



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA  
DOUTORADO EM FITOTECNIA

FRANCISCO VANIES DA SILVA SÁ

**ADUBAÇÃO ADEQUADA POTENCIALIZA O USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS  
SALOBRAS PARA IRRIGAÇÃO DE MUDAS DE GRAVIOLEIRA**

MOSSORÓ

2023

FRANCISCO VANIES DA SILVA SÁ

**ADUBAÇÃO ADEQUADA POTENCIALIZA O USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS  
SALOBRAS PARA IRRIGAÇÃO DE MUDAS DE GRAVIOLEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia: Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Sementes

Orientador: Salvador Barros Torres, Prof. Dr.

Coorientador: Nildo da Silva Dias, Prof. Dr.

Coorientador: Miguel Ferreira Neto, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2023

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

S111a SÁ, FRANCISCO VANIES DA SILVA .  
ADUBAÇÃO ADEQUADA POTENCIALIZA O USO DE ÁGUAS  
RESIDUÁRIAS SALOBRAS PARA IRRIGAÇÃO DE MUDAS DE  
GRAVIOLEIRA / FRANCISCO VANIES DA SILVA SÁ. -  
2023.  
70 f. : il.

Orientador: Salvador Barros Torres.  
Coorientador: Nildo da Silva Dias.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural  
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em  
Fitotecnia, 2023.

1. Annona muricata (L.) . 2. Fluorescência da  
clorofila a. 3. Salinidade. 4. Tecnologia de  
sementes e mudas. 5. Trocas gasosas foliares. I.  
Torres, Salvador Barros, orient. II. Dias, Nildo  
da Silva, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade  
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência  
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva  
CRB: 15/120

FRANCISCO VANIES DA SILVA SÁ

**ADUBAÇÃO ADEQUADA POTENCIALIZA O USO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS  
SALOBRAS PARA IRRIGAÇÃO DE MUDAS DE GRAVIOLEIRA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia: Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Melhoramento Genético e Tecnologia em Sementes e Pós-Colheita

Defendida em: 17 /01/ 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Salvador Barros Torres, Prof. Dr. (UFERSA)  
Orientador e Presidente

---

Alberto Soares de Melo, Prof. Dr. (UEPB)  
Membro Examinador

---

Daniel Valadão Silva, Prof. Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

---

Luderlândio de Andrade Silva, Dr. (UFMG)  
Membro Examinador

---

Rômulo Carantino Lucena Moreira, Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

*A mim, acreditar em si mesmo e persistir é o segredo, com certeza estou feliz em ter acertado em fazer um segundo doutorado, mesmo com dupla jornada. A batalha foi árdua, mas eu consegui superar mais este desafio.*

*DEDICO*

*Ofereço à minha esposa, meus amigos, colegas, alunos e orientandos, para que sirva de incentivo nos dias difíceis. Obrigado pelo apoio e incentivo durante essa jornada.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me conceder mais essa conquista.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e aos Programas de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água e em Fitotecnia, pela oportunidade de cursar um doutorado junto ao meu estágio pós-doutoral.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e seu corpo docente, por todo o ensinamento e apoio à realização da pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. D. Sc. Salvador Barros Torres, e meus coorientadores, Prof. D. Sc. Nildo da Silva Dias e Prof. D. Sc. Miguel Ferreira Neto, pela disponibilidade e ensinamentos repassados.

Aos membros da banca examinadora, Prof. D. Sc. Alberto Soares de Melo, Prof. D. Sc. Daniel Valadão Silva, D. Sc. Luderlândio de Andrade Silva e D. Sc. Rômulo Carantino Lucena Moreira, pelas valiosas contribuições.

A toda a equipe de pesquisa, pelo apoio durante o experimento, principalmente a Antônia Adailha, Emanoela Paiva, Kleane Targino e Tayd Peixoto.

Aos colegas, contemporâneos e equipe técnica da pós-graduação em Fitotecnia.

E por último, mas não menos importante, agradeço a toda a minha família pelo apoio e confiança, principalmente daqueles que acompanham esta jornada de pertinho.

- Não é necessário ser o melhor entre todos os candidatos para conquistar seus sonhos, às vezes, basta persistir em todas as etapas até alcançar o seu objetivo.

(Sá, F.V.d.S.)

## RESUMO

No semiárido brasileiro, a baixa disponibilidade de água para irrigação é um fator limitante à agricultura. Assim, a utilização de toda a água disponível, mesmo que de qualidade inferior, pode incrementar a produtividade agrícola. No entanto, o uso de águas salinas pode intensificar o processo de salinização das áreas agrícolas. Em virtude disso, a utilização dessas águas em ambientes protegidos, como na produção de mudas, vem sendo incentivada, uma vez que permite maior controle e manejo da irrigação. Além dos problemas relacionados ao manejo da irrigação, o manejo de adubação é muito importante, já que a exigência de nutrientes em plantas estressadas é diferente daquelas na ausência de estresse. Com isso, objetivou-se avaliar respostas fisiológicas de mudas de gravioleira irrigadas com águas residuárias salinas sob diferentes doses de NPK. A pesquisa foi dividida em dois experimentos, sendo o primeiro realizado com rejeito salino e o segundo com efluente da piscicultura. O delineamento experimental usado, em ambos os experimentos, foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições e cada repetição foi composta por duas mudas. O primeiro fator correspondeu às duas condutividades elétricas da água de irrigação, sendo elas: 0,5 dS m<sup>-1</sup> (água de torneira) e 3,5 dS m<sup>-1</sup> (rejeito salino ou efluente da piscicultura). O segundo fator foi constituído das doses de NPK, referentes às proporções de 25, 50, 75, 100 e 125% da recomendação de adubação de 100:300:150 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. O uso de adubação adequada para gravioleira irrigada com rejeito salino aumentou o crescimento, as trocas gasosas, a eficiência fotossintética e homeostase iônica das mudas. Mudas de gravioleira respondem diferentemente à adubação com NPK quando são irrigadas com água de abastecimento e com rejeito salino. A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com água de baixa salinidade é 95:285:143 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com rejeito salino é 54:162:81 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. Melhores crescimento e melhor taxa fotossintética da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura estão relacionados à sua capacidade de realizar homeostase iônica entre o sódio e o potássio. Mudas de gravioleira respondem diferentemente à adubação com NPK quando são irrigadas com água de baixa salinidade e com efluente da piscicultura. A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira é de 95:285:143 e 69:207:104 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O quando irrigadas com água de baixa salinidade e com efluente da piscicultura, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Annona muricata* (L.). Fluorescência da clorofila a. Salinidade. Tecnologia de sementes e mudas. Trocas gasosas foliares.



## ABSTRACT

In the Brazilian semi-arid region, the low availability of water for irrigation is a limiting factor for agriculture. Thus, using all available water, even if of inferior quality, can increase agricultural productivity. However, using saline waters can intensify the salinization process in agricultural areas. As a result, the use of these waters in protected environments, such as in the production of seedlings, has been encouraged, as it allows greater control and management of irrigation. In addition to the problems related to irrigation management, fertilization management is essential since the nutrient requirement in stressed plants differs from those without stress. Thus, the objective was to evaluate the physiological responses of soursop seedlings irrigated with saline wastewater under different doses of NPK. The research was divided into two experiments, the first was carried out with saline waste and the second with effluent from fish farming. The experimental design used in both experiments was randomized blocks in a 2 x 5 factorial scheme, with four replications, and each replication was composed of two seedlings. The first factor corresponded to the two electrical conductivities of the irrigation water: 0.5 dS m<sup>-1</sup> (tap water) and 3.5 dS m<sup>-1</sup> (saline waste or effluent from fish farming). The second factor consisted of the doses of NPK, referring to the proportions of 25, 50, 75, 100, and 125% of the fertilizer recommendation of 100:300:150 mg dm<sup>-3</sup> of N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. Using adequate fertilization for soursop irrigated with saline waste improved seedlings' growth, gas exchange, photosynthetic efficiency, and ionic homeostasis. Soursop seedlings respond differently to NPK fertilization when irrigating with supply water and saline waste. The recommendation for NPK fertilization for soursop seedlings irrigated with low salinity water is 95:285:143 mg dm<sup>-3</sup> of N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. The recommendation for NPK fertilization for soursop seedlings irrigated with saline waste is 54:162:81 mg dm<sup>-3</sup> of N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. The better growth and photosynthetic rate of the soursop tree irrigated with fish farming effluent is related to its ability to perform ionic homeostasis between sodium and potassium. Soursop seedlings respond differently to NPK fertilization when they are irrigated with low-salinity water and fish farming effluent. The recommendation for fertilization with NPK for soursop seedlings is 95:285:143 and 69:207:104 mg dm<sup>-3</sup> of N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O when irrigated with low salinity water and fish farm effluent, respectively.

**Keywords:** *Annona muricata* (L.). Chlorophyll a fluorescence. Salinity. Technology of seeds and seedlings. Leaf gas exchange.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

- Figura 1 – Altura de planta, AP (A, ErroP, n=4), diâmetro do caule, DC (B, ErroP, n=4), número de folhas, NF (C, ErroP, n=4), e comprimento da raiz principal, CR (D, ErroP, n=4), massa seca da parte aérea, MSPA (E, ErroP, n=4) e massa seca da raiz, MSR (F, ErroP, n=8) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com rejeito salino (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.....29
- Figura 2 – Acúmulo de nitrogênio, N (A, ErroP, n=4), fósforo, P (B, ErroP, n=4), potássio,  $K^+$  (C, ErroP, n=4), sódio,  $Na^+$  (D, ErroP, n=8) e relação sódio/potássio,  $Na^+/K^+$  (E, ErroP, n=4) na parte aérea de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com rejeito salino (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.....32
- Figura 3 – Taxa de assimilação de  $CO_2$ ,  $A_N$  (A, ErroP, n=4), Condutância estomática,  $g_s$  (B, ErroP, n=4) e transpiração,  $E$  (C, ErroP, n=4) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com rejeito salino (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.....35
- Figura 4 – Coeficiente quântico de extinção fotoquímica ( $q_L$ ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada ( $Y_{NO}$ ) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com rejeito salino (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.....37

## CAPÍTULO II

- Figura 1 – Altura de planta, AP (A, ErroP, n=4), diâmetro do caule, DC (B, ErroP, n=4), número de folhas, NF (C, ErroP, n=4), comprimento da raiz principal, CR (D, ErroP, n=4), Massa seca da parte aérea, MSPA (E, ErroP, n=4) e massa seca da raiz, MSR (F, ErroP, n=8) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com efluente da piscicultura (---●---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo. Médias da mesma proporção de NPK com letras iguais não diferem pelo teste ‘t’ Student a 0,05 de probabilidade.....53
- Figura 2 – Acúmulo de nitrogênio, N (A), fósforo, P (B), potássio,  $K^+$  (C), sódio,  $Na^+$  (D), relações sódio/potássio,  $Na^+/K^+$  (E), na parte aérea de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com efluente da piscicultura (---●---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo. Médias da mesma proporção de NPK com letras iguais não diferem pelo teste ‘t’ Student a 0,05 de probabilidade.....56
- Figura 3 – Taxa de assimilação de  $CO_2$ ,  $A_N$  (A, ErroP, n=4), Condutância estomática,  $g_s$  (B, ErroP, n=4) e transpiração,  $E$  (C, ErroP, n=4) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com efluente da piscicultura (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo. Médias da mesma proporção de NPK com letras iguais não diferem pelo teste ‘t’ Student a 0,05 de probabilidade.....59
- Figura 4 – Eficiência quântica do PSII,  $Y$  (A), taxa de transporte de elétrons, ETR (B), coeficiente de extinção fotoquímica,  $q_L$  (C), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada,  $Y_{NPQ}$  (D) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada  $Y_{NO}$  (E) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com efluente da piscicultura (---●---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo. Médias da mesma proporção de NPK com letras iguais não diferem pelo teste ‘t’ Student a 0,05 de probabilidade.....62

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

Tabela 1	–	Análise química e física do solo utilizado no experimento.....	24
Tabela 2	–	Caracterização química do fertilizante foliar Liqui-Plex Fruit®.....	25
Tabela 3	–	Análise da água dos tratamentos utilizados na irrigação das mudas de gravioleira.....	25
Tabela 4	–	Condutividade elétrica (CEes) e o pHes do extrato de saturação do solo sob irrigação com águas salinas e diferentes doses de NPK.....	26
Tabela 5	–	Resumo do teste F e teste de médias para altura de planta (AP, em cm), diâmetro do caule (DC, em mm), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR, em cm), massa seca da parte aérea (MSPA, em g) e massa seca da raiz (MSR, em g) de mudas de gravioleira sob irrigação com rejeito salino e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.....	28
Tabela 6	–	Resumo do teste F e teste de médias para o acúmulo de nitrogênio (N, mg planta <sup>-1</sup> ), fósforo (P, mg planta <sup>-1</sup> ), potássio (K <sup>+</sup> , mg planta <sup>-1</sup> ), sódio (Na <sup>+</sup> , em mg planta <sup>-1</sup> ) e relação sódio potássio (Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup> ) na parte aérea de mudas de gravioleira sob irrigação com rejeito salino e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.....	31
Tabela 7	–	Resumo do teste F e teste de médias para taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> (A, em μmol (CO <sub>2</sub> ) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), condutância estomática (gs, em mol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), transpiração (E, em mmol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) e máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) de mudas de gravioleira sob irrigação com rejeito salino e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.....	34
Tabela 8	–	Resumo do teste F e teste de médias para eficiência quântica do PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR, μmol (fótons) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo', μmol (fótons) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), coeficiente de extinção fotoquímica (qL), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO) de mudas de gravioleira sob irrigação com rejeito salino e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.....	36

## CAPÍTULO II

Tabela 1	–	Análise química e física do solo utilizado no experimento.....	48
Tabela 2	–	Caracterização química do fertilizante foliar Liqui-Plex Fruit®.....	49
Tabela 3	–	Análise da água utilizada na irrigação das mudas de gravioleira.....	49
Tabela 4	–	Condutividade elétrica (CEes) e o pHes do extrato de saturação do solo sob irrigação com águas salinas e diferentes doses de NPK.....	50
Tabela 5	–	Resumo do teste F e teste de médias para altura de planta (AP, em cm), diâmetro do caule (DC, em mm), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR, em cm), massa seca da parte aérea (MSPA, em g) e massa seca da raiz (MSR, em g) de mudas de gravioleira sob irrigação com efluente da piscicultura e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.....	52
Tabela 6	–	Resumo do teste F e teste de médias para o acúmulo de nitrogênio (N, mg planta <sup>-1</sup> ), fósforo (P, mg planta <sup>-1</sup> ), potássio (K <sup>+</sup> , mg planta <sup>-1</sup> ), sódio (Na <sup>+</sup> , em mg planta <sup>-1</sup> ) e relação sódio potássio (Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup> ) na parte aérea de mudas de gravioleira sob irrigação com efluente da piscicultura e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.....	55
Tabela 7	–	Resumo do teste F e teste de médias para taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> (A, em μmol (CO <sub>2</sub> ) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), condutância estomática (gs, em mol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), transpiração (E, em mmol (H <sub>2</sub> O) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) e máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) de mudas de gravioleira sob irrigação com irrigação com efluente da piscicultura e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.....	58
Tabela 8	–	Resumo do teste F e teste de médias para eficiência quântica do PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR, μmol (fótons) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo', μmol (fótons) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ), coeficiente de extinção fotoquímica (qL), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (Y <sub>NPQ</sub> ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y <sub>NO</sub> ) de mudas de gravioleira sob irrigação com efluente da piscicultura e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.....	61

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	15
REFERÊNCIAS .....	17
2 ECOFISIOLOGIA DE MUDAS DE GRAVIOLEIRA IRRIGADAS COM REJEITO SALINO SOB DOSES DE NPK.....	21
2.1 INTRODUÇÃO.....	22
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
2.3 RESULTADOS .....	28
2.4 DISCUSSÃO .....	38
2.5 CONCLUSÕES .....	40
REFERÊNCIAS .....	40
3 MORFOFISIOLOGIA DE MUDAS DE GRAVIOLEIRA IRRIGADAS COM EFLUENTE DA PISCICULTURA SOB DOSES DE NPK.....	45
3.1 INTRODUÇÃO.....	46
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3.3 RESULTADOS .....	52
3.4 DISCUSSÃO .....	63
3.5 CONCLUSÕES .....	66
REFERÊNCIAS .....	67

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma das mais importantes espécies de frutas da família *Annonaceae* (SÁNCHEZ et al., 2018). Os frutos da gravioleira possuem suas características sensoriais de sabor e aroma, sendo bastante utilizadas tanto para consumo *in natura* quanto para seus subprodutos, e nos últimos 10 anos tem se destacado devido ao seu valor nutricional e às propriedades medicinais de suas folhas, frutos, sementes e raízes (FREITAS et al., 2013; MOGHADAMTOUSI et al., 2015; LEITE NETA et al., 2019).

Na região Nordeste do Brasil, a gravioleira é bastante cultivada, principalmente na região semiárida, que enfrenta entraves devido à qualidade das águas da região, na sua grande maioria com elevadas concentrações de sais (CAVALCANTE et al., 2001; NOBRE et al., 2003; SILVA et al., 2018). Além de enfrentar problemas de ordem qualitativa devido à elevada concentração de sais, o semiárido brasileiro enfrenta problemas de escassez quantitativas dos recursos hídricos, devido à baixa pluviosidade e secas rotineiras (MEDEIROS et al., 2003). Tal fato tem forçado os agricultores a utilizar águas de qualidade inferior para irrigação das culturas, em virtude do constante crescimento da população e da demanda por alimentos, sendo necessário, portanto, o desenvolvimento de sistemas sustentáveis de produção agrícola com águas residuárias salinas (DIAS et al., 2021).

O cultivo em ambiente protegido é uma alternativa para o aproveitamento de águas residuárias salinas. As culturas protegidas em estufas têm grande difusão na agricultura, devido à facilidade de manejo para a obtenção de produtos de boa qualidade ao longo de todo o ano (SILVA et al., 2014). O ambiente protegido caracteriza-se pela vantagem de tornar possível o cultivo em épocas incomuns a este, trazendo como consequência maior retorno econômico ligado à qualidade do produto final, além de possibilitar a produção em épocas de entressafra. A produção de mudas de espécies frutíferas é uma modalidade de cultivo protegido, que garante a sustentabilidade da renovação dos pomares (OLIVEIRA et al., 2020; SOUZA et al., 2020).

Dentre as fontes potenciais para reuso de água na produção de mudas em ambiente protegido no semiárido, podemos citar o rejeito de dessalinizadores e o efluente da piscicultura, porém seu uso está atrelado ao risco de estresse salino (SOUZA et al., 2022). A maioria das culturas agrícolas é influenciada negativamente pelas altas concentrações de sais na solução do solo, limitando seu desenvolvimento e rendimento, devido a modificações morfológicas e fisiológicas ocasionadas pelo estresse salino (MONCADA et al., 2020). A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura depende da tolerância da espécie à

salinidade, do manejo da água salina na irrigação, da adubação e das demais práticas culturais, visando a reduzir os efeitos da salinidade sobre o ambiente (CAVALCANTE et al., 2005).

O uso em excesso de água salina compromete o crescimento e a produtividade das mudas, devido aos efeitos osmótico e iônico. O efeito osmótico é resultante da alta concentração de sais na zona radicular, promovendo diminuição do potencial osmótico e, conseqüentemente, do potencial hídrico do solo e da disponibilidade de água para a cultura (WAN et al., 2017). O efeito iônico refere-se ao acúmulo de certos íons específicos, principalmente  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , que promovem toxicidade (VOLKO; BEILBY, 2017). Além disso, o efeito iônico promove um desequilíbrio nutricional ocasionado pelas alterações nos processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta, por exemplo, o excesso do íon  $\text{Na}^+$  no meio inibe absorção de  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , e  $\text{Cl}^-$  inibe a absorção de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (RIBEIRO et al., 2016; SÁ et al., 2020).

Para Sá et al. (2015), além do uso de materiais com potencial de tolerância, é preciso buscar estratégias de manejo de solo e água, a exemplo do manejo de adubação junto ao manejo da irrigação, de modo a diminuir a concentração de sais no solo, e seus efeitos negativos sobre as plantas. Dentre as práticas utilizadas como alternativas para aumentar a disponibilidade hídrica e tentar minorar problemas da escassez hídrica em regiões áridas e semiáridas, a técnica de reuso de água tem se destacado. Essa alternativa tem várias finalidades; para fins de irrigação, a água de reuso apresenta vários benefícios, incluindo a recarga do lençol freático e a fertirrigação de diversas culturas, desde que respeitando os limites ambientais de aplicação para garantia do nível de qualidade (BARROS et al., 2020).

