



## **USO DA ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO SINTÉTICA NA IRRIGAÇÃO DA *MORINGA OLEÍFERA* LAM: IMPACTOS NO SOLO**

Fagner Nogueira Ferreira<sup>1</sup>, Francimar Maik da Silva Morais<sup>2</sup>, José Francismar de Medeiros<sup>3</sup>,  
Rodrigo Rafael da Silva<sup>2</sup>, Gabriela Carvalho Maia de Queiroz<sup>1</sup>, Leonardo Vieira de Sousa<sup>1</sup>

**RESUMO:** O semiárido nordestino é caracterizado por apresenta baixo regime pluviométrico, sendo indispensável desenvolver estratégias para reaproveitamento de água residuária para irrigação na agricultura. Água produzida e oriunda de reservatório de gás natural e óleo sendo transportado à superfície junto com o petróleo, representado um grande desafio para indústria petrolífera, podendo, quando tratada e diluída, ter enorme importância na sua utilização para irrigação agrícola, atenuando, os efeitos negativos do seu descarte. A *Moringa oleífera* Lam. é uma cultura que pode resistir a diversas condições ambientais, e suas partes vegetais possuem relevância para distintos setores industriais e agrícolas. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da utilização de diluições de água produzida sintética e da quantidade de água na irrigação da *Moringa oleífera*, bem como seus efeitos no solo. 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 % de AP; 10 % de AP; 20 % de AP; 30 % de AP) e diferentes lâminas de irrigação (100 % da evapotranspiração da cultura- ETc; 80 % da ETc; 60 % da ETc; 40 % da ETc). Foi analisada características composição química do solo. A água produzida e as lâminas de irrigação influenciaram na característica química do solo, como pH, CE, teor de P, Na, Ca, Mg e Br.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Moringa oleífera* Lam, composição química, água sintética.

## **USE OF WATER PRODUCED FROM SYNTHETIC OIL IN IRRIGATION OF *MORINGA OLEIFERA* LAM: IMPACTS ON THE SOIL**

<sup>1</sup> Doutorando, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da UFERSA, CEP 59633-330, Mossoró, RN. Fone (83) 99939-0335. e-mail: fagnernf@gmail.com

<sup>2</sup> Doutorando, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água da UFERSA, Mossoró, RN

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, UFERSA, Mossoró, RN

**ABSTRACT:** The northeastern semi-arid region is characterized by low rainfall, making it essential to develop strategies for the reuse of wastewater for irrigation in agriculture. Produced water from natural gas and oil reservoirs being transported to the surface along with oil, representing a great challenge for the oil industry, and when treated and diluted, it can be of enormous importance in its use for agricultural irrigation, mitigating the negative effects of its disposal. *Moringa oleifera* Lam. it is a crop that can withstand different environmental conditions, and its plant parts are relevant to different industrial and agricultural sectors. The objective of this work was to evaluate the effect of using dilutions of synthetic produced water and the amount of water in irrigation of *Moringa oleifera*, as well as its effects on the soil. The work was developed at the Federal Rural University of the Semi-arid, in Mossoró-RN. The experiment was conducted in randomized blocks with 16 treatments and four replications. These treatments consist of two factors in a 4x4 factorial: synthetic PA dilutions (0% AP; 10% AP; 20% AP; 30% AP) and different irrigation depths (100% of crop evapotranspiration - ETc; 80% of ETc; 60% of ETc; 40% of ETc). Soil chemical composition characteristics were analyzed. Produced water and irrigation depths influenced the chemical characteristics of the soil, such as pH, EC, P, Na, Ca, Mg and Br content.

**KEYWORDS:** *Moringa oleifera* Lam, chemical composition, synthetic water.

## INTRODUÇÃO

Nas regiões áridas e semiáridas os recursos hídricos são limitantes, visto que estas regiões apresentam regimes de chuvas baixos refletindo diretamente na agricultura e na economia local. A água é um requisito indispensável à vida e um recurso fundamental na produção de alimentos para as populações humanas e para todas as espécies (SILVEIRA & SILVA, 2019). Aplicação de fonte de água não convencionais está sendo uma das estratégias para suprir a irrigação agrícola.

