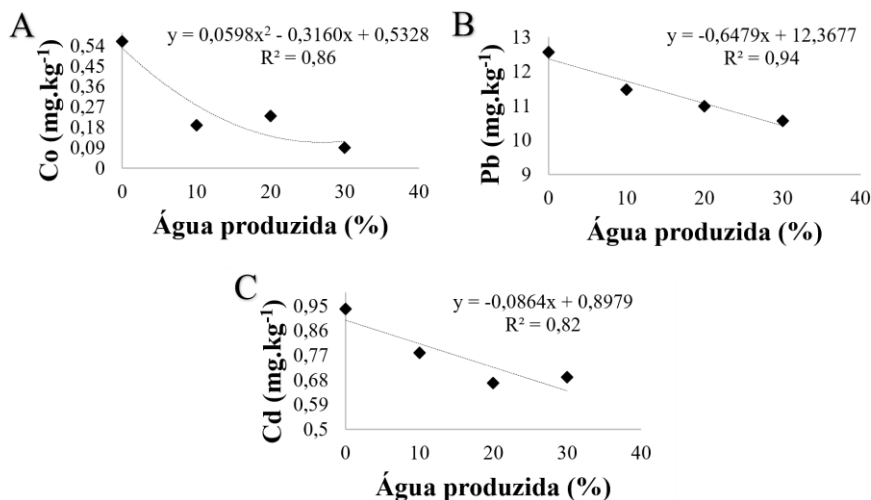


Figura 4. A- Teor de B na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleifera* Lam, B- Teor de Zn na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleifera* Lam, C- Teor de Mn na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleifera* Lam e D- Teor de Cu na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da *Moringa oleifera* Lam.

O acúmulo de Co nas folhas reduziu muito com a utilização de AP, em torno de 522 %. O Cd reduziu de 0,94 para 0,69 mg kg⁻¹, de A0 para A3, respectivamente. E o Pb obteve uma queda de 12,56 para 10,56 mg kg⁻¹, sendo o elemento com menor alteração do teor em termos proporcionais.

CONCLUSÕES

A composição química das folhas da moringa sofreu influência direta dos tratamentos aplicados. A maior concentração de AP sintética na irrigação influenciou a acumulação de K, Mg, Ca, S B, Cd, Co, Cu, Mn, Pb e Zn. A aplicação de maior quantidade de água ocasionou redução no teor de N na folha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao PRH-ANP/Gestão FINEP pelo apoio financeiro para desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-GHOUTI M. A.; AL-KAABI M. A.; ASHFAQ M. Y.; DA'NA D. A. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, p. 222-239, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 131-138, 2004.
- FREIRE, E.; NOVACK, K. M.; MELO, T. M.S.; FINZI-QUINTÃO, C. M.; GUALBERTO, M. S. Cenários Prospectivos para a Produção de derivados de *Moringa oleifera*: Uma Abordagem Sistêmica. **Revista virtual de Química**. v. 14, n. 3, p. 529-536, 2022.
- MCCABE P. J. Oil and Natural Gas: Global Resources. **Fossil Energy**, v.1, p. 7-23, 2012.
- MOYO, B.; MASIKA, P. J.; HUGO, A.; MUCHENJE, V. Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, p. 12925-12933, 2011.
- SCHMIDT, D. M.; LIMA, K. C.; JESUS, E. S. Variabilidade climática da disponibilidade hídrica na região semiárida do estado do Rio Grande do Norte. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro v. 41, n. 3, p. 483-491, 2018.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes/editor técnico**. Embrapa, Brasília, v. 2, p. 1-627, 2009.
- SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- STADTLANDER, T.; BECKER, K. Proximate composition, amino and fatty acid profiles and element compositions of four different Moringa species. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, p. 46-57, 2017.