Em gravioleira, os estudos relacionados à interação entre salinidade e adubação envolveram um único nutriente, o nitrogênio. Veloso et al. (2018) constataram que a interação entre os fatores doses de nitrogênio e níveis de salinidade da água não afetaram a fase de produção de mudas de gravioleira cv. Morada Nova. Nesse estudo, foram avaliadas doses de N de 70, 100 e 130  $\text{mg dm}^{-3}$ , e as plantas de gravioleira não responderam ao aumento da dose de N a partir de 70  $\text{mg dm}^{-3}$ , quando irrigadas com águas salinas de 0,3 a 3,5  $\text{dS m}^{-1}$ .

Para Lacerda et al. (2006), a exigência de nutrientes para plantas sob estresse salino é diferente do que ocorre nas plantas na ausência de estresse salino, e quando a aplicação é excessiva pode ser tóxica às plantas. Nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) são aplicados em grandes quantidades nos cultivos agrícolas. Assim, a utilização de uma dose adequada desses nutrientes poderia minimizar o estresse salino ocasionado pela água de irrigação ou até mesmo o estresse salino causado pelo excesso de fertilizantes.

Estudos realizados por Sá et al. (2019; 2020) em aceroleira (*Malpighia emarginata*



D.C.) e Sá et al. (2021a) em pinheira (*Annona Squamosa* L.) confirmaram que ajustes nas recomendações de nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K) promovem melhorias no crescimento, relações hídricas, fotossíntese, homeostase iônica e produção dessas espécies quando irrigadas com água salina. Esses benefícios independem das recomendações e estão relacionados às alterações no metabolismo e exigência de nutrientes da espécie em condições de estresse salino, assim como da intensidade do estresse. Em gravioleira, os estudos sobre interação entre salinidade e adubação envolveram um único nutriente, o nitrogênio.

Diante do exposto, torna-se importante obter informações sobre a interação entre a salinidade da água de irrigação e doses de NPK, na tentativa de mitigar os efeitos negativos do estresse salino. Desta forma, objetivou-se avaliar respostas fisiológicas de mudas de gravioleira irrigadas com águas residuárias salinas sob diferentes doses de NPK.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, J. C. S. M.; RÊGO FILHO, L. M.; CELESTINO, R. C. A.; PROHMANN, L. L. Águas de reúso para irrigação de pomar de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tanaka). **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1224-1239, 2020.
- CAVALCANTE, L. F.; CARVALHO, S. S.; LIMA, E. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SILVA, D. A. Desenvolvimento inicial da gravioleira sob fontes e níveis de salinidade da água. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 455-459, 2001.
- CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, I. H. L.; PEREIRA, K. S. N.; OLIVEIRA, F. A. DE; GONDIM, S. C.; ARAÚJO, F. A. R. Germination and initial growth of guava plants irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 515-519, 2005.
- DIAS, N. S.; FERNANDES, C. S.; SOUSA-NETO, O. N.; SILVA, C. R.; FERREIRA, J. F. S.; SÁ, F. V. S.; COSME, C. R.; SOUZA, A. C. M. S.; OLIVEIRA, A. M.; BATISTA, C. N. O. Potential agricultural use of reject brine from desalination plants in family farming areas. In: TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. (org.). **Saline and alkaline soils in Latin America**. 1ªed. Cham: Springer Nature, 2021. p. 231–281.

FREITAS, A. L. G. E.; VILASBOAS, F. S.; PIRES, M. M.; SÃO JOSÉ, A. R. Caracterização da produção e do mercado da graviola (*Annona muricata* L.) no estado da Bahia. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 23-34, 2013.

LACERDA, C. F.; MORAIS, M. M. M.; PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A. Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 37, n. 2, p. 258-263, 2006.

LEITE NETA, M. T. S.; JESUS, M. S.; SILVA, J. L. A.; ARAUJO, H. C. S.; SANDES, R. D. D.; SHANMUGAM, S.; NARAIN, N. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp. **Food Research International**, Amsterdam, v. 124, n. 10, p. 70-77, 2019.

MEDEIROS, J. F.; LISBOA, R. A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M. J.; ALVES, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 469-472, 2003.

MOGHADAMTOUSI, S. Z.; FADAEINASAB, M.; NIKZAD, S.; MOHAN, G.; ALI, H. M.; KADIR, H. A. *Annona muricata* (Annonaceae): A review of its traditional uses, isolated acetogenins and biological activities. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 16, n. 7, p. 15625-15658, 2015.

MONCADA, A.; VETRANO, F.; ESPOSITO, A.; MICELI, A. Fertigation management and growth-promoting treatments affect tomato transplant production and plant growth after transplant. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 1, p. 1504, 2020.

NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SANTOS, F. J. S.; BEZERRA, I. L.; GURGEL, M. T. Germinação e formação de mudas enxertadas de gravioleira sob estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1365-1371, 2003.

OLIVEIRA, H. A.; BATISTA, R. O.; SÁ, F. V. S.; DIAS, N. S.; FERREIRA, A. K. C. Growth and mineral composition of papaya and passion fruit seedlings irrigated with gray water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 4, p. 1037-1048, 2020.

RIBEIRO, P. H. P.; GHEYI, H. R.; UYEDA, C. A.; TEIXEIRA, M. B.; SOARES, F. A. L.; DIAS, N. S. Taxa de crescimento e produção de girassol irrigado com água salina sob doses de nitrogênio. **IRRIGA**, Botucatu, Ed. Esp., Grandes Culturas, p. 233-247, 2016.

SILVA, B. A.; SILVA, A. R.; PAGIUCA, L. G. Cultivo Protegido em busca de mais eficiência produtiva. **Revista Técnica Hortifruti Brasil**, p. 10-18, 2014. Disponível em: [http://cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/132/mat\\_capa.pdf](http://cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/132/mat_capa.pdf). Acessado em: 02 abr. 2022.

SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; FERREIRA, I. B.; ANTÔNIO NETO, P.; SILVA, L. A.; COSTA, E. F. B. Balanço de sais e crescimento inicial de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) sob substratos irrigados com água salina. **IRRIGA**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 544-556, 2015.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; FERREIRA NETO, M.; PAIVA, E. P.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L. Cultivation of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen proportions. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 2, p. 395-406, 2020.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; PAIVA, E. P.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L. A.; FERNANDES, P. D. The right combination of N-P-K fertilization may mitigate salt stress in custard apple (*Annona squamosa* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, Gewerbestrasse, v. 43, n. 4, p. 1-12, 2021.

SÁ, F. V. S.; GUEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; DIAS, A. S. Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 1, p. 211-221, 2019.

SÁNCHEZ, C. F. B.; LOPES, B. E.; TEODORO, P. E.; GARCIA, A. D. P.; PEIXOTO, L. A.; SILVA, L. A.; BHERING, L. L. Genetic diversity among soursop genotypes based on fruit production. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. 1, p. 122-128, 2018.

SILVA, E. M.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S.; SOUSA, L. P. Growth and gas exchanges in soursop under irrigation with saline water and nitrogen sources. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 11, p. 776-781, 2018.

SOUZA, A. A. T.; MENDONCA, V.; PAIVA, E. P.; PEREIRA, K. T. O.; REGES, K. S. L.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; SÁ, F. V. S. Physiological responses of sugar-apple seedlings under saline wastewater irrigation and NPK doses. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 53, n. 1, p. e20218275, 2022.

SOUZA, T. M. A.; MENDONCA, V.; SÁ, F. V. S.; SILVA, M. J.; DOURADO, C. S. T. Calcium silicate as salt stress attenuator in seedlings of yellow passion fruit cv. BRS GA1. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 2, p. 509-517, 2020.

VELOSO, L. L. S. A.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. P.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, I. T. S.; ARAUJO, E. B. G.; SILVA, W. L. Formation of soursop seedlings irrigated using waters with different salinity levels and nitrogen fertilization. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. suppl 1, p. 151, 2018.

VOLKOV, V.; BEILBY, M. J. Salinity tolerance in plants: mechanisms and regulation of ion transport. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, n. 1, p. 1795, 2017.

WAN, Q.; HONGBO, S.; ZHAOLONG, X.; JIA, L.; DAYONG, Z.; YIHONG, H. Salinity tolerance mechanism of osmotin and osmotin-like proteins: a promising candidate for enhancing plant salt tolerance. **Current Genomics**, Sharjah, v. 18, n. 6, p. 553-556, 2017.

## 2 ECOFISIOLOGIA DE MUDAS DE GRAVIOLEIRA IRRIGADAS COM REJEITO SALINO SOB DOSES DE NPK

### RESUMO

A baixa disponibilidade de água de boa qualidade para irrigação em regiões semiáridas induz ao emprego de fontes alternativas de águas de qualidades inferior, como rejeito salino, sendo necessário, portanto, adotar estratégias mitigadoras do estresse salino. Assim, objetivou-se avaliar a ecofisiologia de mudas de gravioleira submetidas à irrigação com rejeito salino e de doses de NPK. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, sendo duas águas de irrigação (água de abastecimento local (0,5 dS m<sup>-1</sup>) e rejeito salino (3,5 dS m<sup>-1</sup>)) e cinco doses de NPK (25%; 50%; 75% e 100%; 125% da recomendação de adubação 100:300:150 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O), com quatro repetições. As mudas foram conduzidas em recipientes com capacidade de 2 dm<sup>3</sup> preenchidos com solo de textura arenosa por 90 dias após a semeadura. Nesse período, as mudas foram avaliadas quanto ao crescimento, trocas gasosas foliares, acúmulo de biomassa, NPK e sódio. O uso de uma adubação adequada para gravioleira irrigada com rejeito salino aumentou o crescimento, as trocas gasosas, a eficiência fotossintética e homeostase iônica das mudas. Mudas de gravioleira respondem diferentemente à adubação com NPK quando são irrigadas com água de abastecimento e com rejeito salino. A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com água de baixa salinidade é 95:285:143 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com rejeito salino é 54:162:81 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O.

**Palavras-chave:** *Annona muricata* (L.), Estresse salino, Nutrição de plantas, Osmose reversa; Rejeito de salmora.

## ECOPHYSIOLOGY OF SOURSOP SEEDLINGS IRRIGATED WITH SALINE WASTE UNDER NPK DOSES

### ABSTRACT

The low availability of good-quality water for irrigation in semi-arid regions leads to the use of alternative sources of water of inferior quality, such as saline waste, therefore, it is necessary to adopt strategies to mitigate saline stress. Thus, the objective was to evaluate the

ecophysiology of soursop seedlings submitted to irrigation with saline waste as a function of NPK doses. The experiment was carried out in a greenhouse, in a randomized block design, in a 2 x 5 factorial scheme, with two irrigation waters (local supply water ( $0.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) and saline waste ( $3.5 \text{ dS m}^{-1}$ )) and five doses of NPK (25, 50, 75, 100, and 125% of the fertilizer recommendation  $100:300:150 \text{ mg dm}^{-3}$  of N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O), with four replications. The seedlings were conducted in containers with a  $2 \text{ dm}^3$  filled with sandy soil for 90 days after sowing. The seedlings were evaluated for growth, photosynthesis, biomass accumulation, NPK, and sodium during this period. Using adequate fertilization for soursop irrigated with saline waste improved seedlings' growth, gas exchange, photosynthetic efficiency, and ionic homeostasis. Soursop seedlings respond differently to NPK fertilization when irrigating with supply water and saline waste. The recommendation for NPK fertilization for soursop seedlings irrigated with low salinity water is  $95:285:143 \text{ mg dm}^{-3}$  of N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. The recommendation for NPK fertilization for soursop seedlings irrigated with saline waste is  $54:162:81 \text{ mg dm}^{-3}$  of N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O.

**Keywords:** *Annona muricata L.*, Salt stress, Plant nutrition, Reverse osmosis; Brine waste.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A gravioleira é bastante cultivada na região nordeste do Brasil, principalmente na região semiárida, que enfrenta sérios problemas devido à irrigação com água salina (CAVALCANTE et al., 2001; NOBRE et al., 2003; SILVA et al., 2018). O semiárido brasileiro, além de enfrentar problemas de escassez quantitativa dos recursos hídricos, devido à baixa pluviosidade e secas rotineiras, enfrenta problemas de ordem qualitativa devido à elevada concentração de sais presentes na água (ALMEIDA; FRISCHKORN, 2015). Apesar da adoção de técnicas de dessalinização da água salobra como a osmose reversa, que viabiliza o acesso à água potável em comunidades rurais, um ponto negativo é a geração de um rejeito salino com alto potencial de degradação dos solos, porém esses danos podem ser minimizados quando esse rejeito é usado de forma adequada na agricultura (DIAS et al., 2021; SILVA et al., 2022).

No semiárido brasileiro, também são comumente constatados solos salinos e sódicos formados por ações de origem primária e ações antrópicas, que diminuem o crescimento das culturas (SÁ et al. 2015). Essa restrição se deve às altas concentrações de íons, como sódio, cloreto e boro, dentre outros, principalmente que causam toxidez e restringem a absorção de

água pelas sementes (GUPTA; HUANG, 2014; LIANG et al., 2018; VOLKO; BEILBY, 2017; WAN et al., 2017). As fases subsequentes de crescimento e desenvolvimento das culturas também são prejudicadas. Após o desenvolvimento radicular, a presença de íons é percebida pelas raízes, que emitem sinais e ativam o sistema de defesa das plantas. Essa percepção no sistema radicular culmina em alterações nas relações hídricas nas células vegetais, reduzindo-a (SILVA et al., 2019), assim como na diminuição das trocas gasosas (SÁ et al., 2019).

O fechamento estomático é uma resposta comum da planta para reduzir a perda de água das células para o ambiente a fim de manter a turgência celular e as atividades metabólicas necessárias à manutenção da vida das espécies vegetais sob estresse salino (CORDEIRO et al., 2017). Silva et al. (2017; 2018) verificaram que a eficiência fotossintética da gravioleira é reduzida em 73% quando as plantas são irrigadas com água salina de 3,5 dS m<sup>-1</sup>, em comparação às mudas irrigadas com água de 0,5 dS m<sup>-1</sup>.

Ajustes nas recomendações de nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K) promovem melhorias no crescimento, relações hídricas, trocas gasosas foliares, homeostase iônica e produção de espécies como a aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) e a pinheira (*Annona squamosa* L.) quando irrigadas com água salina (SÁ et al., 2019; SÁ et al., 2020; SÁ et al., 2021). Esses benefícios dependem das alterações no metabolismo e exigência de nutrientes da espécie em condições de estresse salino, assim como da intensidade do estresse. Em gravioleira, os estudos relacionados à interação entre salinidade e adubação envolveram um único nutriente, o nitrogênio. Na pesquisa realizada por Veloso et al. (2018), os pesquisadores identificaram que as plantas de gravioleira não respondem ao aumento da dose de N a partir de 70 mg dm<sup>-3</sup>, quando irrigadas com águas salinas de 0,3 a 3,5 dS m<sup>-1</sup>. Portanto, novos estudos sobre o manejo da adubação em plantas de gravioleira expostas à salinidade são necessários, principalmente para avaliar o manejo de nutrientes, como fósforo e potássio.

Neste sentido, a hipótese da pesquisa de é que o crescimento vegetativo, trocas gasosas foliares, eficiência fotossintética e a homeostase iônica são afetadas pela irrigação com rejeito salino, podendo requerer menos nutrientes do que plantas irrigadas com água de baixa salinidade. Com isso, objetivou-se avaliar a ecofisiologia de mudas de gravioleira submetidas à irrigação com rejeito salino em função de doses de NPK.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN. No período de condução do experimento, foram

registradas as temperaturas máximas e mínimas de 44,3 e 20,3 °C, e umidades relativas máximas e mínimas de 87 e 23%, respectivamente.

A pesquisa foi conduzida em delineamento de blocos casualizado (DBC), com quatro repetições e duas mudas por repetição. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 2 x 5, sendo o primeiro fator constituído de duas águas de irrigação (água de abastecimento local (controle) e rejeito de dessalinizadores de osmose reversa), ao passo que o segundo fator corresponde às cinco proporções de NPK (25; 50; 75; 100; 125% da recomendação de adubação).

As mudas de gravioleira foram produzidas por meio do método de propagação seminífera. As sementes da cultivar Morada Nova foram obtidas de frutos maduros e sadios adquiridos em rede de supermercado local. Em seguida, as sementes foram extraídas manualmente, lavadas em água corrente, dispostas em papel-toalha à sombra para secagem durante uma semana, posteriormente foi realizado o processo de quebra de dormência de acordo com a metodologia das Regras de análises de sementes (BRASIL, 2009).

A semeadura foi realizada em sacos com capacidade de 2 dm<sup>3</sup> litros, utilizando três sementes com 1,5 cm de profundidade; 20 dias após o final da emergência, realizou-se o desbaste, de modo a permanecer apenas uma planta por saco. Diariamente foi avaliado de forma preventiva o surgimento de pragas e/ou doenças nas mudas, não sendo observada a ocorrência durante o experimento.

O solo utilizado foi um Latossolo coletado de uma área virgem da Fazenda Experimental Rafael Fernandes da UFERSA, distrito de Alagoinha, Mossoró, RN. As amostras de solos foram coletadas na camada de 0,0 - 30,0 cm, destorroadas, peneiradas (4 mm) e caracterizadas quanto aos atributos físicos e químicos seguindo metodologia da EMBRAPA (2009) (Tabela 1).

**Tabela 1** - Análise química e física do solo utilizado no experimento.

pH	MO (%)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC	V	PST	
		----(mg dm <sup>-3</sup> )---			----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			-----		--- % ---		
5,3	1,7	2,1	54,2	21,6	2,7	0,9	0,0	1,8	5,6	68	2,0	
CEes	Ds	Areia			Silte			Argila				
dS m <sup>-1</sup>	kg dm <sup>-3</sup>	-----			(g kg <sup>-1</sup> ) -----			-----				
0,1	1,6	820			30			150				

MO - Matéria orgânica; CEes - condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; Ds - Densidade do solo.

Após caracterização física e química do solo, a acidez do solo foi corrigida com hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>), com 54% de cálcio, visando a uma saturação por base de 90%. A adubação foi parcelada em três vezes, em fundação, aos 30 e 60 dias de cultivo, de acordo



com as proporções da recomendação de adubação de Novais et al. (1991). Para dose de 100% de NPK, foram adicionados 300 mg de  $P_2O_5^-$ , 150 mg de  $K_2O$ , e 100 mg de N, por  $dm^3$  de solo, por meio da fertirrigação, utilizando Ureia (45% de N), Cloreto de Potássio ( $KCl = 60\%$  de  $K_2O$ ) e monoamônio fosfato ( $MAP = 12\%$  de N e  $61\%$  de  $P_2O_5^-$ ). A adubação com micronutrientes foi realizada via foliar com o fertilizante Liqui-Plex Fruit®, na proporção de  $3\text{ ml L}^{-1}$  de calda, seguindo a recomendação do fabricante (Tabela 2).

**Tabela 2** - Caracterização química do fertilizante foliar Liqui-Plex Fruit®.

N	Ca	S	B	Cu	Mn	Mo	Zn	C.O.
-----g L <sup>-1</sup> -----								%
73,50	14,70	78,63	14,17	0,74	73,50	1,47	73,50	2,45

N – Nitrogênio; Ca - Cálcio; S – Enxofre; B – Boro; Cu – Cobre; Mn – Manganês; Mo – Molibdênio; Zn – Zinco; C.O. – carbono orgânico.

As águas de irrigação foram coletadas e armazenadas em recipientes plásticos de 150 L, água de abastecimento local ( $CEa = 0,5\text{ dS m}^{-1}$ ) e rejeito de dessalinizadores de osmose reversa de uma comunidade rural do município de Mossoró. A condutividade elétrica (CE) do rejeito de dessalinizadores foi igualada à CE de  $3,5\text{ dS m}^{-1}$ , misturando-a com água de abastecimento local, sendo esta condutividade elétrica crítica para gravioleira na fase de mudas (PASSOS et al., 2005).

**Tabela 3** - Análise da água dos tratamentos utilizados na irrigação das mudas de gravioleira.

Fontes	pH	CE	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	RAS
hídricas	H <sub>2</sub> O	dS m <sup>-1</sup>	-----mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> -----							(mmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> ) <sup>0,5</sup>
1	7,8	0,5	0,3	6,6	0,3	1,1	2,6	0,2	2,8	7,9
2	8,1	3,5	0,4	19,4	5,7	8,8	30,8	0,6	2,3	7,2

Fonte hídrica 1 - água de abastecimento; Fonte hídrica 2 - rejeito salino; RAS - Razão de adsorção de sódio.