A água produzida é o principal efluente sendo encontrado em maior quantidade nas reservas de petróleo, é retida durante as formações subsuperficiais que são trazidas para a superfície com o óleo ou o gás natural (CABRAL & SANTOS 2019). Conforme, Hespanhol 2003, o reuso da água produzida na agricultura pode proporcionar não só o volume de água requerido pelas plantas, como também, os nutrientes de que elas necessitam para se desenvolver, proporcionando conseqüentemente economia de água de qualidade superior.

A *Moringa oleífera* (Lam) é uma planta nativa do Nordeste da Índia e pertence à família Moringaceae; além disso, é cultivada por ter diversas utilidades e benefícios para a vida humana, por possuir alto valor alimentar, medicinal, industrial e ser utilizada no tratamento de águas (RANGEL, 2010; SOUSA & MELO, 2019).

## 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. Esses tratamentos foram constituídos de dois fatores (diluições de AP e lâminas de irrigação) em fatorial 4 x 4. Unidades experimentais conduzidas em vasos 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). O sistema de irrigação foi composto por quatro caixas de 500L, com água pressurizada por bombas elétricas, sendo as linhas de mangueiras de 16mm e emissores tipo espaguete. As características químicas do solo avaliadas foram: Potencial hidrogeniônico (pH), Condutividade elétrica (CEes), 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). As análises foram realizadas seguindo a metodologia de Silva (2009). O pH e a CEes foram realizados em água. Ca e Mg foram extraídas em solução de KCl e determinados por método titulométrico, e os demais elementos foram extraídos em solução dupla ácida Mehlich, ao passo que as leituras quantitativas dos elementos foram realizadas por equipamento ICP-OES. Os dados foram analisados estatisticamente por teste de normalidade, teste F e análise de regressão no software RStudio.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

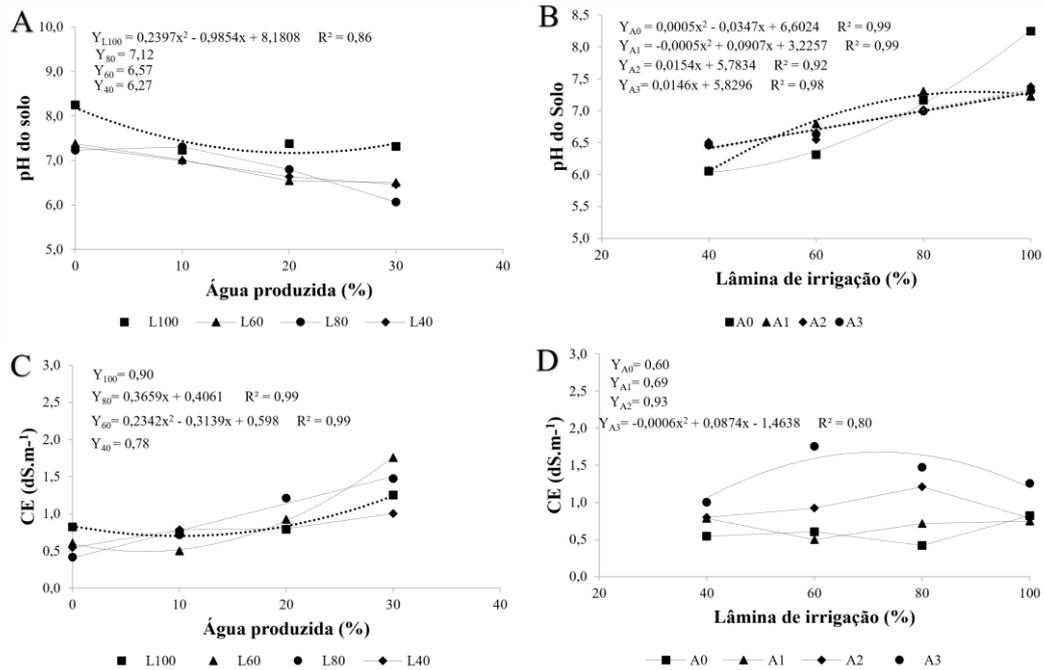
O potencial hidrogênionico respondeu positivamente à interação dos fatores AP x LAM. Na Figura 1A, observa-se que o efeito da AP sobre cada lâmina de irrigação isolada não ocasionou mudança significativa no pH do solo, exceto para a L100. No tratamento L100, o maior pH encontrado esteve associado a A0, pois a lixiviação nesse solo ocorria de forma controlada para identificar a evapotranspiração da cultura, o que ocasionou aumento do pH. Os tratamentos irrigados com L80, L60 e L40 apresentaram a média do pH de 7,12, 6,57 e 6,27, respectivamente.