Após o preparo do solo, foi realizada uma irrigação de modo a deixá-lo próximo à máxima retenção de água, e as irrigações subsequentes foram realizadas uma vez ao dia de modo a deixar o solo com umidade próxima à capacidade máxima de retenção, com base no método da lisimetria de drenagem, sendo a lâmina aplicada acrescida de uma fração de lixiviação (FL) de 15% a cada 30 dias. O volume aplicado foi estimado em parcela adicional, a partir da média de consumo hídrico de 10 plantas, uma para cada tratamento. O volume aplicado ( $V_a$ ) por planta foi obtido pela diferença entre a lâmina anterior ( $L_a$ ) aplicada menos a média de drenagem ( $D$ ), dividido pelo número de plantas ( $n$ ), como indicado na equação 1:

$$V_a = \frac{L_a - D}{n(1 - FL)} \text{ (Eq.1)}$$

O volume total de água aplicada por planta foi de 4,52 L, correspondente a uma aplicação de 1,45 g de sais nas plantas irrigadas com água de abastecimento (0,5 dS m<sup>-1</sup>) e 10,13 g de sais nas plantas irrigadas com rejeito salino (3,5 dS m<sup>-1</sup>). Aos 90 dias após a semeadura, foi aplicada mais uma lâmina de lixiviação (15%), o volume drenado foi coletado, no qual foi medida a condutividade elétrica da água de drenagem (CEd), utilizando-se um condutivímetro de bancada com os dados expresso em dS m<sup>-1</sup> ajustados para temperatura de 25°C e o pH. A condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e o pH (Tabela 4) foram determinados usando a Equação 2 (Eq.2), proposta Ayers e Westcot (1999) para solos de textura média.

$$CEes = \frac{CEd}{2} \text{ (Eq.2)}$$

**Tabela 4** - Condutividade elétrica (CEes) e o pHes do extrato de saturação do solo sob irrigação com águas salinas e diferentes doses de NPK.

Recomendação de adubação de NPK (%)	CEes (dS m <sup>-1</sup> )		pHes	
	AA	RS	AA	RS
25	1,2	6,0	7,2	6,9
50	2,5	6,0	6,8	7,0
75	3,3	4,1	5,8	7,1
100	4,2	7,7	6,0	5,8
125	4,8	8,4	5,2	5,4

AA - água de abastecimento; RS - rejeito salino; EP – efluente da piscicultura.

As trocas gasosas das mudas de graviroleira foram avaliadas aos 90 dias após a semeadura entre 7h00 e 9h00. As avaliações foram feitas nas folhas totalmente expandidas situadas no terço superior de cada planta, com analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCPro<sup>+</sup> Portable Photosynthesis System<sup>®</sup> (ADC Bio Scientific Limited, UK) LCPro<sup>+</sup> com controle de temperatura a 25 °C, irradiação de 1200 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e fluxo de ar de 200 mL min<sup>-1</sup>, de modo a obter a fotossíntese líquida ( $A_N$ ) em μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, transpiração ( $E$ ) em mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e condutância estomática ( $g_s$ ) em mol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (SÁ et al., 2019). A fluorescência da clorofila *a* foi analisada após a análise de trocas gasosas, usando-se um fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science; utilizou-se o protocolo Fv/Fm para avaliações em condições de escuro. Nessas condições, estimou-se a máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) (SÁ et al., 2019).

Logo após a análise de trocas gasosas, foi avaliada a fluorescência da clorofila *a*, usando-se um fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science; utilizou-se o

protocolo Fv/Fm para avaliações em condições de escuro. Nessas condições, estimou-se a máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) (SÁ et al., 2019). Ainda com o uso do fluorômetro de pulso modulado, procedeu-se às avaliações em condições de claro, por meio do protocolo Yield, para obtenção da fluorescência inicial antes do pulso de saturação (F'), fluorescência máxima após adaptação à luz saturante (Fm'), taxa de transporte de elétrons (ETR) e atual eficiência quântica do fotossistema II (PS II) (Y(II)).

Com esses dados, determinou-se: fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo') (OXBOROUGH; BAKER, 1997), o coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake (qL) (KRAMER et al., 2004), o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (Y(NPQ)) (KRAMER et al., 2004) e o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y(NO)) (KRAMER et al., 2004).

Aos 90 dias após a semeadura, as mudas foram avaliadas quanto a medições de altura, diâmetro do caule, comprimento da raiz principal e número de folhas. A altura das mudas foi mensurada utilizando régua graduada partindo-se do solo até a inserção do meristema apical, sendo os dados expressos em cm. O diâmetro do caule das mudas foi determinado por meio de paquímetro digital a 1 cm da superfície do solo; as leituras foram expressas em mm. O número de folhas foi determinado por meio da contagem simples das folhas verdes totalmente expandidas de cada planta. Após as análises fisiológicas, as mudas foram coletadas e seccionadas em parte aérea e raiz e acondicionados em sacos de papel do tipo Kraft, colocadas em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C até atingirem peso constante e pesadas em balança analítica (0,0001 g), para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), sendo os resultados expressos em g por planta.

A massa seca da parte aérea foi triturada em moinho de aço do tipo Willey, com posterior armazenamento em saquinhos de plástico etiquetados, seguindo para análise. No laboratório, o material passou por digestão via úmida (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% p.a. + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 98% p.a.) em sistema aberto, para a determinação das concentrações foliares totais de nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl e digestão em ácido nítrico (HNO<sub>3</sub> 98% p.a.) em forno micro-ondas para a obtenção do extrato utilizado na leitura das concentrações foliares totais de fósforo (P), potássio (K<sup>+</sup>) e sódio (Na<sup>+</sup>) (EMBRAPA, 2009), sendo as leituras realizadas em Plasma por Acoplamento Indutivo (ICP). De posse dos dados, estimou-se a quantidade de gramas por planta e determinou-se a relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste 'F'; nos casos de significância, aplicou-se teste 't' de Student para o fator água de irrigação e regressão para o

fator doses de NPK, ao nível de 5% de significância, com auxílio do *software* estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2014).

## 2.3 RESULTADOS

A interação entre águas de irrigação e doses de NPK foi significativa para altura de planta ( $p < 0,001$ ), diâmetro do caule ( $p < 0,01$ ), número de folhas ( $p < 0,05$ ), comprimento da raiz ( $p < 0,05$ ) e massa seca da parte aérea ( $p < 0,001$ ) das mudas de graviolera (Tabela 5). Para massa seca da raiz das mudas de graviolera, houve efeito significativo dos fatores isolados águas de irrigação ( $p < 0,001$ ) e doses de NPK ( $p < 0,01$ ) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resumo do teste F e teste de médias para altura de planta (AP, em cm), diâmetro do caule (DC, em mm), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR, em cm), massa seca da parte aérea (MSPA, em g) e massa seca da raiz (MSR, em g) de mudas de graviolera sob irrigação com rejeito salino e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.

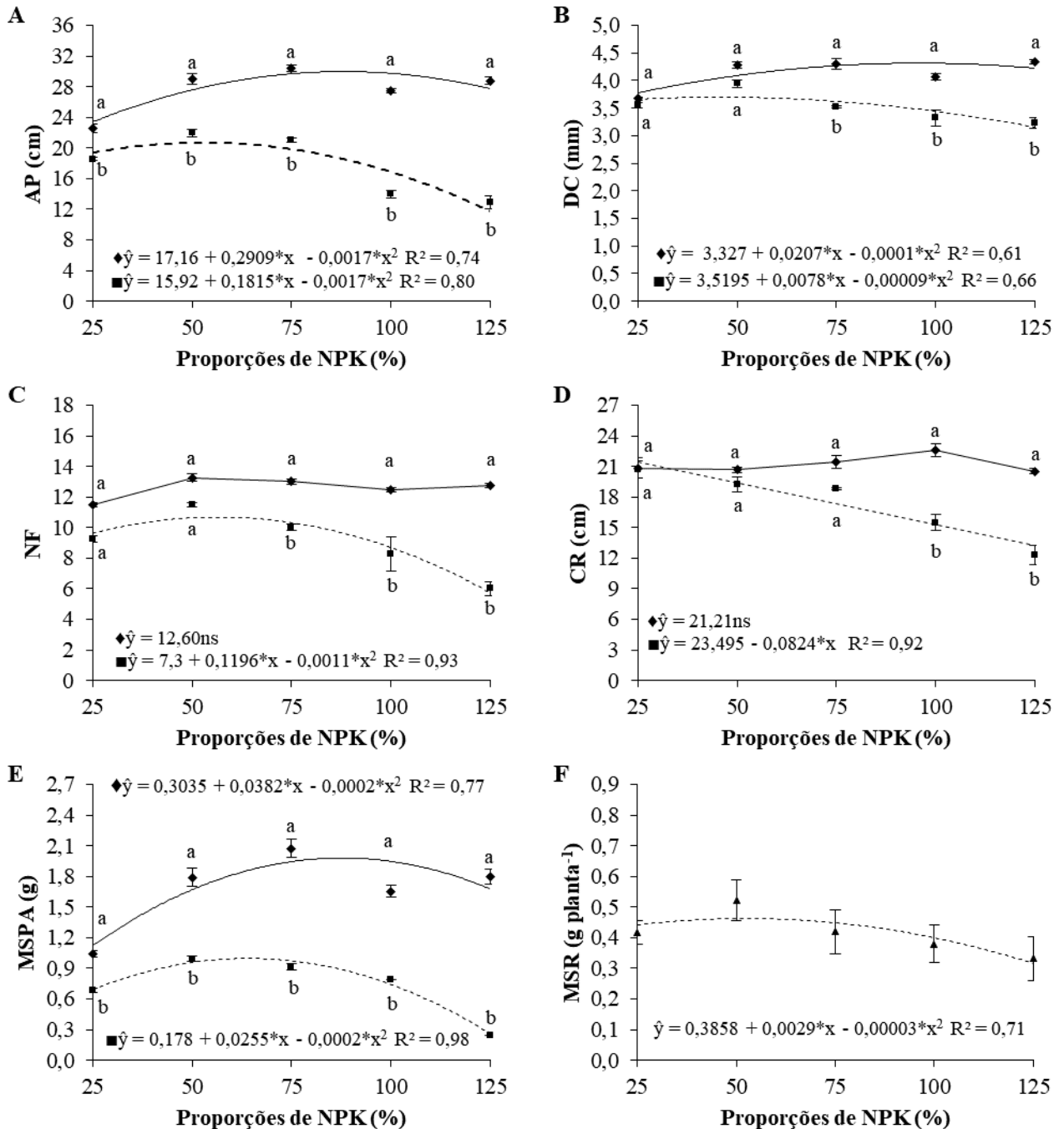
Teste F (Pr > Fc)						
Fontes de variação	AP	DC	NF	CR	MSPA	MSR
Bloco	0,8178	0,0353	0,1545	0,4747	0,6230	0,9921
Águas	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000
Doses de NPK	0,0000	0,0076	0,0093	0,0363	0,0000	0,0079
Águas x Doses de NPK	0,0000	0,0083	0,0318	0,0265	0,0001	0,1682
Teste 't' Student ( $p < 0,05$ )						
Tratamentos	AP	DC	NF	CR	MSPA	MSR
Água de abastecimento	27,63 a	4,13 a	12,60 a	21,21 a	1,67 a	0,55 a
Rejeito salino	17,69 b	3,51 b	9,00 b	17,32 b	0,73 b	0,27 b

\*\*, \* e <sup>ns</sup> = Significativo a 1%, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, de acordo com o teste F. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste 't' Student a 0,05 de probabilidade.

A altura da graviolera foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que naquelas irrigadas com rejeito salino em todas as doses de NPK (Figura 1A). A maior altura da graviolera irrigada com água de abastecimento foi de 29,60 cm na dose 85,56% de NPK (Figura 1A). A maior altura da graviolera irrigada com rejeito salino foi de 20,76 cm na dose 53,38% de NPK (Figura 1A). As plantas irrigadas com rejeito salino tiveram redução de altura de 29,87%, na comparação às irrigadas com água de abastecimento (Figura 1A).

O diâmetro do caule (DC) da graviolera foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que naquelas irrigadas com rejeito salino apenas nas doses de 75, 100 e 125% de NPK (Figura 1B). O maior DC da graviolera irrigada com água de abastecimento foi de 4,40 mm na dose 103,50% de NPK (Figura 1B). O maior DC da graviolera irrigada com rejeito salino foi de 3,69 mm na dose 43,33% de NPK (Figura 1B). Considerando os

melhores resultados de DC da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito salino reduziram em 16,14% na comparação à água de abastecimento (Figura 1B).



**Figura 1.** Altura de planta, AP (A, ErroP, n=4), diâmetro do caule, DC (B, ErroP, n=4), número de folhas, NF (C, ErroP, n=4), e comprimento da raiz principal, CR (D, ErroP, n=4), massa seca da parte aérea, MSPA (E, ErroP, n=4) e massa seca da raiz, MSR (F, ErroP, n=8) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com rejeito salino (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.

O número de folhas (NF) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com rejeito salino nas doses de 75, 100 e 125% de NPK (Figura 1C). Para o NF da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de 12,6 folhas por planta considerando todas as doses de NPK. O maior e o menor NF da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de 13,25 e 11,50 folhas em média nas doses 50 e 25% de NPK, respectivamente (Figura 1C).

O maior NF da gravioleira irrigada com rejeito salino foi de 10,55 folhas em média, na dose 54,36% de NPK (Figura 1C). Considerando os melhores resultados de NF da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito salino reduziram em 22,14%, na comparação à água de abastecimento (Figura 1C).

O comprimento da raiz principal (CR) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento em comparação às irrigadas com rejeito salino apenas nas doses de 100 e 125% de NPK (Figura 1D). Para o CR da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de 21,21 cm considerando todas as doses de NPK. A maior e o menor CR da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de 22,58 e 20,00 cm nas doses 100 e 50% de NPK, respectivamente (Figura 1D). O CR da gravioleira irrigada com rejeito salino teve comportamento linear decrescente, o maior e o menor valor, 21,44 e 13,20 cm, foram registrados nas doses de 25 e 125%, correspondendo a um decréscimo de 38,43% entre eles (Figura 1D). Comparando os melhores resultados de CR da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito salino reduziram em 5,05% na comparação à água de abastecimento (Figura 1D).

A massa seca da parte aérea (MSPA) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com rejeito salino em todas as doses de NPK (Figura 1E). A maior MSPA da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 2,13 g planta<sup>-1</sup> na dose 95,50% de NPK (Figura 1E). A maior MSPA da gravioleira irrigada com rejeito salino foi de 0,99 g planta<sup>-1</sup> na dose 63,75% de NPK (Figura 1E). Observando os melhores resultados de MSPA da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito salino reduziram em 53,52%, na comparação à água de abastecimento (Figura 1E).

A massa seca da raiz (MSR) da gravioleira irrigada com rejeito salino diminuiu 50,91% em comparação às mudas irrigadas com água de abastecimento, independentemente da dose de NPK (Tabela 5). A melhor dose de NPK para a MSR das mudas de gravioleira foi de 48,33%, obtendo-se média de 0,46 g planta<sup>-1</sup>, independentemente da água de irrigação utilizada (Figura 1F).

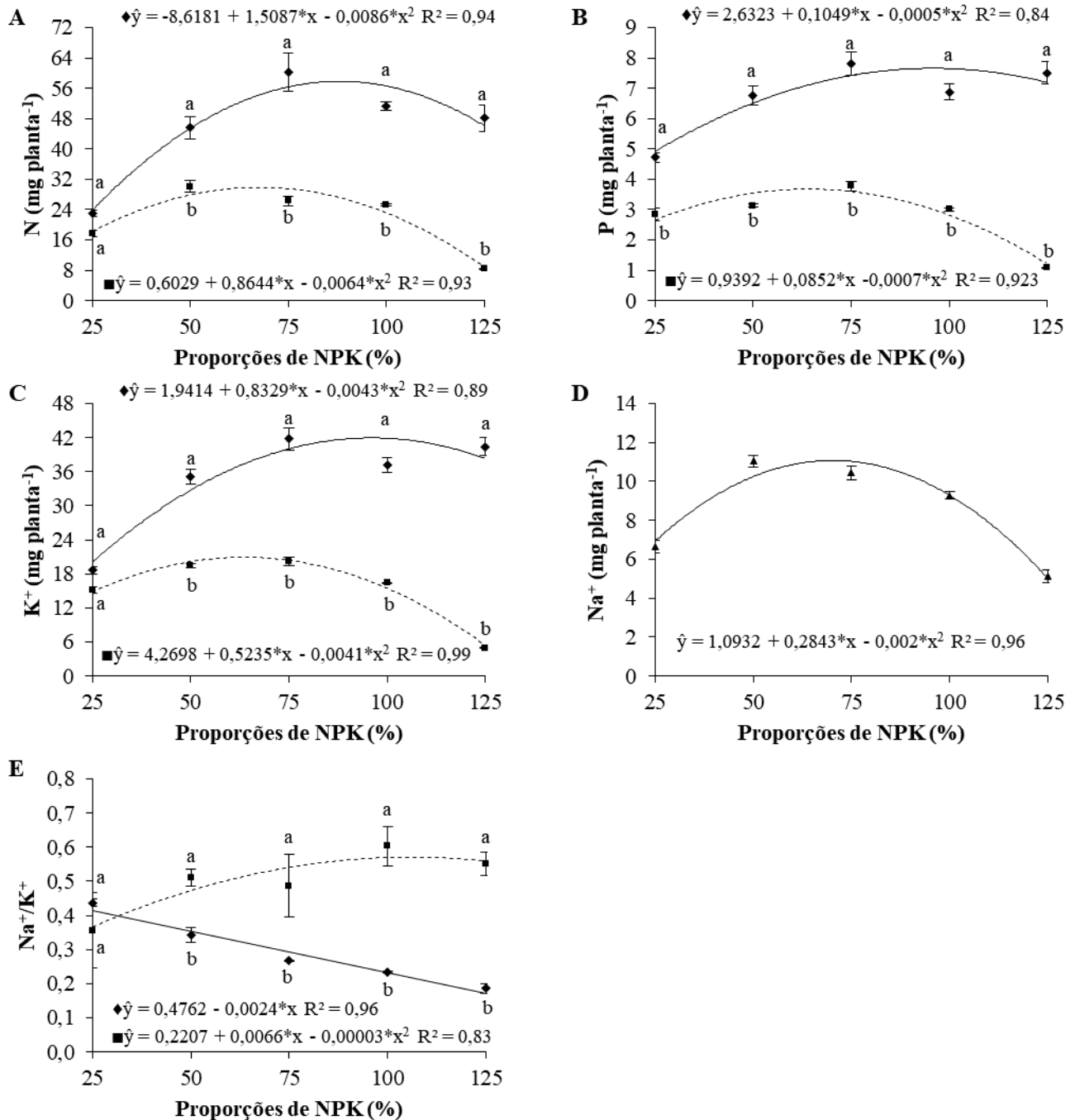
Houve interação significativa entre águas de irrigação e doses de NPK para acúmulo de nitrogênio ( $p < 0,01$ ), acúmulo de fósforo ( $p < 0,01$ ), acúmulo de potássio ( $p < 0,001$ ) e relação sódio potássio ( $p < 0,001$ ) das mudas de gravioleira (Tabela 6). Para o acúmulo de sódio das mudas de gravioleira, houve efeito significativo dos fatores isolados águas de irrigação ( $p < 0,01$ ) e doses de NPK ( $p < 0,001$ ) (Tabela 6).

**Tabela 6.** Resumo do teste F e teste de médias para o acúmulo de nitrogênio (N, mg planta<sup>-1</sup>), fósforo (P, mg planta<sup>-1</sup>), potássio (K<sup>+</sup>, mg planta<sup>-1</sup>), sódio (Na<sup>+</sup>, em mg planta<sup>-1</sup>) e relação sódio potássio (Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>) na parte aérea de mudas de gravioleira sob irrigação com rejeito salino e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.

Fontes de variação	Teste F (Pr > Fc)				
	N	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>
Bloco	0,8137	0,8760	0,5553	0,9587	0,4049
Águas	0,0000	0,0000	0,0000	0,0071	0,0000
Doses de NPK	0,0003	0,0044	0,0000	0,0000	0,7477
Águas x Doses de NPK	0,0081	0,0023	0,0000	0,1295	0,0009
Tratamentos	Teste 't' Student (p < 0,05)				
	N	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>
Água de abastecimento	45,65 a	6,74 a	34,61 a	9,52 a	0,29 b
Rejeito salino	21,50 b	2,77 b	15,24 b	7,49 b	0,50 a

\*\*, \* e ns = Significativo a 1%, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, de acordo com o teste F. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste 't' Student a 0,05 de probabilidade.

O acúmulo de nitrogênio (N) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com rejeito salino em todas as doses de NPK, exceto para dose de 25% de NPK, na qual foram semelhantes (Figura 2A). O maior acúmulo de N da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 57,55 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 87,72% de NPK (Figura 2A). O maior acúmulo de N da gravioleira irrigada com rejeito salino foi de 29,79 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 67,53% de NPK (Figura 2A). Observando os melhores resultados de acúmulo de N da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito salino reduziram em 48,24% na comparação à água de abastecimento (Figura 2A).



**Figura 2.** Acúmulo de nitrogênio, N (A, ErroP, n=4), fósforo, P (B, ErroP, n=4), potássio, K<sup>+</sup> (C, ErroP, n=4), sódio, Na<sup>+</sup> (D, ErroP, n=8) e relação sódio/potássio, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> (E, ErroP, n=4) na parte aérea de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com rejeito salino (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.

O acúmulo de fósforo (P) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento em relação às irrigadas com rejeito salino em todas as doses de NPK (Figura 2B). O maior acúmulo de P da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 8,13 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 104,90% de NPK (Figura 2B). O maior acúmulo de P da gravioleira irrigada com rejeito salino foi de 3,53 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 63,84% de NPK (Figura 2B). Observando



os melhores resultados de acúmulo de P da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito salino reduziram em 56,58%, na comparação à água de abastecimento (Figura 2B).

O acúmulo de potássio ( $K^+$ ) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento em relação às irrigadas com rejeito salino em todas as doses de NPK, exceto para dose de 25% de NPK, na qual foram semelhantes (Figura 2C). O maior acúmulo de  $K^+$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 42,47 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 96,85% de NPK (Figura 2C). O maior acúmulo de  $K^+$  da gravioleira irrigada com rejeito salino foi de 20,98 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 63,84% de NPK (Figura 2C). Observados os melhores resultados de acúmulo de  $K^+$  da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito salino reduziram em 50,60%, na comparação à água de abastecimento (Figura 2C).

O acúmulo de sódio ( $Na^+$ ) da gravioleira irrigada com rejeito salino foi 21,32% menor do que o acúmulo observado nas mudas irrigadas com água de abastecimento, independentemente da dose de NPK (Tabela 6). A dose de NPK na qual as mudas de gravioleira acumularam mais  $Na^+$  foi de 71,08%, obtendo-se uma média de 11,20 mg planta<sup>-1</sup>, independentemente da água de irrigação utilizada (Figura 2D).

A relação  $Na^+/K^+$  da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com rejeito salino em relação as irrigadas com água de abastecimento em todas as doses de NPK, exceto para dose de 25% de NPK, na qual foram semelhantes (Figura 2E). Para a relação  $Na^+/K^+$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento, houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor relação  $Na^+/K^+$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de 0,42 e 0,18 nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando um decréscimo de 57,14% na relação  $Na^+/K^+$  (Figura 2E). A maior relação  $Na^+/K^+$  da gravioleira irrigada com rejeito salino foi de 0,58 e ocorreu na dose 110,00% de NPK (Figura 2C). Observados os maiores resultados de relação  $Na^+/K^+$  da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito salino aumentaram no mínimo 38,09% a relação  $Na^+/K^+$ , na comparação às plantas da água de abastecimento (Figura 2E).

A interação significativa entre águas de irrigação e doses de NPK para taxa de assimilação de  $CO_2$  ( $p < 0,001$ ), condutância estomática ( $p < 0,01$ ) e transpiração ( $p < 0,001$ ) das mudas de gravioleira (Tabela 8). Para a máxima eficiência quântica do PSII das mudas de gravioleira, houve efeito significativo apenas para águas de irrigação ( $p < 0,001$ ) (Tabela 7).

**Tabela 7.** Resumo do teste F e teste de médias para taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A_N$ , em  $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ , em  $\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ , em  $\text{mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e máxima eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ) de mudas de gravioleira sob irrigação com rejeito salino e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.

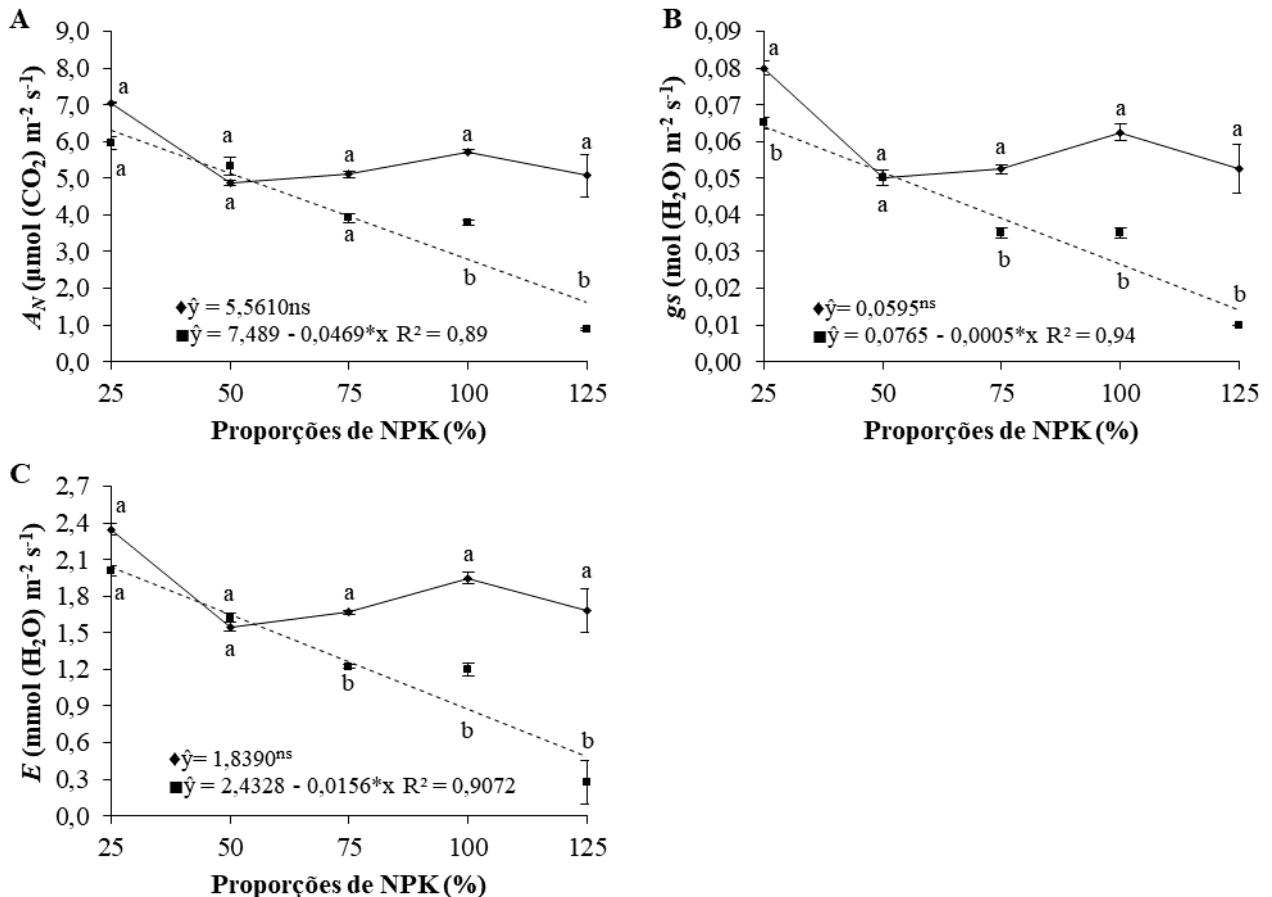
Teste F (Pr > Fc)				
Fontes de variação	$A_N$	$g_s$	$E$	$F_v/F_m$
Bloco	0,4865	0,2568	0,4064	0,7982
Águas	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Doses de NPK	0,0000	0,0000	0,0000	0,5638
Águas x Doses de NPK	0,0004	0,0039	0,0002	0,0841
Teste 't' Student (p < 0,05)				
Tratamentos	$A_N$	$g_s$	$E$	$F_v/F_m$
Água de abastecimento	5,56 a	0,059 a	1,84 a	0,72 a
Rejeito salino	3,97 b	0,039 b	1,27 b	0,69 b

\*\*, \* e ns = Significativo a 1%, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, de acordo com o teste F. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste 't' Student a 0,05 de probabilidade.

A taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> ( $A_N$ ) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento em relação às irrigadas com rejeito salino apenas nas doses de 100 e 125% de NPK (Figura 3A). Para a  $A_N$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de 5,56  $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , considerando todas as doses de NPK. A maior e o menor  $A_N$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de 7,05 e 4,87  $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses 25 e 50% de NPK, respectivamente (Figura 3A). Para a  $A_N$  da gravioleira irrigada com rejeito salino, houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor  $A_N$  da gravioleira irrigada com rejeito salino foram de 6,32 e 4,63  $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando um decréscimo de 26,74% na  $A_N$  (Figura 3A). Observados os melhores resultados de  $A_N$  da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito salino diminuíram a  $A_N$  em no mínimo 10,35%, na comparação à água de abastecimento (Figura 3A).

A condutância estomática ( $g_s$ ) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento em relação às irrigadas com rejeito salino em todas as doses de NPK, exceto para dose de 50% de NPK, na qual foram semelhantes (Figura 3B). Para a  $g_s$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de 0,06  $\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  considerando todas as doses de NPK. A maior e o menor  $g_s$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de 0,08 e 0,05  $\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses 25 e 50% de NPK, respectivamente (Figura 3B). Para a  $g_s$  da gravioleira irrigada com rejeito salino, houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor  $g_s$  da gravioleira irrigada com rejeito salino foram de 0,064 e 0,014  $\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando decréscimo de 78,13% na  $g_s$  (Figura 3B). Observando os melhores resultados de  $g_s$  da gravioleira, as plantas irrigadas com rejeito

salino diminuíram a  $g_s$  em no mínimo 20,00%, na comparação à água de abastecimento (Figura 3B).



**Figura 3.** Taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ ,  $A_N$  (A, ErroP, n=4), Condutância estomática,  $g_s$  (B, ErroP, n=4) e transpiração,  $E$  (C, ErroP, n=4) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com rejeito salino (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.

A transpiração ( $E$ ) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com rejeito salino nas doses de 75, 100 e 125% de NPK (Figura 3C). Para a  $E$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de  $1,84 \text{ mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  considerando todas as doses de NPK. A maior e o menor  $E$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de  $2,35$  e  $1,55 \text{ mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses 25 e 50% de NPK, respectivamente (Figura 3C). Para a  $E$  da gravioleira irrigada com rejeito salino, houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor  $E$  da gravioleira irrigada com rejeito salino foram de  $2,04$  e  $0,48 \text{ mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando decréscimo de 76,47% na  $E$  (Figura 3C). Observando os melhores resultados de  $E$  da gravioleira, as plantas

irrigadas com rejeito salino diminuíram a  $E$  em no mínimo 13,19%, na comparação à água de abastecimento (Figura 3C).

A máxima eficiência quântica do PSII ( $Fv/Fm$ ) da gravioleira irrigada com rejeito salino diminuiu em média 4,35%, em relação às mudas irrigadas com água de abastecimento, independentemente da dose de NPK (Tabela 7).

A interação entre águas de irrigação e doses de NPK foi significativa para o coeficiente quântico de extinção fotoquímica ( $p < 0,05$ ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada ( $p < 0,05$ ) das mudas de gravioleira (Tabela 7). Para a eficiência quântica do PSII ( $p < 0,01$ ), taxa de transporte de elétrons ( $p < 0,05$ ), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado e rendimento quântico de extinção fotoquímica ( $p < 0,01$ ) regulada das mudas de gravioleira, houve efeito significativo apenas para as águas de irrigação (Tabela 8).

**Tabela 8.** Resumo do teste F e teste de médias para eficiência quântica do PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR,  $\mu\text{mol (fótons)} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado ( $F_o'$ ,  $\mu\text{mol (fótons)} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), coeficiente de extinção fotoquímica (qL), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (YNO) de mudas de gravioleira sob irrigação com rejeito salino e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.

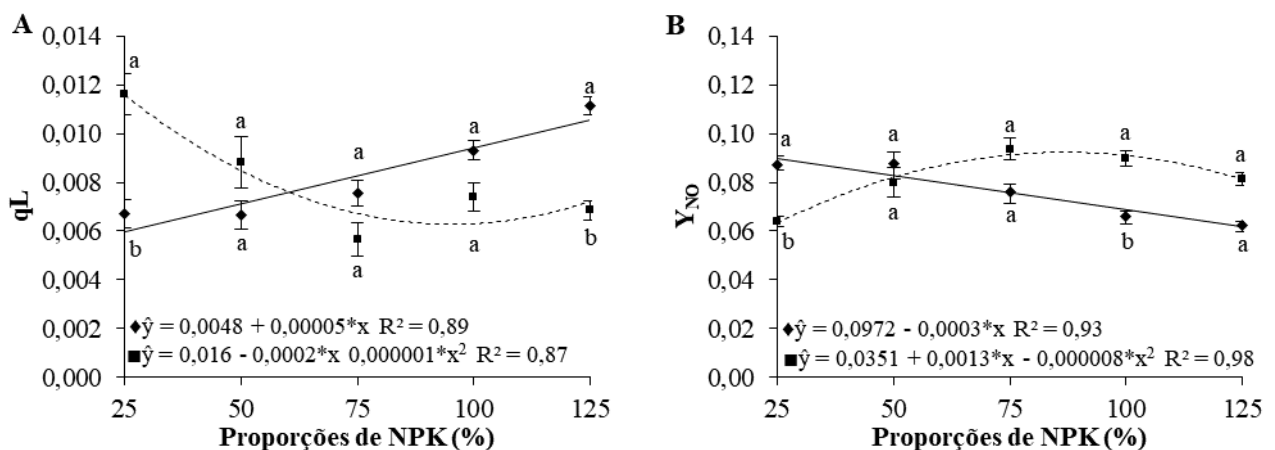
Teste F (Pr > Fc)						
Fontes de variação	Y	ETR	$F_o'$	qL	YNPQ	YNO
Bloco	0,2843	0,2144	0,3644	0,9215	0,2686	0,3849
Águas	0,0007	0,0118	0,0005	0,8132	0,0008	0,2316
Doses de NPK	0,8458	0,3237	0,2060	0,2869	0,7327	0,4388
Águas x Doses de NPK	0,6381	0,1284	0,4215	0,0135	0,5558	0,0148
Teste 't' Student ( $p < 0,05$ )						
Tratamentos	Y	ETR	$F_o'$	qL	YNPQ	YNO
Água de abastecimento	0,454 a	47,28 a	3,68 b	0,0083 a	0,470 b	0,076 a
Rejeito salino	0,296 b	35,19 b	5,47 a	0,0081 a	0,623 a	0,082 a

\*\*, \* e <sup>ns</sup> = Significativo a 1%, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, de acordo com o teste F. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste 't' Student a 0,05 de probabilidade.

A eficiência quântica do PSII (Y) e a taxa de transporte de elétrons (ETR) da gravioleira irrigada com rejeito salino diminuíram em média 34,8 e 25,6%, respectivamente, em relação às mudas irrigadas com água de abastecimento, independentemente da dose de NPK (Tabela 8).

A fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado ( $F_o'$ ) e o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) da gravioleira irrigada com rejeito salino aumentaram em 48,6 e 32,5%, respectivamente, em relação às mudas irrigadas com água de abastecimento, independentemente da dose de NPK (Tabela 8).

O coeficiente quântico de extinção fotoquímica (qL) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com rejeito salino somente na dose de 125% de NPK, porém na dose 25% de NPK o qL foi maior nas mudas irrigadas com rejeito salino (Figura 4A). O menor e maior qL da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram 0,0061 e 0,0111 nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando aumento de 81,98% no qL (Figura 4A). Na gravioleira irrigada com rejeito salino, o menor qL ocorreu na dose de 100,0% de NPK, com qL de 0,0060 (Figura 4B). Comparado os resultados de qL da gravioleira na dose de 100% de NPK, as plantas irrigadas com rejeito salino diminuíram a qL em 38,77%, na comparação às plantas irrigadas com água de abastecimento (Figura 4B).



**Figura 4.** Coeficiente quântico de extinção fotoquímica (qL) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y<sub>NO</sub>) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com rejeito salino (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo.

O rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y<sub>NO</sub>) da gravioleira foi maior quando as mudas foram irrigadas com água de abastecimento na dose de 25% de NPK, em comparação às irrigadas com rejeito salino. Porém, o Y<sub>NO</sub> da gravioleira irrigada com rejeito salino na dose de 100% de NPK foi maior do que o obtido na gravioleira irrigada com água de abastecimento (Figura 4B). A maior e menor Y<sub>NO</sub> da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram 0,090 e 0,060 nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando redução de 33,33% no Y<sub>NO</sub> (Figura 4B). No Y<sub>NO</sub> da gravioleira irrigada com rejeito salino, o maior Y<sub>NO</sub> ocorreu na dose de 81,25% de NPK, com qL de 0,088 (Figura 4B). Comparado os resultados de Y<sub>NO</sub> da gravioleira obtidos na dose de 81,25% de NPK, as plantas irrigadas com rejeito salino aumentaram o Y<sub>NO</sub> em 20,55%, em comparação às plantas irrigadas com água de abastecimento (Figura 4B).

## 2.4 DISCUSSÃO

Os melhores resultados de altura, diâmetro do caule e massa seca da parte aérea das mudas de gravioleira nessas condições ocorreram na dose média de 95% da recomendação de NPK, que corresponde a 95:285:143 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. A dose obtida para o maior crescimento das mudas está próxima à obtida para os maiores acúmulos de nitrogênio, fósforo e potássio, que ocorreram na dose média de 96,5% da recomendação de NPK. Doses superiores a essa causaram reduções no crescimento da gravioleira devido ao aumento da salinidade do solo, em virtude do incremento excessivo de fertilizantes. Foi verificado que a salinidade do solo ao final do experimento na dose de 100% da recomendação era de 4,2 dS m<sup>-1</sup> e chegou a 4,8 dS m<sup>-1</sup>. O nível de 4,2 dS m<sup>-1</sup> de salinidade do solo foi um nível crítico para gravioleira, mesmo que induzido por fertilizantes. O estresse salino ocasiona restrições osmóticas e iônicas nas plantas porque altas concentrações de sais solúveis causam alterações do potencial osmótico solo, impedindo que a planta absorva água (GUPTA; HUANG, 2014; WAN et al., 2017).

Os melhores resultados de altura, diâmetro do caule e massa seca da parte aérea para as mudas de gravioleira irrigadas com rejeito salino ocorreram na dose média de 54% da recomendação de NPK, que corresponde a 54:162:81 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. A dose obtida para o maior crescimento das mudas está distante da obtida para os maiores acúmulos de nitrogênio, fósforo e potássio, que ocorreram na dose média de 64,0% da recomendação de NPK. Essa diferença de 10,0% entre a melhor dose para o crescimento e para acúmulo de nutrientes é indicativo de consumo de luxo ou da incapacidade de regular absorção e ou translocação de íons para parte aérea, uma vez que esse consumo causou perdas de crescimento as mudas de gravioleira. As menores salinidade do solo irrigado com rejeito salino ocorreram nas doses de 50 e 75% da recomendação de NPK, coincidindo com o maior crescimento e extração de nutrientes das mudas, respectivamente. Nessas condições, a salinidade do solo foi 3,8 e 4,6 dS m<sup>-1</sup>, ao passo que nas outras doses a salinidade do solo variou de 5,1-6,1 dS m<sup>-1</sup>.

Na dose de 54% da recomendação de NPK, as mudas de gravioleira absorveram sais de forma mais seletiva, mantendo a relação sódio/potássio abaixo de 0,6, nível crítico para funcionamento de tecidos fotossintéticos (ANDRADE et al., 2018; SÁ et al., 2020; 2021b). Além disso, com absorção de íons a planta manteve a salinidade do solo em 3,8 dS m<sup>-1</sup>, nível que não foi crítico para as plantas cultivadas sob irrigação com água de abastecimento. Com absorção de íons, foi possível manter os níveis de potencial osmótico no solo em condições

favoráveis. Esse fato é repercutido na taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ , das plantas sob irrigação com rejeito salino na dose de 54% da recomendação de NPK, com média de  $4,96 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , bem semelhante à média de  $5,56 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , obtida para mudas cultivadas sob irrigação com água de abastecimento.