O pH do solo pode se alterar de acordo com a água de irrigação utilizada no experimento, de modo que águas de irrigação mais salinas tendem a elevar o pH dos solos (COSTA, 2019). No presente trabalho, as águas de maiores salinidades não ocasionaram aumento do pH, pois a moringa é uma cultura com grande capacidade de absorção de elementos químicos, concentrando grande parte dos componentes existentes na AP sintética em seus tecidos vegetais.

De acordo com Ribeiro et al. (1999), o pH do solo pode ser dividido em: muito baixo (<4,5), baixo (entre 4,5-5,4), bom (entre 5,5-6,0), alto (entre 6,1-7,0) e muito alto (>7,0). De forma geral, os pH dos solos, ao fim do experimento, encontra-se nas classes “alto e muito alto”, mantendo a classificação do pH inicial do solo.

Para as quatro águas utilizadas na irrigação, o pH do solo aumentou da menor para maior lâmina (Figura 1B). Ao adicionar maiores volumes de água no solo, aumentam também maiores quantidades de sais, fator responsável pelo resultado obtido. Para o cultivo agrícola, é importante que o solo seja manejado de forma que o pH se mantenha na faixa entre 5,5 e 6,5, pois é nesse intervalo que a maioria dos nutrientes se encontra em maiores quantidades prontamente disponíveis às plantas (NOVAIS, 2007). Além disso, solos com pH muito baixo podem provocar aparecimento de  $Al^{3+}$  no solo (VAN RAIJ, 1991), o qual em quantidades elevadas é tóxico para as plantas e pode provocar infertilidade dos solos (MALAVOLTA, 2006).

Quando solo foi irrigado com L40 e L100, a AP sintética não influenciou na salinidade do solo, com médias de 0,78 e 0,90  $dS\ m^{-1}$ , respectivamente (Figura 1C). A L40 recebe pouca quantidade de água e, conseqüentemente, pequena quantidade de sais, ocasionando no solo acréscimo de CEes não significativo, mesmo com a presença da água mais salina. No caso da irrigação com L100, deve ocorrer maior lixiviação no solo, lavando os sais do solo e transportando para profundidades maiores que a camada de 0-30 cm.



**Figura 1.** A- pH do solo x água de irrigação. B- pH do solo x Lâmina de irrigação. C- CE do solo x água de irrigação. D- CE do solo x Lâmina de irrigação.

Por sua vez, as lâminas de irrigação não ocasionaram efeito significativo no aumento de salinização do solo quando irrigado com A0, A1 e A2, que ocasionaram CEes média nos solos de 0,60, 0,69 e 0,93  $\text{dS m}^{-1}$ , respectivamente (Figura 1D). Quando utilizada a A3 na irrigação, a salinidade aumentou de forma significativa da L40 para L60, reduzindo com a L80 e L100, por serem lâminas que ocasionam maior lixiviação no solo. Quando utilizada a A3, a CEes no solo foi de 1,37  $\text{dS m}^{-1}$ .

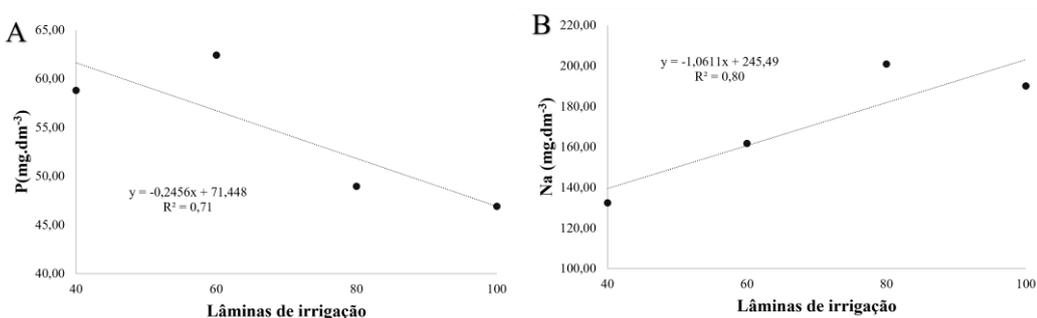
Observa-se que a utilização de 30 % de AP sintética na irrigação ocasionou aumento da CEes do solo em torno de 128 % ao longo de sete meses de irrigação. Desta forma, se faz necessário ter maior atenção para o manejo desse sistema produtivo para que a CEes não atinja níveis indesejáveis e que ocasiona danos severos as culturas produzidas nesses ambientes. Apesar desse aumento na salinidade, os solos apresentaram valor abaixo de 2  $\text{dS m}^{-1}$ , o qual constitui o limite para um solo ser considerado ligeiramente salino, de acordo com a Sociedade Americana de Ciência de Solo (RICHARDS, 1954).

O processo de aumento de salinidade dos solos do experimento já era esperado, uma vez que seria irrigado diariamente por um longo período em vasos, o que limita a distribuição dos sais para um maior volume de solo.

As regiões áridas e semiáridas são as mais afetadas pela salinização dos solos, por terem precipitação pluviométrica baixa, menor grau de intemperismo e a utilização de água por vezes

de má qualidade para irrigação (HOLANDA et al., 2007), tudo isso associado ao manejo inadequado.

A concentração de P no solo foi significativamente alterada com a irrigação de lâminas reduzidas (Figura 2A). Todos os tratamentos receberam quantidade de P semelhante na água e por meio da adubação de fundação, porém a quantidade de P adsorvido as partículas do solo aumentou com a redução das lâminas. Com a utilização das maiores lâminas, maior quantidade de P se tornou disponível na solução do solo para ser retirado do sistema por meio de absorção pelas plantas.



**Figura 2.** A-Quantidade de P no solo x Lâminas de irrigação. B-Teor de Na no solo x Lâminas de irrigação.

O teor de fósforo no solo no início do experimento era de 28,00 mg dm<sup>-3</sup>; com a adição da adubação e a aplicação dos tratamentos, o teor de P aumentou, uma vez que é um dos elementos que mais possuem capacidade de se adsorverem aos coloides do solo. Para os tratamentos que receberam L40, L60, L80 e L100, o teor desse nutriente retido no solo foi de 58,78, 62,41, 48,93 e 46,91 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

O potássio no solo não apresentou efeito significativo para os tratamentos estudados, com concentração no solo de 151,94 mg dm<sup>-3</sup>, valor superior ao encontrado no início do experimento, quando o solo apresentava 106,3 mg dm<sup>-3</sup>. A moringa demonstrou alto potencial de absorção de K, desta forma absorvendo e acumulando em seus tecidos o K adicionado no solo por meio da água e das diferentes lâminas utilizadas na irrigação.

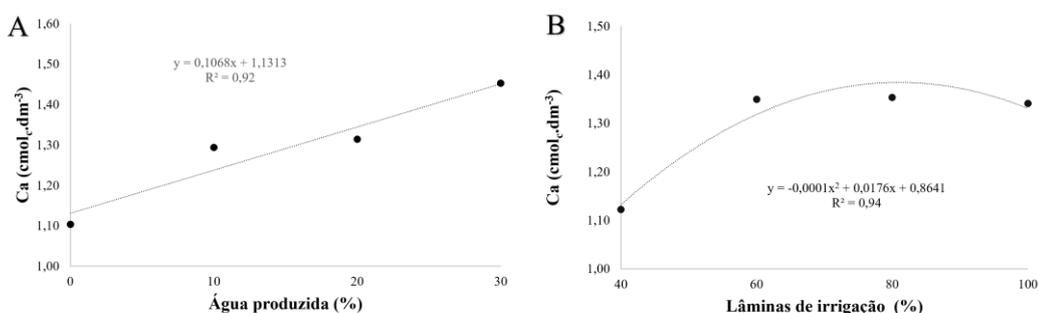
A quantidade de Na encontrado nos solos ao fim do experimento também foi superior ao teor inicial. O solo apresentava 12,12 mg dm<sup>-3</sup> de Na, aumentando para uma média de 171,22 mg dm<sup>-3</sup> ao fim do experimento, sendo um dos principais responsáveis pelo aumento da salinidade do solo no presente trabalho.

A concentração do Na no solo respondeu de forma significativa às lâminas de irrigação (Figura 2B). Pode-se observar que o aumento das lâminas de irrigação promoveu aumento no teor do elemento no solo, variando de 132,37, 161,65, 200,81 e 190,05 para as LAM L40, L60, L80 e L100, respectivamente.