Esses resultados comprovam a hipótese de que plantas submetidas à irrigação com rejeito salino requerem menos nutrientes do que as plantas irrigadas com água de baixa salinidade. Isso ocorre devido ao menor crescimento das mudas em condições de estresse salino severo (PASSOS et al., 2005). A perda de crescimento, mesmo considerando os melhores resultados da adubação, foi da ordem de 29,9% para altura de planta, 16,14% para diâmetro do caule e 53,52% da massa seca da parte aérea das mudas irrigadas com rejeito salino em comparação com mudas irrigadas com água de abastecimento. Na presente pesquisa, a gravioleira adubada adequadamente manteve sua eficiência fotossintética alta sob estresse salino em relação à literatura. Ao comparar os melhores resultados do rejeito salino ( $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) com os melhores resultados da água de abastecimento, as reduções na taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  e na máxima eficiência do fotossistema II foram de apenas 10,35% e 4,35%, respectivamente. Enquanto isso, Silva et al. (2017; 2018) verificaram que a taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  da gravioleira é reduzida em 73% para uma redução de 4,30% na máxima eficiência do fotossistema II, quando as plantas são irrigadas com água salina de  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$  comparado as plantas irrigadas com água de  $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ .

A diminuição da taxa fotossintética da gravioleira irrigada com rejeito salino corrobora com a diminuição da eficiência quântica do PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR) e coeficiente quântico de extinção fotoquímica (qL), indicando que o PSII perdeu eficiência e diminuiu o transporte de energia a quinona (SANTOS et al., 2020; FERNANDES et al., 2022). A redução de Y, ETR e qL na gravioleira irrigada com rejeito salino, em comparação ao controle, coincide com aumentos na fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado ( $F_o'$ ) e o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (YNPQ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada ( $Y_{NO}$ ). A perda de eficiência do PSII da gravioleira estressada coincide com o aumento do quenching fotoquímico. O aumento em  $F_o'$  é indicativo de danos ao aparato fotossintético, confirmado pelos aumentos de YNPQ, de modo que a gravioleira estressada dissipa mais de 62% da energia que chega ao PSII na forma de fluorescência e aproximadamente 9% são perdidos de forma não regulada ( $Y_{NO}$ ), ou seja, quenching não fotoquímico por energia cinética ou ressonância (SILVA et al., 2021; SILVA et al., 2022; FERNANDES et al., 2022). A diminuição da eficiência fotoquímica e aumento do quenching fotoquímico diminuem a produção de poder redutor (NADPH -

Fosfato de Dinucleótido de Nicotinamida e Adenina e ATP – Trifosfato de Adenosina), comprometendo a regeneração da Ribulose 1,5 Bifosfato Carboxilase Oxigenase (RuBisCO) e carboxilação do CO<sub>2</sub> (SÁ et al., 2019, SÁ et al., 2021a; PRAXEDES et al., 2022).

A adubação adequada melhorou a resposta fotossintética da gravioleira sob estresse salino. Esse resultado é verificado em plantas adubadas com 50% de NPK. A melhoria na eficiência fotossintética favorece o aporte de energia para o crescimento, síntese de solutos compatíveis e proteínas carreadoras de íons específicos que auxiliam na homeostase osmótica e iônica (GUPTA; HUANG, 2014; LIANG et al., 2018; VOLKO; BEILBY, 2017; WAN et al., 2017). Nossos resultados corroboram os resultados obtidos por Sá et al. (2019; 2020) em aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) e Sá et al. (2021a) em pinheira (*Annona squamosa* L.), nos quais ajustes nas recomendações de nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K) promovem melhorias no crescimento, relações hídricas, fotossíntese, homeostase iônica das plantas sobre estresse salino. Esse fato confirma a hipótese de que plantas de gravioleira sob estresse salino requerem menos nutrientes do que as plantas na condição de controle.

## 2.5 CONCLUSÕES

Mudas de gravioleira irrigadas com rejeito salino requerem menos nutrientes do que as mudas irrigadas com água de abastecimento. A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com água de baixa salinidade é de 95:285:143 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com rejeito salino é de 54:162:81 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O.

O uso de uma adubação adequada para gravioleira irrigada com rejeito salino melhora o crescimento, as trocas gasosas, a eficiência fotossintética e homeostase iônica das mudas.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. R. F.; FRISCHKORN, H. Salinization mechanisms of a small alluvial aquifer in the semiarid region of northeast Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 7, p. 643-649, 2015.
- ANDRADE, F. H. A.; PEREIRA, W. E.; MORAIS, R. R.; SILVA, A. F.; BARBOSA NETO, M. A. Effect of phosphorus application on substrate and use of saline water in sugar-apple seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 2, p. 190-199, 2018.



AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (FAO Irrigação e Drenagem, 29).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SDA/ACS, 2009.

CAVALCANTE, L. F.; CARVALHO, S. S.; LIMA, E. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SILVA, D. A. Desenvolvimento inicial da gravioleira sob fontes e níveis de salinidade da água. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 455-459, 2001.

CORDEIRO, Y. E. M.; MOURA, H. C. P.; SANTOS FILHO, B. G.; CORDEIRO, R. A. M.; PAULA, M. T.; OLIVEIRA NETO, C. F. Aspectos bioquímicos de plantas jovens de açaízeiro (*Euterpe oleraceae*) sob dois regimes hídricos na Amazônia Oriental. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 7, n. 3, p. 52-56, 2017.

DIAS, N. S.; FERNANDES, C. S.; SOUSA-NETO, O. N.; SILVA, C. R.; FERREIRA, J. F. S.; SÁ, F. V. S.; COSME, C. R.; SOUZA, A. C. M. S.; OLIVEIRA, A. M.; BATISTA, C. N. O. Potential agricultural use of reject brine from desalination plants in family farming areas. In: TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. (org.). **Saline and alkaline soils in Latin America**. 1ªed. Cham: Springer Nature; v. 1, 2021. p. 231–281.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa informação Tecnológica, 2009.

FERNANDES, C. S.; FERREIRA-NETO, M.; DIAS, N. S.; REGES, L. B. L.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, A. Á.; PAIVA, E. P.; FERNANDES, P. D.; SÁ, F. V. S. The appropriate source of nitrogen for italian zucchini under salt stress conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Switzerland, v. 22, n. 1, p. 560–570, 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um guia dos seus procedimentos de comparações múltiplas Bootstrap. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

KRAMER, D. M.; JOHNSON, G.; KIIRATS, O.; EDWARDS, G. E. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes. **Photosynthesis Research**, Netherlands, v. 79, v. 1, p. 209-218, 2004.

LIANG, W.; MA, X.; WAN, P.; LIU, L. Plant salt-tolerance mechanism: A review. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, San Diego, v. 495, n. 1, p. 286-291, 2018.

NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SANTOS, F. J. S.; BEZERRA, I. L.; GURGEL, M. T. Germinação e formação de mudas enxertadas de gravioleira sob estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1365-1371, 2003.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (org.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p.189-254.

OXBOROUGH, K.; BAKER, N. R. An instrument capable of imaging chlorophyll a fluorescence from leaves at very low irradiance and at cellular and subcellular levels of organization. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 20, n. 12, p. 1473-1483, 1997.

PASSOS, V. M.; SANTANA, N. O.; GAMA, F. C.; OLIVEIRA, J. G.; AZEVEDO, R. A.; VITÓRIA, A. P. Growth and ion uptake in *Annona muricata* and *A. squamosa* subjected to salt stress. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 49, n. 2, p. 285-288, 2005.

PRAXEDES, S. S. C.; FERREIRA NETO, M.; LOIOLA, A. T.; SANTOS, F. J. Q.; UMBELINO, B. F.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; MELO, A. S.; LACERDA, C. F.; FERNANDES, P. D.; DIAS, N. S.; SÁ, F. V. S. Photosynthetic responses, growth, production, and tolerance of traditional varieties of cowpea under salt stress. **Plants**, Basel, v. 11, n. special, p. e1863, 2022.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; FERREIRA NETO, M.; PAIVA, E. P.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L. Cultivation of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen proportions. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 2, p. 395-406, 2020.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PINHEIRO, F. W. A.; PAIVA, E. P.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L. A.; FERNANDES, P. D. The right combination of N-P-K fertilization may mitigate salt stress in custard apple (*Annona squamosa* L.). **Acta physiologiae Plantarum**, Gewerbestrasse, v. 43, n. 4, p. 1-12, 2021a.

SÁ, F. V. S.; MESQUITA, E. F.; BERTINO, A. M. P.; COSTA, J. D.; ARAÚJO, J. L. Influência do gesso e biofertilizante nos atributos químicos de um solo salino-sódico e no crescimento inicial do girassol. **IRRIGA**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 46-59, 2015.

SÁ, F. V. S.; SILVA, I. E.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y. B.; PAIVA, E. P.; GHEYI, H. R. Phosphorus doses alter the ionic homeostasis of cowpea irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, p. 372-379, 2021b.

SÁ, F. V. S.; GUEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; DIAS, A. S. Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 1, p. 211-221, 2019.

SANTOS, S. T.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, G. B. S.; SÁ, F. V. S.; COSTA, J. P. B. M.; FERNANDES, P. D. Photochemical efficiency of basil cultivars fertigated with salinized nutrient solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 5, p. 320-325, 2020.

SILVA, E. M.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S.; SOUSA, L. P. Growth and gas exchanges in soursop under irrigation with saline water and nitrogen sources. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 11, p. 776-781, 2018.

SILVA, E. M.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S.; SOUSA, L. P.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D. Photosynthetic pigments and photochemical efficiency in soursop under saline water irrigation and nitrogen sources. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 9, n. 12, p. 325-334, 2017.

SILVA, H. A.; OLIEVIRA, D. F. A.; AVELINO, A. P.; MACEDO, C. E. C.; BARROS GALVÃO, T.; VOIGT, E. L. Salt stress differentially regulates mobilisation of carbon and nitrogen reserves during seedling establishment of *Pityrocarpa moniliformis*. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 21, n. 6, p. 1110–1118, 2019.

SILVA, J. S.; DIAS, N. S.; JALES, G. D.; REGES, L. B. L.; FREITAS, J. M. C.; UMBELINO, B. F.; ALVES, T. R. C.; SILVA, A. A.; FERNANDES, C.S.; PAIVA, E. P.; MORAIS, P. L. D.; MELO, A. S.; BRITO, M. E. B.; FERREIRA NETO, M.; FERNANDES,

P. D.; SÁ, F. V. S. Physiological responses and production of mini-watermelon irrigated with reject brine in hydroponic cultivation with substrates. **Environmental Science and Pollution Research**, Switzerland, v. 29, p. 11116-11129, 2022.

SILVA, J. S.; SÁ, F. V. S.; DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; JALES, G. D.; FERNANDES, P. D. Morphophysiology of mini watermelon in hydroponic cultivation using reject brine and substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 6, p. 402-408, 2021.

VELOSO, L. L. S. A.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. P.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, I. T. S.; ARAUJO, E. B. G.; SILVA, W. L. Formation of soursop seedlings irrigated using waters with different salinity levels and nitrogen fertilization. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. suppl 1, p. 151, 2018.

VOLKOV, V.; BEILBY, M. J. Salinity tolerance in plants: mechanisms and regulation of ion transport. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, n. 1, p. 1795, 2017.

WAN, Q.; HONGBO, S.; ZHAOLONG, X.; JIA, L.; DAYONG, Z.; YIHONG, H. Salinity tolerance mechanism of osmotin and osmotin-like proteins: a promising candidate for enhancing plant salt tolerance. **Current Genomics**, Sharjah, v. 18, n. 6, p. 553-556, 2017.

### 3 MORFOFISIOLOGIA DE MUDAS DE GRAVIOLEIRA IRRIGADAS COM EFLUENTE DA PISCICULTURA SOB DOSES DE NPK

#### RESUMO

A gravioleira é uma frutífera tropical cultivada no semiárido brasileiro, onde são frequentes problemas de escassez quantitativa e qualitativa de água para irrigação. A utilização de fontes alternativa de água, como efluente da piscicultura, pode aumentar a oferta de água, porém causa riscos devido à sua alta salinidade. Assim, novas estratégias de manejo precisam ser estudadas. Portanto, objetivou-se avaliar a morfofisiologia de mudas de gravioleira submetidas à irrigação com efluente salino da piscicultura em função de doses de NPK. O experimento foi realizado em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5, sendo duas águas de irrigação (água de abastecimento local (0,5 dS m<sup>-1</sup>) e efluente da piscicultura (3,5 dS m<sup>-1</sup>)) e cinco doses de NPK (25%; 50%; 75%; 100%; 125% da recomendação de adubação 100:300:150 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O), com quatro repetições. As mudas foram conduzidas em recipientes com capacidade de 2 dm<sup>3</sup>, preenchidos com solo de textura arenosa, por 90 dias após a semeadura. Nesse período, as mudas foram avaliadas quanto ao crescimento, fotossíntese, acúmulo de biomassa, NPK e sódio. O melhor crescimento e a melhor fotossíntese da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura estão relacionados à sua capacidade de realizar homeostase iônica entre o sódio e o potássio. Mudas de gravioleira respondem diferentemente à adubação com NPK quando irrigadas com água de baixa salinidade e com efluente da piscicultura. A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com água de baixa salinidade é 95:285:143 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com efluente da piscicultura é 69:207:104 mg dm<sup>-3</sup> de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O.

**Palavras-chave:** *Annona muricata* L., Água residuária; Nutrição de Plantas, Salinidade, Tecnologia de sementes e mudas.

#### MORPHOPHYSIOLOGY OF SOURSOP SEEDLINGS IRRIGATED WITH FISH FARMING EFFLUENT UNDER NPK DOSES

#### ABSTRACT

*Soursop* is a tropical fruit grown in the Brazilian semi-arid region, where there are frequent problems of quantitative and qualitative scarcity of water for irrigation. Using alternative

water sources, with effluent from fish farming, can increase the water supply but poses risks due to its high salinity. Thus, new management strategies need to be studied. Thus, the objective was to evaluate the morphophysiology of soursop seedlings submitted to irrigation with saline effluent from fish farming as a function of NPK doses. The experiment was carried out in a greenhouse, in a randomized block design, in a 2 x 5 factorial scheme, with two irrigation waters (local supply water ( $0.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) and fish farming effluent ( $3.5 \text{ dS m}^{-1}$ )) and five doses of NPK (25%, 50%, 75%, 100%, and 125% of the fertilizer recommendation  $100:300:150 \text{ mg dm}^{-3}$  of the  $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ ), with four replications. The seedlings were conducted in containers with a  $2 \text{ dm}^3$  filled with sandy soil for 90 days after sowing. The seedlings were evaluated for growth, photosynthesis, biomass accumulation, NPK and sodium during this period. The best growth and photosynthesis of the soursop tree irrigated with fish farming effluent are related to its ability to perform ionic homeostasis between sodium and potassium. Soursop seedlings respond differently to NPK fertilization when they are irrigated with low-salinity water and fish farming effluent. The recommendation for NPK fertilization for soursop seedlings irrigated with low salinity water is  $95:285:143 \text{ mg dm}^{-3}$  of the  $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ . The recommendation for NPK fertilization for soursop seedlings irrigated with fish farming effluent is  $69:207:104 \text{ mg dm}^{-3}$  of the  $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}$ .

**Keywords:** *Annona muricata* L., Wastewater; Plant Nutrition, Salinity, Seed and seedling technology.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A gravioleira (*Annona muricata* L.) é uma planta tropical originária da América Central e dos Vales Peruanos. A gravioleira é uma das mais importantes espécies de frutas da família Annonaceae (SÁNCHEZ et al., 2018). No Brasil, os frutos da gravioleira são consumidos frescos ou processado, e a procura por frutos e subprodutos da gravioleira tem aumentado nos últimos 10 anos, devido ao seu valor nutricional e às propriedades medicinais de suas folhas, frutos, sementes e raízes (FREITAS et al., 2013; MOGHADAMTOUSI et al., 2015; LEITE NETA et al., 2019). A gravioleira é bastante cultivada na região nordeste do Brasil, principalmente na região semiárida, que enfrenta sérios problemas devido à irrigação com água salina (CAVALCANTE et al., 2001; NOBRE et al., 2003; SILVA et al., 2018).

A carência de recursos hídricos e o aumento da demanda pelo uso da água impulsionam a busca por alternativas que supram as necessidades hídricas das culturas por

meio da irrigação. Com o propósito de garantir economia de água na produção das culturas, os efluentes da piscicultura podem ser usados como fonte alternativa para irrigação (DANTAS et al., 2019). O reúso de efluentes, além de contribuir com a gestão sustentável de resíduos líquidos, é apontada como alternativa viável para aumentar a oferta de água na agricultura, especialmente em zonas climáticas de maior escassez hídrica (DIAS et al., 2021). O efluente gerado na piscicultura contém nutrientes e matéria orgânica que podem promover o estabelecimento de culturas e aumentar seu rendimento (SILVA et al., 2022).

A gravioleira, segundo Cavalcante et al. (2001), é considerada moderadamente tolerante aos sais durante o crescimento inicial, tolerando a irrigação com águas salinas de até  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Nobre et al. (2003) verificaram que acúmulo de fitomassa na parte aérea e radicular do porta-enxerto Morada Nova decresce com o incremento da salinidade da água de irrigação e que água com até  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$  de condutividade elétrica na produção de mudas enxertadas do tipo 'Crioula' de graviola. Após a enxertia, os autores observaram que a taxa de pagamento da muda é drasticamente afetada pela salinidade, ocorrendo morte de todas as mudas enxertadas submetidas a uma salinidade superior a  $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ . De acordo com resultados obtidos por Passo et al. (2005), a morte das mudas é relacionada à sensibilidade à salinidade dos brotos jovens e não aclimatados de gravioleira, que acumulam grandes concentrações de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  em seus tecidos.

Em gravioleira, os estudos relacionados à interação entre salinidade e adubação envolveram um único nutriente, o nitrogênio. Veloso et al. (2018) constataram que interação entre os fatores doses de nitrogênio e níveis de salinidade da água não afetou a fase de produção de mudas de gravioleira cv. Morada Nova. Nesse estudo, foram avaliadas doses de N de 70, 100 e  $130 \text{ mg dm}^{-3}$ , e as plantas de gravioleira não responderam ao aumento da dose de N a partir de  $70 \text{ mg dm}^{-3}$ , quando irrigadas com águas salinas de 0,3 a  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ . Silva et al. (2017; 2018) avaliaram diferentes fontes de nitrogênio e níveis de salinidade na gravioleira, no entanto não houve efeito significativo fontes de N utilizadas no crescimento, trocas gasosas e concentração de pigmentos cloroplastídicos, independentemente da salinidade utilizada ( $0,3\text{-}3,5 \text{ dS m}^{-1}$ ). Novos estudos sobre o manejo da adubação em plantas de gravioleira expostas à salinidade são necessários, principalmente para avaliar mais nutrientes, como fósforo e potássio.

Assim, a hipótese da pesquisa é de que as plantas irrigadas com efluente da piscicultura podem necessitar de menos nutrientes do que as plantas irrigadas com água de baixa salinidade. Com isso, objetivou-se avaliar a morfofisiologia de mudas de gravioleira submetidas à irrigação com efluente salino da piscicultura em função de doses de NPK.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN. No período de condução do experimento, foram registradas as temperaturas máximas e mínimas de 44,3 e 20,3 °C, além de umidades relativas do ar máximas e mínimas de 87% e 23%, respectivamente.

A pesquisa foi conduzida em delineamento de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 2 x 5, sendo duas águas de irrigação (água de abastecimento local (controle) e efluente da piscicultura) e cinco proporções de NPK (25%; 50%; 75%; 100%; 125% da recomendação de adubação), com quatro repetições e duas mudas por repetição, totalizando 80 plantas.

As mudas de gravioleira foram produzidas por meio do método de propagação seminífera. As sementes da cultivar Morada Nova foram obtidas de frutos maduros e sadios adquiridos em rede de supermercado local. Em seguida, as sementes foram extraídas manualmente, lavadas em água corrente, dispostas em toalhas de papel à sombra para secagem durante uma semana. Posteriormente, foi realizado o processo de quebra de dormência de acordo com a metodologia das Regras de análises de sementes (BRASIL, 2009).

A semeadura foi realizada em sacos com capacidade de 2 dm<sup>3</sup>, utilizando três sementes com 1,5 cm de profundidade; 20 dias após o final da emergência, realizou-se o desbaste, de modo a permanecer apenas uma planta por saco. Diariamente, foi avaliado preventivamente o surgimento de pragas e/ou doenças nas mudas, não se observando a ocorrência durante o experimento.

O solo (Latosolo) utilizado foi coletado de uma área virgem da Fazenda Experimental Rafael Fernandes da UFERSA, distrito de Alagoinha, Mossoró, RN. As amostras de solos foram coletadas na camada de 0,0 - 30,0 cm, destorroadas, peneiradas (4 mm) e caracterizadas quanto aos atributos físicos e química seguindo metodologia da EMBRAPA (2009) (Tabela 1).

**Tabela 1** - Análise química e física do solo utilizado no experimento.

pH	MO (%)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC	V	PST
			---(mg dm <sup>-3</sup> )---			----- (cmolc dm <sup>-3</sup> ) -----					--- % ---
5,3	1,7	2,1	54,2	21,6	2,7	0,9	0,0	1,8	5,6	68	2,0
CEes	Ds				Areia			Silte		Argila	
dS m <sup>-1</sup>	kg dm <sup>-3</sup>				----- (g kg <sup>-1</sup> ) -----						
0,1	1,6				820			30		150	

MO - Matéria orgânica; CEes - condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; Ds - Densidade do solo.



Após caracterização física e química do solo, a acidez do solo foi corrigida com hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), com 54% de cálcio, visando a uma saturação por base de 90%. A adubação foi parcelada em três vezes, em fundação, aos 30 e 60 dias de cultivo, de acordo com as proporções da recomendação de Novais, Neves e Barros (1991). Para dose de 100% de NPK, foram adicionados 300 mg de  $\text{P}_2\text{O}_5^-$ , 150 mg de  $\text{K}_2\text{O}$  e 100 mg de N, por  $\text{dm}^3$  de solo, por meio da fertirrigação, utilizando ureia purificada (45% de N), cloreto de potássio purificado ( $\text{KCl} = 60\%$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e monoamônio fosfato purificado ( $\text{MAP} = 12\%$  de N e 61% de  $\text{P}_2\text{O}_5^-$ ). A adubação com micronutrientes foi realizada via foliar, duas vezes, aos 30 e 60 dias, com o fertilizante Liqui-Plex Fruit®, na proporção de 3 ml  $\text{L}^{-1}$  de calda, seguindo a recomendação do fabricante (Tabela 2).

**Tabela 2** - Caracterização química do fertilizante foliar Liqui-Plex Fruit®.

N	Ca	S	B	Cu	Mn	Mo	Zn	C.O.
-----g $\text{L}^{-1}$ -----								%
73,50	14,70	78,63	14,17	0,74	73,50	1,47	73,50	2,45

N – Nitrogênio; Ca - Cálcio; S – Enxofre; B – Boro; Cu – Cobre; Mn – Manganês; Mo – Molibdênio; Zn – Zinco; C.O. – carbono orgânico.

As águas de irrigação foram coletadas e armazenadas em recipientes plásticos de 150 L, água de abastecimento local ( $\text{CEa} = 0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), efluente da piscicultura, provenientes da criação de tilápias do setor de piscicultura da UFERSA (Tabela 3).

**Tabela 3.** Análise da água utilizada na irrigação das mudas de gravioleira.

Parâmetros	Água de Abastecimento	Efluente da piscicultura
Potencial hidrogeniônico (pH)	7,8	8,2
Condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ )	0,5	3,5
Nitrogênio ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,1	0,3
Fósforo ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,1	0,8
Potássio ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	0,3	0,7
Sódio ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	6,6	16,3
Cálcio ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	0,3	8,9
Magnésio ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	1,1	12,2
Cloro ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	2,6	22,6
Carbonato ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	0,2	1,2
Bicarbonato ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ )	2,8	3,4
Razão de adsorção de sódio ( $\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$ ) <sup>0,5</sup>	7,9	5,2
Demanda química de oxigênio ( $\text{mg L}^{-1}$ )	-	10,0
Demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{mg L}^{-1}$ )	-	135
Sólidos suspensos ( $\text{mg L}^{-1}$ )	-	5,6
Sólidos totais ( $\text{mg L}^{-1}$ )	-	31,3
Turbidez (NTU)	2,85	30,9

Após o preparo do solo, foi realizada irrigação de modo a deixá-lo próximo à máxima retenção de água, e as irrigações subsequentes foram realizadas uma vez ao dia de modo a deixar o solo com umidade próxima à capacidade máxima de retenção, com base no método da lisimetria de drenagem, sendo a lâmina aplicada acrescida de uma fração de lixiviação (FL) de 15% a cada 30 dias. O volume aplicado foi estimado em parcela adicional, a partir da média de consumo hídrico de 10 plantas, uma para cada tratamento. O volume aplicado ( $V_a$ ) por recipiente foi obtido pela diferença entre a lâmina anterior ( $L_a$ ) aplicada menos a média de drenagem ( $D$ ), dividido pelo número de recipientes ( $n$ ), como indicado na equação 1:

$$V_a = \frac{L_a - D}{n(1 - FL)} \text{ (Eq.1)}$$

O volume total de água aplicada por planta foi de 4,52 L, correspondente a uma aplicação de 1,45 g de sais nas plantas irrigadas com água de abastecimento ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) e 10,13 g de sais nas plantas irrigadas com rejeito salino ( $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ ). Aos 90 dias após a semeadura, foi aplicada mais uma lâmina de lixiviação (15%), o volume drenado foi coletado, sendo medida a condutividade elétrica da água de drenagem (CEd), utilizando-se um condutímetro de bancada, com os dados expressos em  $\text{dS m}^{-1}$  ajustados para temperatura de  $25^\circ\text{C}$  e o pH. A condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e o pH (Tabela 4) foram determinados usando a Equação 2 (Eq.2), proposta Ayers e Westcot (1999) para solos de textura média.

$$CEes = \frac{CEd}{2} \text{ (Eq.2)}$$

**Tabela 4.** Condutividade elétrica (CEes) e o pHes do extrato de saturação do solo sob irrigação com águas salinas e diferentes doses de NPK.

Recomendação de adubação de NPK(%)	CEes ( $\text{dS m}^{-1}$ )		pHes	
	AA	EP	AA	EP
25	1,2	5,1	7,2	6,7
50	2,5	3,8	6,8	7,1
75	3,3	4,6	5,8	6,7
100	4,2	5,6	6,0	6,3
125	4,8	6,1	5,2	6,3

AA - água de abastecimento; RS - rejeito salino; EP – efluente da piscicultura.

Aos 90 dias após a semeadura, as mudas foram avaliadas quanto a trocas gasosas, no período de 7h00 às 9h00. As avaliações foram feitas nas folhas totalmente expandidas situadas no terço superior de cada planta, com analisador de gás carbônico a infravermelho portátil (IRGA), modelo LCPro<sup>+</sup> Portable Photosynthesis System<sup>®</sup> (ADC Bio Scientific Limited, UK) LCPro<sup>+</sup> com controle de temperatura a  $25^\circ\text{C}$ , irradiação de  $1200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2}$

$^2 \text{ s}^{-1}$  e fluxo de ar de  $200 \text{ mL min}^{-1}$ , de modo a obter a fotossíntese líquida ( $A_N$ ) em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , transpiração ( $E$ ) em  $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e condutância estomática ( $g_s$ ) em  $\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (SÁ et al., 2019).

Logo após a análise de trocas gasosas, foi avaliada a fluorescência da clorofila *a*, usando-se um fluorômetro de pulso modulado modelo OS5p da Opti Science; utilizou-se o protocolo Fv/Fm para avaliações em condições de escuro. Nessas condições, estimou-se a máxima eficiência quântica do PSII (Fv/Fm) (SÁ et al., 2019). Ainda com o uso do fluorômetro de pulso modulado, procedeu-se às avaliações em condições de claro, por meio do protocolo Yield. Para obtenção da fluorescência inicial antes do pulso de saturação (F'), fluorescência máxima após adaptação à luz saturante (Fm'), taxa de transporte de elétrons (ETR) e atual eficiência quântica do fotossistema II (PS II) (Y(II)).

Com esses dados, determinou-se: fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado (Fo') (OXBOROUGH; BAKER, 1997), o coeficiente de extinção fotoquímico pelo modelo lake (qL) (KRAMER et al., 2004), o rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada (Y(NPQ)) (KRAMER et al., 2004) e o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada (Y(NO)) (KRAMER et al., 2004).

Aos 90 dias após a semeadura, as mudas foram avaliadas quanto a medições de altura, diâmetro do caule, comprimento da raiz principal e número de folhas. A altura das mudas foi mensurada utilizando régua graduada partindo-se do solo até a inserção do meristema apical, sendo os dados expressos em cm. O diâmetro do caule das mudas foi determinado por meio de paquímetro digital a 1 cm da superfície do solo; as leituras foram expressas em mm. O número de folhas foi determinado por meio da contagem simples das folhas verdes totalmente expandidas de cada planta. Após as análises fisiológicas, as mudas foram coletadas e seccionadas em parte aérea e raiz e acondicionadas em sacos de papel do tipo Kraft, colocadas em estufa com circulação de ar forçada, a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  até atingirem peso constante e pesadas em balança analítica ( $0,0001 \text{ g}$ ), para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), sendo os resultados expressos em g por planta.

A matéria seca da parte aérea foi triturada em moinho de aço do tipo Willey, com posterior armazenamento em sacos de plástico etiquetados e análises. No laboratório, o material passou por digestão via úmida ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% p.a. +  $\text{H}_2\text{O}_2$ , 98% p.a.) em sistema aberto, para a determinação das concentrações foliares totais de nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl; e digestão em ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$  98% p.a.) em forno micro-ondas para a obtenção do extrato utilizado na leitura das concentrações foliares totais de fósforo (P), potássio ( $\text{K}^+$ ) e sódio ( $\text{Na}^+$ ) de acordo com os procedimentos descritos em EMBRAPA

(2009), e as leituras foram realizadas em Plasma por Acoplamento Indutivo (ICP). De posse dos dados, estimou-se a quantidade de gramas por planta e determinou-se a relação  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ .

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste 'F'; nos casos de significância, aplicou-se teste 't' de Student para o fator água de irrigação e regressão para o fator doses de NPK, ao nível de 5% de significância, com auxílio do *software* estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2014).

### 3.3 RESULTADOS

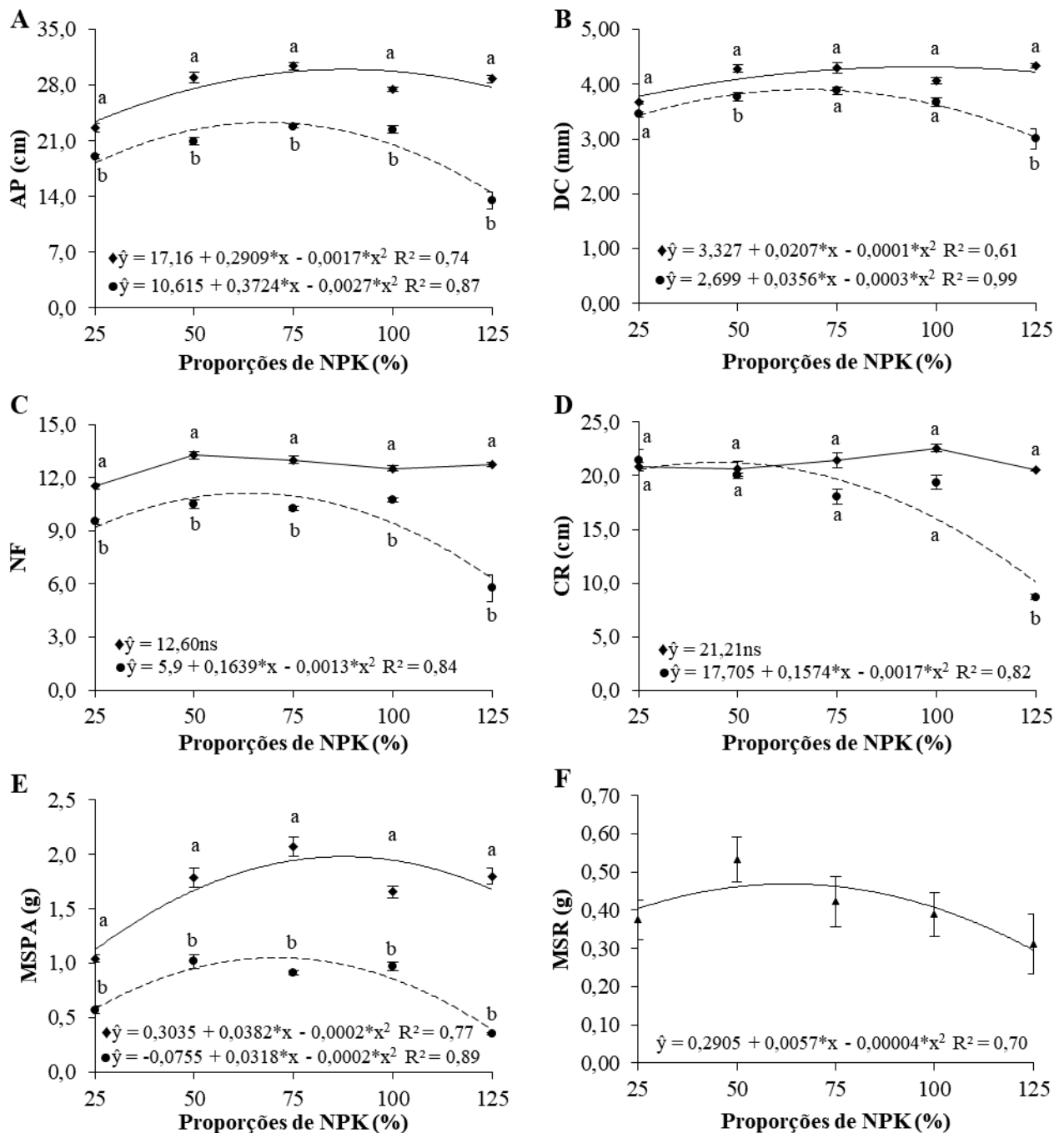
A interação significativa entre águas de irrigação e doses de NPK para altura de planta ( $p < 0,001$ ), diâmetro do caule ( $p < 0,05$ ), número de folhas ( $p < 0,001$ ), comprimento da raiz ( $p < 0,001$ ) e massa seca da parte aérea ( $p < 0,01$ ) das mudas de gravioleira (Tabela 5). Para massa seca da raiz das mudas de gravioleira, houve efeito significativo dos fatores isolados águas de irrigação ( $p < 0,001$ ) e doses de NPK ( $p < 0,001$ ) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resumo do teste F e teste de médias para altura de planta (AP, em cm), diâmetro do caule (DC, em mm), número de folhas (NF), comprimento da raiz (CR, em cm), massa seca da parte aérea (MSPA, em g) e massa seca da raiz (MSR, em g) de mudas de gravioleira sob irrigação com efluente da piscicultura e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.

Teste F (Pr > Fc)						
Fontes de variação	AP	DC	NF	CR	MSPA	MSR
Bloco	0,3604	0,2058	0,1644	0,7476	0,4827	0,4473
Águas	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Doses de NPK	0,0000	0,0130	0,0003	0,0000	0,0000	0,0002
Águas x Doses de NPK	0,0002	0,0188	0,0005	0,0001	0,0017	0,2370
Teste de t de Student ( $p < 0,05$ )						
Tratamentos	AP	DC	NF	CR	MSPA	MSR
Água de abastecimento	27,75 a	4,13 a	12,60 a	21,21 a	1,67 a	0,55 a
Efluente da piscicultura	19,75 b	3,56 b	9,35 b	17,51 b	0,76 b	0,26 b

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste t de Student a 0,05 de probabilidade.

A altura da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura em todas as doses de NPK (Figura 1 A). A maior altura da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 29,60 cm, na dose 85,56% de NPK (Figura 1A). A maior altura da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foi de 23,46 cm, na dose 68,46% de NPK (Figura 1A). Observando os melhores resultados de altura da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura reduziram em 20,74%, na comparação à água de abastecimento (Figura 1A).



**Figura 1.** Altura de planta, AP (A, ErroP, n=4), diâmetro do caule, DC (B, ErroP, n=4), número de folhas, NF (C, ErroP, n=4), comprimento da raiz principal, CR (D, ErroP, n=4), Massa seca da parte aérea, MSPA (E, ErroP, n=4) e massa seca da raiz, MSR (F, ErroP, n=8) de mudas de graviola irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com efluente da piscicultura (---●---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo. Médias da mesma proporção de NPK com letras iguais não diferem pelo teste ‘t’ Student a 0,05 de probabilidade.

O diâmetro do caule (DC) da graviola foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura apenas nas doses de 50 e

125% de NPK (Figura 1B). O maior DC da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 4,40 mm, na dose 103,50% de NPK (Figura 1B). O maior DC da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foi de 3,76 mm, na dose 59,33% de NPK (Figura 1B). Observando os melhores resultados de DC da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura reduziram em 14,55%, na comparação à água de abastecimento (Figura 1B).

O número de folhas (NF) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura em todas as doses de NPK (Figura 1C). Para o NF da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de 12,6 folhas por planta considerando todas as doses de NPK. O maior e o menor NF da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de 13,25 e 11,50 folhas em média nas doses 50 e 25% de NPK, respectivamente (Figura 1C). O maior NF da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foi de 11,07 folhas em média, na dose 63,04% de NPK (Figura 1C). Observando os melhores resultados de NF da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura reduziram em 16,45%, na comparação à água de abastecimento (Figura 1C).

O comprimento da raiz (CR) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura apenas na dose de 125% NPK (Figura 1D). Para o CR da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de 21,21 cm considerando todas as doses de NPK. O maior e o menor CR da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de 22,58 e 20,00 cm nas doses 100 e 50% de NPK, respectivamente (Figura 1D). O maior CR da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foi de 21,35 cm, na dose 46,29% de NPK (Figura 1D). Observando os melhores resultados de CR da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura reduziram em 5,45%, na comparação à água de abastecimento (Figura 1D).

A massa seca da parte aérea (MSPA) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura em todas as doses de NPK (Figura 1E). O maior MSPA da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 2,13 g planta<sup>-1</sup>, na dose 95,50% de NPK (Figura 1E). A maior MSPA da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foi de 1,19 g planta<sup>-1</sup>, na dose 79,50% de NPK (Figura 1E). Observando os melhores resultados de MSPA da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura reduziram em 44,13%, na comparação à água de abastecimento (Figura 1E).

A massa seca da raiz (MSR) da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura diminuiu 52,73% em relação as mudas irrigadas com água de abastecimento,

independentemente da dose de NPK (Tabela 5). A melhor dose de NPK para a MSR das mudas de gravioleira foi de 71,25%, obtendo-se média de 0,69 g planta<sup>-1</sup>, independentemente da água de irrigação utilizada (Figura 1F).