Na irrigação com L100, o teor de Na foi menor do que nos solos irrigados com L80, uma vez que a L100 ocasionou incidência de lixiviação no solo. O sódio é um elemento que ocasiona a dispersão dos coloides do solo, podendo influenciar as suas características físicas, principalmente reduzindo o espaço poroso e ocasionando maior compactação (NOVAIS et al., 2007).

Apesar de ocasionar vários problemas agrícolas, o Na, de acordo com Epstein & Bloom (2006), pode ser considerado um micronutriente para algumas culturas que apresentam via CAM de absorção de carbono, sendo importante sua presença no solo em pequenas quantidades.

O teor de cálcio no solo irrigado com AP sintética respondeu de forma significativa para as variáveis AP e LAM. O aumento da concentração de AP sintética na água de irrigação resultou no aumento do teor de Ca no solo, sendo  $1,10 \text{ cmolc dm}^{-3}$  quando irrigado com A0 e de  $1,45 \text{ cmolc dm}^{-3}$  ao receber a A3 (Figura 3A).



**Figura 3.** A- Teor de Ca no solo x água utilizada na irrigação, B- Teor de Ca no solo x lâmina de irrigação.

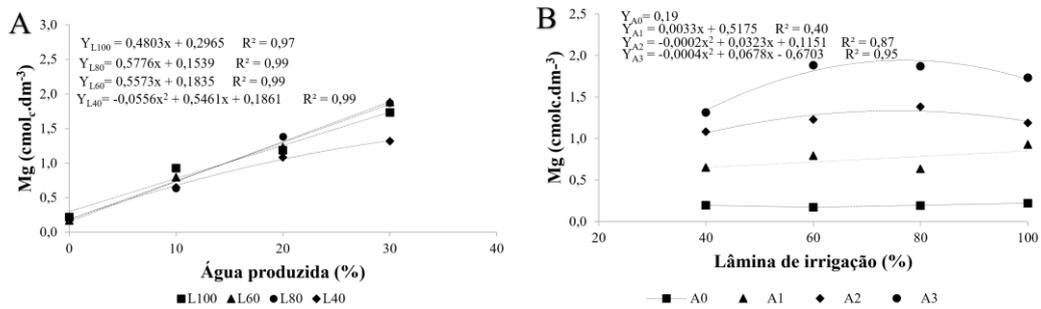
Já em relação às lâminas de irrigação, o valor de Ca no solo diminuiu com a utilização da L40 e foi estatisticamente igual quando utilizadas as demais LAM. A concentração do nutriente no solo foi de  $1,12 \text{ cmolc dm}^{-3}$  para L40 e de  $1,35 \text{ cmolc dm}^{-3}$  para os outros tratamentos (Figura 3B).

O teor de Ca no solo no início do experimento era de  $1,35 \text{ cmolc dm}^{-3}$ , concentração que aumentou com a utilização do tratamento A3, permaneceu igual para os tratamentos L60, L80 e L100 e reduziu na presença dos demais tratamento.

A quantidade de Mg encontrada no solo ao fim do período experimental respondeu de forma significativa a interação dos fatores AP x LAM. Como é possível observar na Figura 4A, para todas as lâminas de irrigação utilizada, a AP sintética promoveu maior teor de Mg no solo.

Ao fim do experimento, os solos irrigados com A0 encontravam-se com o teor do nutriente no solo considerado como muito baixo, os irrigados com A1 e A2 são considerados baixos e médio para o solo que recebeu A3, de acordo com Ribeiro et al. (1999). As médias do

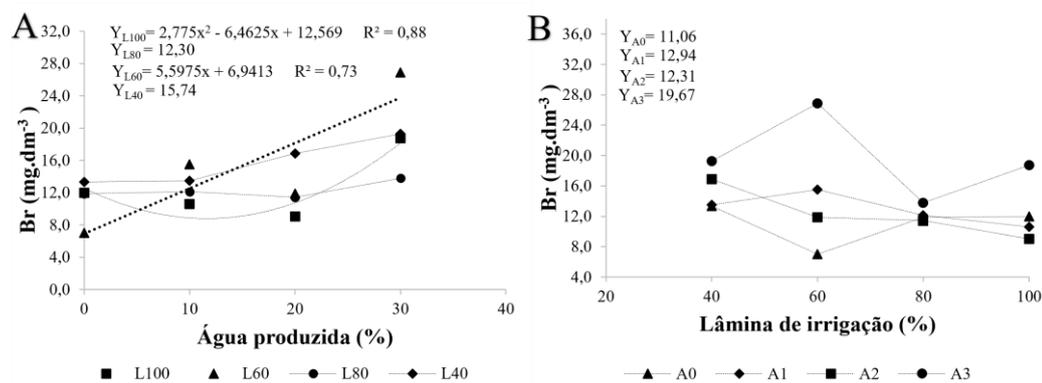
teor de Mg foi de 0,19, 0,75, 1,22 e 1,70 cmolc dm<sup>-3</sup> para A0, A1, A2 e A3, respectivamente, ao passo que no início do experimento o solo tinha 1,35 cmolc dm<sup>-3</sup>.