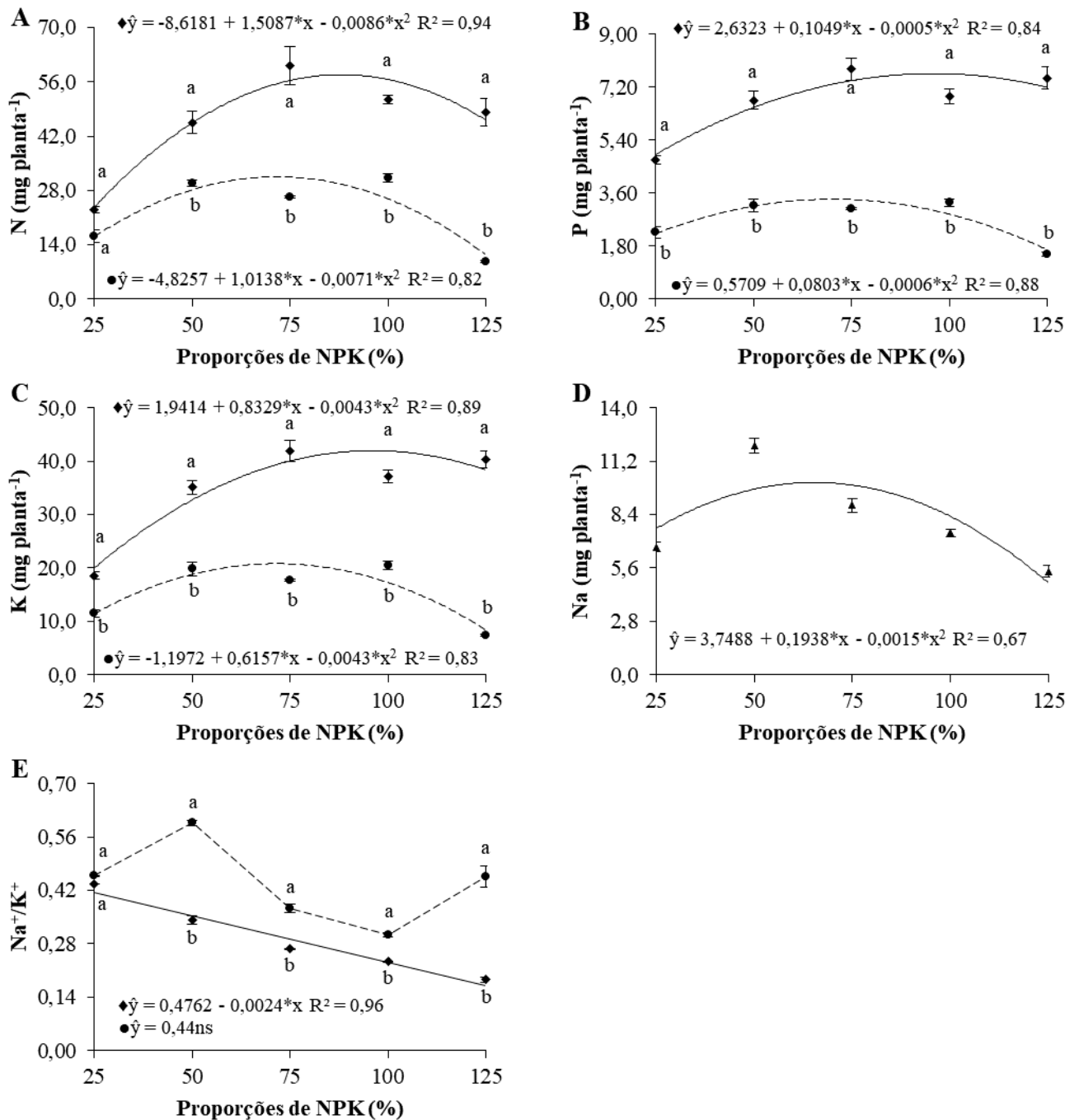
Houve interação significativa entre águas de irrigação e doses de NPK para acúmulo de nitrogênio ( $p < 0,05$ ), acúmulo de fósforo ( $p < 0,05$ ), acúmulo de potássio ( $p < 0,001$ ) e relação sódio potássio ( $p < 0,001$ ) das mudas de gravioleira (Tabela 6). Para o acúmulo de sódio das mudas de gravioleira, houve efeito significativo dos fatores isolados águas de irrigação ( $p < 0,001$ ) e doses de NPK ( $p < 0,001$ ) (Tabela 6).

**Tabela 6.** Resumo do teste F e teste de médias para o acúmulo de nitrogênio (N, mg planta<sup>-1</sup>), fósforo (P, mg planta<sup>-1</sup>), potássio (K<sup>+</sup>, mg planta<sup>-1</sup>), sódio (Na<sup>+</sup>, em mg planta<sup>-1</sup>) e relação sódio potássio (Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>) na parte aérea de mudas de gravioleira sob irrigação com efluente da piscicultura e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.

Teste F (Pr > Fc)					
Fontes de variação	N	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>
Bloco	0,3976	0,7942	0,5030	0,1588	0,9998
Águas	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Doses de NPK	0,0001	0,0062	0,0000	0,0000	0,0000
Águas x Doses de NPK	0,0102	0,0175	0,0001	0,1405	0,0000
Teste de t de Student ( $p < 0,05$ )					
Tratamentos	N	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>
Água de abastecimento	45,65 a	6,74 a	34,61 a	9,52 a	0,29 b
Efluente da piscicultura	22,60 b	2,66 b	15,36 b	6,66 b	0,44 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste 't' Student a 0,05 de probabilidade.

O acúmulo de nitrogênio (N) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura em todas as doses de NPK, exceto para dose de 25% de NPK, na qual foram semelhantes (Figura 2A). O maior acúmulo de N da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 57,55 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 87,72% de NPK (Figura 2A). O maior acúmulo de N da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foi de 31,36 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 71,39% de NPK (Figura 2A). Observando os melhores resultados de acúmulo de N da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura reduziram em 46,13%, na comparação à água de abastecimento (Figura 2A).



**Figura 2.** Acúmulo de nitrogênio, N (A), fósforo, P (B), potássio, K<sup>+</sup> (C), sódio, Na<sup>+</sup> (D), relações sódio/potássio, Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> (E), na parte aérea de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com efluente da piscicultura (---●---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo. Médias da mesma proporção de NPK com letras iguais não diferem pelo teste 't' Student a 0,05 de probabilidade.

O acúmulo de fósforo (P) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura em todas as doses de NPK (Figura 2B). O maior acúmulo de P da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 8,13 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 104,90% de NPK (Figura 2B). O maior acúmulo de P da gravioleira



irrigada com efluente da piscicultura foi de 3,26 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 66,92% de NPK (Figura 2B). Observando os melhores resultados de acúmulo de P da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura reduziram em 59,60%, na comparação à água de abastecimento (Figura 2B).

O acúmulo de potássio (K<sup>+</sup>) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura em todas as doses de NPK (Figura 2C). O maior acúmulo de K<sup>+</sup> da gravioleira irrigada com água de abastecimento foi de 42,47 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 96,85% de NPK (Figura 2C). O maior acúmulo de K<sup>+</sup> da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foi de 20,84 mg planta<sup>-1</sup>, na dose 71,59% de NPK (Figura 2C). Observando os melhores resultados de acúmulo de K<sup>+</sup> da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura reduziram em 50,68%, na comparação à água de abastecimento (Figura 2C).

O acúmulo de sódio (Na<sup>+</sup>) da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura diminuiu em média 30,04% em relação às mudas irrigadas com água de abastecimento, independentemente da dose de NPK (Tabela 6). A dose de NPK na qual as mudas de gravioleira acumularam mais Na<sup>+</sup> foi de 64,60%, obtendo-se uma média de 10,00 mg planta<sup>-1</sup>, independentemente da água de irrigação utilizada (Figura 2D).

A relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com efluente da piscicultura do que nas irrigadas com água de abastecimento em todas as doses de NPK, exceto para dose de 25% de NPK, na qual foram semelhantes (Figura 2E). Para a relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> da gravioleira irrigada com água de abastecimento, houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor relações Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de 0,42 e 0,18 nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando um decréscimo de 57,14% na relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> (Figura 2E).

Para a relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de 0,44 considerando todas as doses de NPK. A maior e a menor relações Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foram de 0,60 e 0,30 nas doses 50 e 100% de NPK, respectivamente (Figura 2E). Observando os melhores resultados de relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura aumentaram no mínimo 40% relação Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>, na comparação às plantas que usaram água de abastecimento (Figura 2E).

A interação entre águas de irrigação e doses de NPK foi significativa para taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (p < 0,05), condutância estomática (p < 0,01) e transpiração (p < 0,01) das

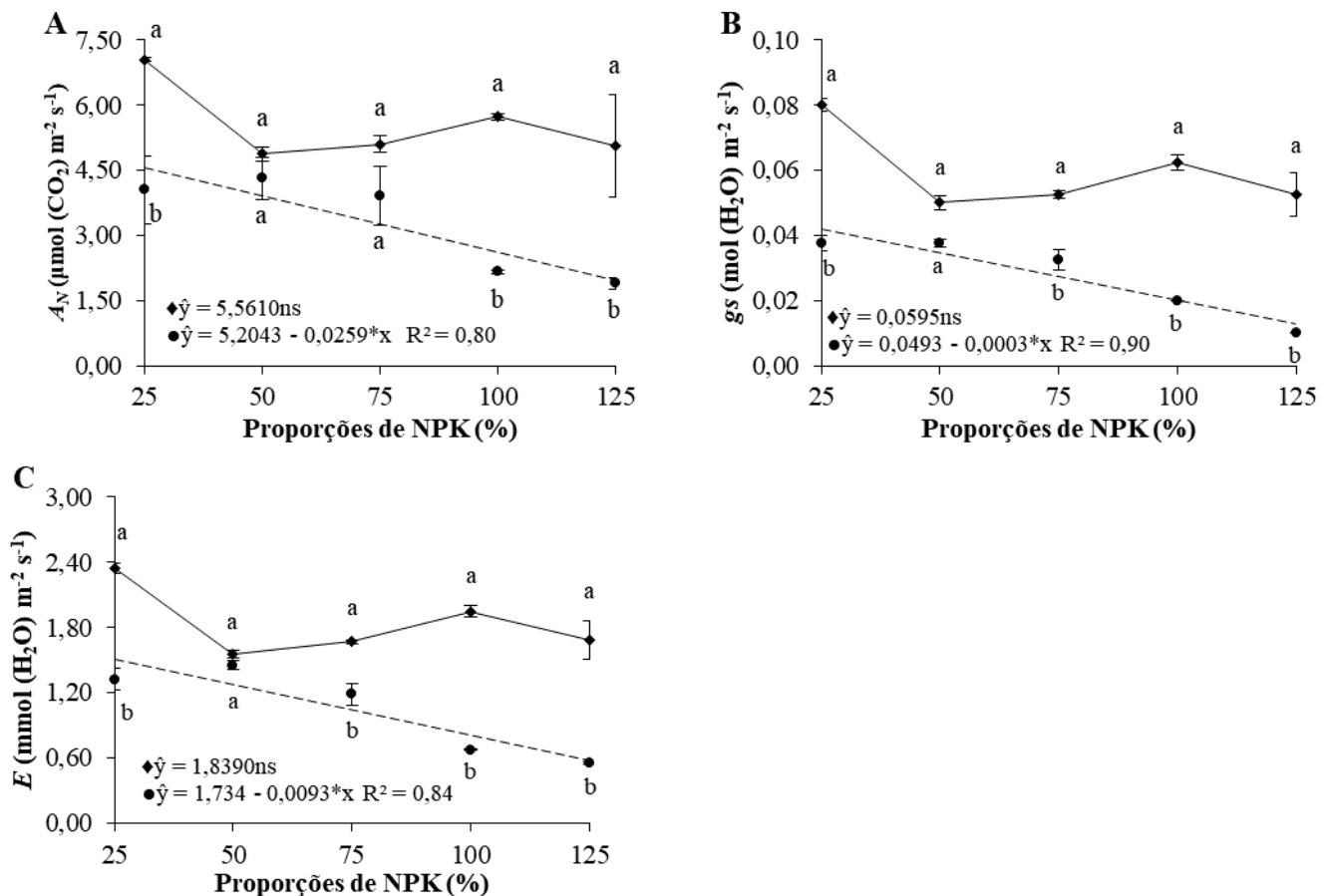
mudas de gravioleira (Tabela 7). Para a máxima eficiência quântica do PSII das mudas de gravioleira, houve efeito significativo apenas para águas de irrigação ( $p < 0,001$ ) (Tabela 7).

**Tabela 7.** Resumo do teste F e teste de médias para taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A_N$ , em  $\mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ , em  $\text{mol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração ( $E$ , em  $\text{mmol} (\text{H}_2\text{O}) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e máxima eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ) de mudas de gravioleira sob irrigação com irrigação com efluente da piscicultura e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.

Teste F (Pr > Fc)				
Fontes de variação	$A_N$	$g_s$	$E$	$F_v/F_m$
Bloco	0,2686	0,0336	0,0896	0,3842
Águas	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Doses de NPK	0,0064	0,0002	0,0008	0,2235
Águas x Doses de NPK	0,0247	0,0077	0,0019	0,7459
Teste 't' Student ( $p < 0,05$ )				
Tratamentos	$A_N$	$g_s$	$E$	$F_v/F_m$
Água de abastecimento	5,56 a	0,060 a	1,84 a	0,722 a
Efluente da piscicultura	3,26 b	0,028 b	1,04 b	0,683 b

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste 't' Student a 0,05 de probabilidade.

A taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A_N$ ) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura apenas nas doses de 25, 100 e 125% de NPK (Figura 3A). Para a  $A_N$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de  $5,56 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  considerando todas as doses de NPK. A maior e a menor  $A_N$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de  $7,05$  e  $4,87 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  nas doses 25 e 50% de NPK, respectivamente (Figura 3A). Para a  $A_N$  da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura, houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor  $A_N$  da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foram de  $4,56$  e  $1,97 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando um decréscimo de 56,80% na  $A_N$  (Figura 3A). Observando os melhores resultados de  $A_N$  da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura diminuíram a  $A_N$  em no mínimo 35,32%, na comparação à água de abastecimento (Figura 3A).



**Figura 3.** Taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$ ,  $A_N$  (A, ErroP,  $n=4$ ), Condutância estomática,  $g_s$  (B, ErroP,  $n=4$ ) e transpiração,  $E$  (C, ErroP,  $n=4$ ) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com efluente da piscicultura (---■---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo. Médias da mesma proporção de NPK com letras iguais não diferem pelo teste 't' Student a 0,05 de probabilidade.

A condutância estomática ( $g_s$ ) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura em todas as doses de NPK, exceto para dose de 50% de NPK, na qual foram semelhantes (Figura 3B). Para a  $g_s$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de  $0,06 \text{ mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  considerando todas as doses de NPK. A maior e a menor  $g_s$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de  $0,08$  e  $0,05 \text{ mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses 25 e 50% de NPK, respectivamente (Figura 3B). Para a  $g_s$  da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura, houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor  $g_s$  da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foram de  $0,042$  e  $0,012 \text{ mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando um decréscimo de 71,77% na  $g_s$  (Figura 3B). Observando os melhores resultados de  $g_s$  da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura diminuíram a  $g_s$  em no mínimo 47,50%, na comparação à água de abastecimento (Figura 3B).

A transpiração ( $E$ ) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura em todas as doses de NPK (Figura 3C). Para a  $E$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento, não houve ajuste dos modelos de regressão testados, com média de  $1,84 \text{ mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  considerando todas as doses de NPK. A maior e a menor  $E$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram de  $2,35$  e  $1,55 \text{ mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses 25 e 50% de NPK, respectivamente (Figura 3C). Para a  $E$  da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura, houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor  $E$  da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura foram de  $1,50$  e  $0,57 \text{ mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando um decréscimo de 62,00% na  $E$  (Figura 3C). Observando os melhores resultados de  $E$  da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura diminuíram a  $E$  em no mínimo 36,17%, na comparação à água de abastecimento (Figura 3C).

A máxima eficiência quântica do PSII ( $F_v/F_m$ ) da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura diminuiu em média 5,40% em relação às mudas irrigadas com água de abastecimento, independentemente da dose de NPK (Tabela 7).

A interação entre águas de irrigação e doses de NPK foi significativa para taxa de transporte de elétrons ( $p < 0,05$ ), coeficiente de extinção fotoquímica ( $p < 0,01$ ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada ( $p < 0,05$ ) das mudas de gravioleira (Tabela 8). Para a eficiência quântica do PSII e rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada ( $Y_{NPQ}$ ) das mudas de gravioleira, houve efeito significativo apenas para doses de NPK ( $p < 0,05$ ) (Tabela 8).

A maior eficiência quântica do PSII ( $Y$ ) da gravioleira foi obtida na dose de NPK de 72,5%, com  $Y$  igual a 0,63, independentemente da água de irrigação utilizada (Figura 4A).

A taxa de transporte de elétrons (ETR) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura apenas na dose de 75% de NPK (Figura 4B). Para a ETR, não houve ajuste significativo dos modelos de regressão testados, os valores variaram de  $40,8$  a  $55,1 \text{ } \mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , com uma média entre as doses de NPK de  $36,6 \text{ } \mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 4B). Na ETR da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura, houve ajuste quadrático, verificando-se a menor ETR na dose de 83,2% de NPK, com  $24,5 \text{ } \mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 4B). A ETR da gravioleira nas plantas irrigadas com efluente da piscicultura sob a dose de 83,2% de NPK diminuiu 33,1% em relação à média de ETR obtida nas plantas irrigadas com água de abastecimento (Figura 4B).

**Tabela 8.** Resumo do teste F e teste de médias para eficiência quântica do PSII (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR,  $\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), fluorescência mínima do tecido vegetal iluminado ( $F_o'$ ,  $\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), coeficiente de extinção fotoquímica (qL), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada ( $Y_{\text{NPQ}}$ ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada ( $Y_{\text{NO}}$ ) de mudas de gravioleira sob irrigação com efluente da piscicultura e doses de NPK, aos 90 dias após a semeadura.

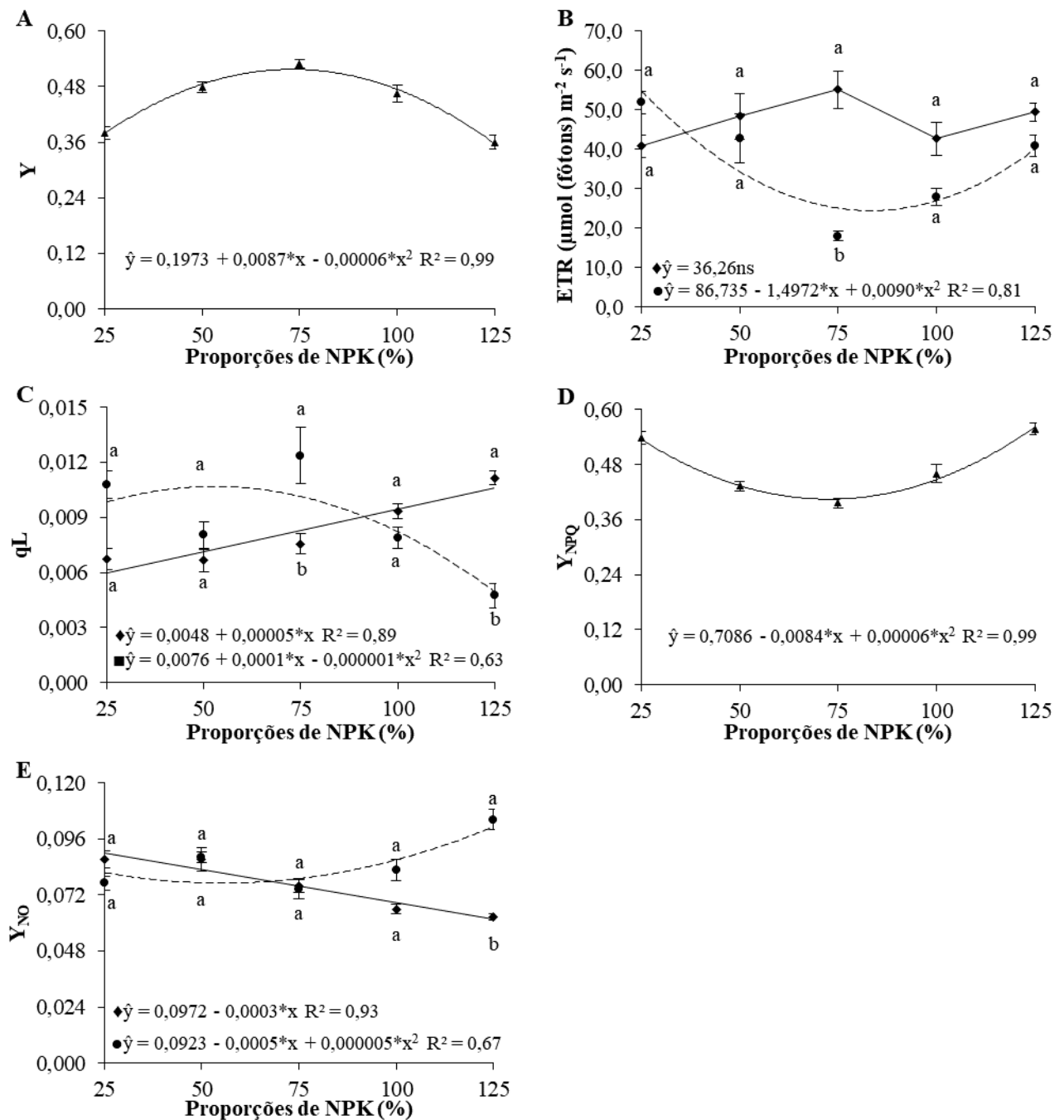
Teste F (Pr > Fc)						
Fontes de variação	Y	ETR	$F_o'$	qL	$Y_{\text{NPQ}}$	$Y_{\text{NO}}$
Bloco	0,1561	0,0719	0,2490	0,3189	0,1344	0,9227
Águas	0,4889	0,0211	0,1298	0,6304	0,6688	0,0537
Doses de NPK	0,0187	0,3526	0,0833	0,5270	0,0178	0,3396
Águas x Doses de NPK	0,1574	0,0353	0,0551	0,0044	0,1789	0,0139
Teste 't' Student (p < 0,05)						
Tratamentos	Y	ETR	$F_o'$	qL	$Y_{\text{NPQ}}$	$Y_{\text{NO}}$
Água de abastecimento	0,454 a	47,28 a	3,68 a	0,008 a	0,469 a	0,075 a
Efluente da piscicultura	0,431 a	36,26 b	4,22 a	0,009 a	0,483 a	0,085 a

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste 't' Student a 0,05 de probabilidade.

A maior eficiência quântica do PSII (Y) da gravioleira foi obtida na dose de NPK de 72,5%, com Y igual a 0,63, independentemente da água de irrigação utilizada (Figura 4A).

A taxa de transporte de elétrons (ETR) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura apenas na dose de 75% de NPK (Figura 4B). Para a ETR, não houve ajuste significativo dos modelos de regressão testados, os valores variaram de 40,8 a 55,1  $\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , com uma média entre as doses de NPK de 36,6  $\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 4B). Na ETR da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura, houve ajuste quadrático, verificando-se a menor ETR na dose de 83,2% de NPK, com 24,5  $\mu\text{mol (fótons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 4B). A ETR da gravioleira nas plantas irrigadas com efluente da piscicultura sob a dose de 83,2% de NPK diminuiu 33,1% em comparação à média de ETR obtida nas plantas irrigadas com água de abastecimento (Figura 4B).

O coeficiente de extinção fotoquímica (qL) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com água de abastecimento do que nas irrigadas com efluente da piscicultura apenas na dose de 75% de NPK (Figura 4C). Na dose de 125%, o coeficiente de extinção fotoquímica (qL) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com efluente da piscicultura do que nas irrigadas com água de abastecimento (Figura 4C).



**Figura 4.** Eficiência quântica do PSII, Y (A), taxa de transporte de elétrons, ETR (B), coeficiente de extinção fotoquímica, qL (C), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada,  $Y_{NPQ}$  (D) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada  $Y_{NO}$  (E) de mudas de gravioleira irrigadas com água de abastecimento (—◆—) e com efluente da piscicultura (---●---) sob proporções de NPK, aos 90 dias após a semeadura. \* = significativo ( $p < 0,05$ ). ns = não significativo. Médias da mesma proporção de NPK com letras iguais não diferem pelo teste ‘t’ Student a 0,05 de probabilidade.

Para a qL da gravioleira irrigada com água de abastecimento, houve comportamento linear crescente. O menor e maior qL da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram 0,0061 e 0,0111 nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando um

aumento de 81,98% no qL (Figura 4C). No qL da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura, houve ajuste quadrático, verificando-se o maior qL na dose de 50,0% de NPK, com qL de 0,0101 (Figura 4C). Observando os melhores resultados de qL da gravioleira, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura diminuíram a qL em 9,01%, na comparação à água de abastecimento (Figura 4C).

O menor rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada ( $Y_{NPQ}$ ) da gravioleira foi obtida na dose de NPK de 70,0%, com  $Y_{NPQ}$  igual a 0,415, independentemente da água de irrigação utilizada (Figura 4D).

Na dose de 125%, o rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada ( $Y_{NO}$ ) da gravioleira foi maior nas mudas irrigadas com efluente da piscicultura do que nas irrigadas com água de abastecimento (Figura 4E). Para a  $Y_{NO}$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento, houve comportamento linear decrescente. A maior e a menor  $Y_{NO}$  da gravioleira irrigada com água de abastecimento foram 0,090 e 0,060 nas doses de 25 e 125% de NPK, respectivamente, configurando uma redução de 33,33% no  $Y_{NO}$  (Figura 4E). No  $Y_{NO}$  da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura, houve ajuste quadrático, verificando-se o menor  $Y_{NO}$  na dose de 50,0% de NPK, com  $Y_{NO}$  de 0,092 (Figura 4E). Observando os resultados de  $Y_{NO}$  da gravioleira obtidos na dose de 50% de NPK, as plantas irrigadas com efluente da piscicultura aumentaram o  $Y_{NO}$  em 11,92%, na comparação à água de abastecimento (Figura 4E).

### 3.4 DISCUSSÃO

No cultivo das plantas de gravioleira irrigadas com água de baixa salinidade ( $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), a adubação com NPK elevou a salinidade inicial do solo de  $0,11 \text{ dS m}^{-1}$  para valores de 1,2, 2,5, 3,3, 4,2, 4,8  $\text{dS m}^{-1}$  nas doses de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da recomendação de NPK. O próprio efeito salino dos fertilizantes teve ação tóxica para as plantas de gravioleira devido à redução do potencial osmótico, haja vista o ajuste quadrático do modelo de regressão para as variáveis de crescimento. Os melhores resultados de altura, diâmetro do caule e massa seca da parte aérea para as mudas de gravioleira nessas condições ocorreram na dose média de 95% da recomendação de NPK, que corresponde a 95:285:143  $\text{mg dm}^{-3}$  de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. A dose obtida para o maior crescimento das mudas está próxima à obtida para os maiores acúmulos de nitrogênio, fósforo e potássio, que ocorreram na dose média de 96,5% da recomendação de NPK. Essa diferença de 1,5% entre a melhor dose para o crescimento e para

acúmulo de nutrientes pode ser atribuída ao consumo de luxo, uma vez que esse não trouxe ganhos ao crescimento das mudas.

O efeito osmótico é resultante da alta concentração de sais na zona radicular, promovendo diminuição do potencial osmótico e, conseqüentemente, do potencial hídrico do solo, restringindo a disponibilidade de água para a planta (WAN et al., 2017). De acordo com Oliveira et al. (2013), a incapacidade da planta realizar o ajuste osmótico resulta em deficiência hídrica induzida pelo efeito osmótico, a qual provoca alterações morfológicas e anatômicas nas plantas, como observado nas mudas de gravioleira.

No cultivo das plantas de gravioleira irrigadas com efluente da piscicultura ( $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), a salinidade do efluente, somada à adubação com NPK, elevou a salinidade inicial do solo de  $0,11 \text{ dS m}^{-1}$  para valores de 5,1, 3,8, 4,6, 5,6, 6,1  $\text{dS m}^{-1}$  nas doses de 25%, 50%, 75%, 100% e 125% da recomendação de NPK. Os melhores resultados de altura, diâmetro do caule e massa seca da parte aérea para as mudas de gravioleira nessas condições ocorreram na dose média de 69% da recomendação de NPK, que corresponde a 69:207:104  $\text{mg dm}^{-3}$  de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O. A dose obtida para o maior crescimento das mudas está próxima à obtida para os maiores acúmulos de nitrogênio, fósforo e potássio, que ocorreram na dose média de 70,0% da recomendação de NPK. Essa diferença de 1,0% entre a melhor dose para o crescimento e para acúmulo de nutrientes também pode ser atribuída ao consumo de luxo, uma vez que esse não trouxe ganhos ao crescimento das mudas.

Esses resultados comprovam a hipótese de que plantas submetidas à irrigação com efluente salino da piscicultura requerem menos nutrientes do que as plantas irrigadas com água de baixa salinidade. Esta resposta ocorre em parte graças ao menor crescimento das mudas em condições de estresse salino, visto que, comparando os melhores resultados de altura, diâmetro do caule e massa seca da parte aérea das mudas irrigadas com água de baixa salinidade e efluente da piscicultura, houve diminuição do crescimento das mudas irrigadas com efluente da piscicultura na ordem de 20,74%, 14,55% e 44,13%, respectivamente. O crescimento da parte aérea das mudas diminuiu em média 25,5%, fato que coincide com a diminuição da absorção de nutrientes na ordem de 26,5%, na comparação àquelas cultivadas com irrigação com efluente da piscicultura em relação à água de baixa salinidade.

As menores salinidades do solo irrigado com efluente da piscicultura ocorreram nas doses de 50% e 75% da recomendação de NPK, coincidindo com a maior absorção e extração de nutrientes das mudas. Um ponto importante é que essas menores salinidades também coincidem com as maiores extrações de sódio do solo. No entanto, na dose de 75% de NPK é verificada a menor relação sódio/potássio (0,30). O melhor crescimento das mudas de



gravioleira irrigada com efluente da piscicultura está atrelado à sua capacidade de absorver nutrientes e sódio, bem como de controlar a relação sódio/potássio, ou seja, realizar a homeostase iônica. O efeito iônico refere-se ao acúmulo de certos íons específicos, principalmente o  $\text{Na}^+$  (VOLKO; BEILBY, 2017). Além disso, o efeito iônico promove um desequilíbrio nutricional ocasionado pelas alterações nos processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta (ANDRADE et al., 2018; SÁ et al., 2020; 2021).

As plantas de gravioleira irrigadas com efluente da piscicultura adubadas com doses de NPK superiores a 69% da recomendação de adubação sofreram drásticas reduções no crescimento, o que coincide com a redução linear da taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A_N$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e transpiração ( $E$ ) das mudas em função do aumento da adubação com NPK. Um fato importante é que a  $A_N$  da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura nas doses de 50% e 75% da recomendação de NPK foi semelhante à da água de abastecimento para as mesmas doses. Por sua vez, para  $g_s$  e  $E$  essa semelhança ocorreu apenas na dose 50% da recomendação de NPK, que coincidiu com a maior relação sódio/potássio de 0,60, indicando que, ao abrir os estômatos ( $0,038 \text{ mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e impulsionar o fluxo transpiratório, a gravioleira acabou absorvendo mais sódio, acumulando-o em excesso, uma vez que a relação sódio/potássio de 0,60 é um nível crítico às plantas, e para manter essa relação sódio/potássio baixa, a gravioleira acabou gastando energia em excesso, o que limitou o uso de fotoassimilados para o crescimento.

As semelhanças nos resultados de  $A_N$  da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura e água de abastecimento nas doses de 50% e 75% da recomendação de NPK corroboraram com a maior eficiência quântica do PSII ( $Y$ ) da gravioleira de 0,63, que ocorreu na dose de 72,5% de NPK. Nessas condições, a gravioleira sob estresse salino teve as menores taxas de transporte de elétrons, porém a energia luminosa foi mais bem aproveitada e a planta teve maior eficiência quântica do PSII ( $Y$ ). Na dose de 75% de NPK, ocorreu diminuição do coeficiente de extinção fotoquímica ( $q_L$ ), rendimento quântico de extinção fotoquímica regulada ( $Y_{NPQ}$ ) e rendimento quântico de extinção fotoquímica não regulada ( $Y_{NO}$ ) em comparação às outras doses de NPK, principalmente doses superiores a essa.

Tais resultados indicam que as plantas de gravioleira irrigadas com efluente da piscicultura adubadas adequadamente diminuem a perda de energia na forma de fluorescência regulada, ou seja, diminuem o quenching na forma de fluorescência no PSII ( $Y_{NPQ}$ ) e diminuem a perda de energia de forma não regulada do PSII por energia cinética e ressonância ( $Y_{NO}$ ) (SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2021; PRAXEDES et al., 2022).

Além disso, a diminuição no coeficiente de extinção fotoquímica ( $q_L$ ) indica que a quinona tinha menos centros de reação abertos (FERNANDES et al. 2022), ou seja, ocorreu maior utilização da energia luminosa corroborando os resultados de eficiência quântica do PSII (Y).

Em estudos sobre respostas fotossintéticas de plantas de gravioleira expostas à salinidade, Silva et al. (2017; 2018) verificaram que o crescimento, trocas gasosas, concentração de pigmentos fotossintéticos e a eficiência fotoquímica da gravioleira foram diminuídas após 110 dias irrigadas com água salinas a partir de  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ . Ao comparar as mudas irrigadas nos níveis de  $0,5$  e  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ , os pesquisadores registraram que a condutância estomática caiu de  $0,046$  para  $0,028 \text{ mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a transpiração caiu de  $0,70$  para  $0,45 \text{ mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a fotossíntese caiu de  $4,02$  para  $1,10 \text{ } \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e a máxima eficiência do fotossistema II (Fv/Fm) caiu de  $0,70$  para  $0,67$ . Os autores utilizaram 100% da recomendação de NPK nos dois níveis de salinidades. Na gravioleira irrigada com efluente da piscicultura, também com condutividade elétrica de  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ , e adubada com 75% da recomendação de nutrientes, os valores médios de taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e máxima eficiência do fotossistema II foram de  $3,90 \text{ } \mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $0,053 \text{ mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $1,67 \text{ mmol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e  $0,68$ , respectivamente. Nossos resultados foram superiores aos obtidos por esses pesquisadores na condição de irrigação com água de baixa salinidade. Esses resultados indicam que adubação adequada para plantas irrigadas com água salina melhorou o desempenho fotossintético das mudas de gravioleira.

### 3.5 CONCLUSÕES

Mudas de gravioleira respondem diferentemente à adubação com NPK quando são irrigadas com água de baixa salinidade e efluente da piscicultura.

A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com água de baixa salinidade é de  $95:285:143 \text{ mg dm}^{-3}$  de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O.

A recomendação de adubação com NPK para mudas de gravioleira irrigadas com efluente da piscicultura é de  $69:207:104 \text{ mg dm}^{-3}$  de N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O.

O melhor crescimento vegetativo e respostas fotossintéticas da gravioleira irrigada com efluente da piscicultura estão relacionados à sua capacidade de realizar homeostase iônica entre o sódio e o potássio.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. H. A.; PEREIRA, W. E.; MORAIS, R. R.; SILVA, A. F.; BARBOSA NETO, M. A. Effect of phosphorus application on substrate and use of saline water in sugar-apple seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 2, p. 190-199, 2018.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade de água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (FAO Irrigação e Drenagem, 29).
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SDA/ACS, 2009.
- CAVALCANTE, L. F.; CARVALHO, S. S.; LIMA, E. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SILVA, D. A. Desenvolvimento inicial da gravioleira sob fontes e níveis de salinidade da água. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 455-459, 2001.
- DANTAS, B. F.; RIBEIRO, R.C.; OLIVEIRA, G. M.; SILVA, F. F. S.; ARAÚJO, G. G. L. Produção bioassalada de mudas de espécies florestais nativas da Caatinga. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 1551-1567, 2019.
- DIAS, N. S.; FERNANDES, C. S.; SOUSA-NETO, O. N.; SILVA, C. R.; FERREIRA, J. F. S.; SÁ, F. V. S.; COSME, C. R.; SOUZA, A. C. M. S.; OLIVEIRA, A. M.; BATISTA, C. N. O. Potential agricultural use of reject brine from desalination plants in family farming areas. In: TALEISNIK, E.; LAVADO, R. S. (org.). **Saline and alkaline soils in Latin America**. 1ªed. Cham: Springer Nature; v. 1, 2021. p. 231–281.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa informação Tecnológica, 2009.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: um guia dos seus procedimentos de comparações múltiplas Bootstrap. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- FERNANDES, C. S.; FERREIRA-NETO, M.; DIAS, N. S.; REGES, L. B. L.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, A. Á.; PAIVA, E. P.; FERNANDES, P. D.; SÁ, F. V. S. The appropriate source of nitrogen for italian zucchini under salt stress conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Switzerland, v. 22, n. 1, p. 560–570, 2022.

FREITAS, A. L. G. E.; VILASBOAS, F. S.; PIRES, M. M.; SÃO JOSÉ, A. R. Caracterização da produção e do mercado da graviola (*Annona muricata* L.) no estado da Bahia. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 23-34, 2013.

KRAMER, D. M.; JOHNSON, G.; KIIRATS, O.; EDWARDS, G. E. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes. **Photosynthesis Research**, Netherlands, v. 79, v. 1, p. 209-218, 2004.

LEITE NETA, M. T. S.; JESUS, M. S.; SILVA, J. L. A.; ARAUJO, H. C. S.; SANDES, R. D. D.; SHANMUGAM, S.; NARAIN, N. Effect of spray drying on bioactive and volatile compounds in soursop (*Annona muricata*) fruit pulp. **Food Research International**, Amsterdam, v. 124, n. 10, p. 70-77, 2019.

MOGHADAMTOUSI, S. Z.; FADAEINASAB, M.; NIKZAD, S.; MOHAN, G.; ALI, H. M.; KADIR, H. A. *Annona muricata* (Annonaceae): A review of its traditional uses, isolated acetogenins and biological activities. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 16, n. 7, p. 15625-15658, 2015.

NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SANTOS, F. J. S.; BEZERRA, I. L.; GURGEL, M. T. Germinação e formação de mudas enxertadas de gravioleira sob estresse salino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 12, p. 1365-1371, 2003.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (org.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília, Embrapa-SEA, 1991. p. 189-254.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; SOUZA, A. A. T.; FERREIRA, J. A.; SOUZA, M. S. Interação entre salinidade e bioestimulante na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 5, p. 465-471, 2013.

OXBOROUGH, K.; BAKER, N. R. An instrument capable of imaging chlorophyll a fluorescence from leaves at very low irradiance and at cellular and subcellular levels of organization. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 20, n. 12, p. 1473-1483, 1997.

PASSOS, V. M.; SANTANA, N. O.; GAMA, F. C.; OLIVEIRA, J. G.; AZEVEDO, R. A.; VITÓRIA, A. P. Growth and ion uptake in *Annona muricata* and *A. squamosa* subjected to salt stress. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 49, n. 2, p. 285-288, 2005.

PRAXEDES, S. S. C.; FERREIRA NETO, M.; LOIOLA, A. T.; SANTOS, F. J. Q.; UMBELINO, B. F.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; MELO, A. S.; LACERDA, C. F.; FERNANDES, P. D.; DIAS, N. S.; SÁ, F. V. S. Photosynthetic responses, growth, production, and tolerance of traditional varieties of cowpea under salt stress. **Plants**, Basel, v. 11, n. special, p. e1863, 2022.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; FERREIRA NETO, M.; PAIVA, E. P.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L. Cultivation of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen proportions. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v. 41, n. 2, p. 395-406, 2020.

SÁ, F. V. S.; SILVA, I. E.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y. B.; PAIVA, E. P.; GHEYI, H. R. Phosphorus doses alter the ionic homeostasis of cowpea irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, p. 372-379, 2021a.

SÁ, F. V. S.; GUEYI, H. R.; LIMA, G. S.; PAIVA, E. P.; SILVA, L. A.; MOREIRA, R. C. L.; FERNANDES, P. D.; DIAS, A. S. Ecophysiology of West Indian cherry irrigated with saline water under phosphorus and nitrogen doses. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 1, p. 211-221, 2019.

SÁNCHEZ, C. F. B.; LOPES, B. E.; TEODORO, P. E.; GARCIA, A. D. P.; PEIXOTO, L. A.; SILVA, L. A.; BHERING, L. L. Genetic diversity among soursop genotypes based on fruit production. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. 1, p. 122-128, 2018.

SANTOS, S. T.; OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, G. B. S.; SÁ, F. V. S.; COSTA, J. P. B. M.; FERNANDES, P. D. Photochemical efficiency of basil cultivars fertigated with salinized nutrient solutions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 5, p. 320-325, 2020.

SILVA, E. M.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S.; SOUSA, L. P. Growth and gas exchanges in soursop under irrigation with saline water and nitrogen sources.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 11, p. 776-781, 2018.

SILVA, E. M.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SÁ, F. V. S.; SOUSA, L. P.; SOARES, L. A. A.; FERNANDES, P. D. Photosynthetic pigments and photochemical efficiency in soursop under saline water irrigation and nitrogen sources. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 9, n. 12, p. 325-334, 2017.

SILVA, A. A.; DIAS, N. S.; JALES, G. D.; REBOUÇAS, T. C.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA-NETO, M.; MORAIS, P. L. D.; PAIVA, E. P.; FERNANDES, C. S.; SÁ, F. V. S. Fertigation with fish farming effluent at the adequate phenological stages improves physiological responses, production and quality of cherry tomato fruit. **International Journal of Phytoremediation**, Philadelphia, v. 24, n. 3, p. 283-292, 2022.

SILVA, J. S.; SÁ, F. V. S.; DIAS, N. S.; FERREIRA NETO, M.; JALES, G. D.; FERNANDES, P. D. Morphophysiology of mini watermelon in hydroponic cultivation using reject brine and substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 25, n. 6, p. 402-408, 2021.

VELOSO, L. L. S. A.; NOBRE, R. G.; SOUZA, L. P.; GHEYI, H. R.; CAVALCANTE, I. T. S.; ARAUJO, E. B. G.; SILVA, W. L. Formation of soursop seedlings irrigated using waters with different salinity levels and nitrogen fertilization. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. suppl 1, p. 151, 2018.

VOLKOV, V.; BEILBY, M. J. Salinity tolerance in plants: mechanisms and regulation of ion transport. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, n. 1, p. 1795, 2017.

WAN, Q.; HONGBO, S.; ZHAOLONG, X.; JIA, L.; DAYONG, Z.; YIHONG, H. Salinity tolerance mechanism of osmotin and osmotin-like proteins: a promising candidate for enhancing plant salt tolerance. **Current Genomics**, Sharjah, v. 18, n. 6, p. 553-556, 2017.