**Figura 4.** A- Teor de Mg no solo x água de irrigação. B- Teor de Mg no solo x Lâmina de irrigação.

O efeito das lâminas de irrigação em relação a cada água isoladamente não foi significativo nos solos irrigados com A0, porém respondeu significativamente para os solos irrigados com as diluições de água produzida. A L40 foi a lâmina de irrigação responsável pela menor concentração de Mg no solo, com média de 0,82 cmolc dm<sup>-3</sup>. As demais lâminas obtiveram médias iguais entre elas, de 1,02 cmolc dm<sup>-3</sup>. O teor de Mg encontrado nos solos foi considerado baixo para todas as lâminas utilizadas, de acordo com classificação de Ribeiro et al. (1999).

Entre os micronutrientes e metais pesados avaliados, o Br foi o único que apresentou resposta significativa pelo teste F, respondendo à interação dos fatores AP x LAM. Para a L100 e L60, a utilização de água produzida na irrigação ocasionou aumento da concentração de Br no solo. Quando utilizadas a L80 e L40, a AP não influenciou o teor do Br nos solos estudados (Figura 5A).



**Figura 5.** A- Teor de Br no solo x água de irrigação. B- Teor de Br no solo x Lâmina de irrigação.

Observando a figura 5B, nota-se que as lâminas de irrigação não influenciaram de forma isolada o teor de Br no solo. O teor médio ocasionado de Br pelas águas de irrigação foi de 11,06, 12,94, 12,31 e 19,67 mg dm<sup>-3</sup> para A0, A1, A2 e A3, respectivamente.

Para os demais elementos, não se obteve respostas significativas para os tratamentos avaliados. A maior quantidade de elementos adicionados ao solo pela AP sintética e pelas LAM, como Mn, Zn e B, foi absorvida pela moringa e/ou lixiviada no solo, não apresentando respostas significativas.

## CONCLUSÕES

As lâminas de irrigação e diluições de água produzida afetaram características químicas do solo, como o pH, CE e teor de P, Na, Ca, Mg e Br.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

CABRAL, R. C.; SANTOS, D. F. Estudo das principais técnicas para o tratamento de água produzida de petróleo. Uma análise das principais metodologias utilizadas em campo. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 5, n. 2, p. 175-175, 2019.

COSTA, D. O. **Utilização de Água Produzida do Petróleo na Produção e Capacidade de Fitoextração de Cactácea no Semiárido Brasileiro**. 2019. 135 f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água). Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives, Second**. Sunderland, Massachusetts. Sinauer Associates, 2005

HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 39-50, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; SEDIYAMA, T. Deficiência de manganês e plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 199-204, 2007.

RANGEL, M. S. **Moringa Oleifera: um purificador natural de água e complemento alimentar para o nordeste do Brasil**. Disponível em: <<http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>>. Acesso em: 06 jan. 2022.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de fertilizantes e Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de fertilizantes e Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and álcali soils**. Washington, US Department of Agriculture, 1954.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes/editor técnico**. Embrapa, Brasília, v. 2, p. 1-627, 2009.

SILVEIRA, S. M. B.; SILVA, M. DAS G. Conflitos socioambientais por água no Nordeste brasileiro: expropriações contemporâneas e lutas sociais no campo. **Revista katálysis**, v. 22, p. 342-352, 2019.

SOUSA, L. F. B.; MELO, A. Benefícios da *Moringa oleífera* para saúde humana e meio ambiente. **Revista Faculdade do Saber**, São Paulo, v. 4, n. 7, p. 472-484, 2019.

VAN RAIJ, B.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).