

**FRANCISCO ERNESTO DE ANDRADE RÊGO JÚNIOR**

**MANEJO NUTRICIONAL DA *ATRIPLEX NUMMULARIA* PARA USO EM  
PROGRAMAS DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS NO  
ESTADO DE PERNAMBUCO**

**Recife - PE  
2023**

**FRANCISCO ERNESTO DE ANDRADE RÊGO JÚNIOR**

**MANEJO NUTRICIONAL DA *ATRIPLEX NUMMULARIA* PARA USO EM  
PROGRAMAS DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS NO  
ESTADO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza

**Recife - PE  
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

R343m

Rêgo Júnior, Francisco Ernesto de Andrade

MANEJO NUTRICIONAL DA ATRIPLEX NUMMULARIA PARA USO EM PROGRAMAS DE  
RECUPERAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS NO ESTADO DE PERNAMBUCO / Francisco Ernesto de  
Andrade Rêgo Júnior. - 2023.

84 f. : il.

Orientador: Edivan Rodrigues de Souza.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola, Recife, 2023.

1. Halófitas. 2. nutrição de plantas. 3. status hídrico. 4. salinidade. I. Souza, Edivan Rodrigues de, orient. II. Título

CDD 630

---

**FRANCISCO ERNESTO DE ANDRADE RÊGO JÚNIOR**

**MANEJO NUTRICIONAL DA *ATRIPLEX NUMMULARIA* PARA USO EM  
PROGRAMAS DE RECUPERAÇÃO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS NO  
ESTADO DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

DEFENDIDA em 23 de fevereiro de 2023.

Orientador:

---

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza - UFRPE

Examinadores:

---

Prof. Airon José da Silva - UFS

---

Professor Enio Farias de França e Silva – DEAGRI - UFRPE

---

Dra. Monaliza Alves dos Santos – DEPA - UFRPE

**Recife - PE  
2023**

À Deus, por sempre prover força e paz;  
À minha fortaleza, meus pais:  
Rosanjela de Souza e Francisco Ernesto (*in memoriam*),  
por tudo que sempre fizeram e fazem por mim;  
Ao meu irmão: Emanuel Ernesto,  
pelo apoio, motivação, e carinho sempre;  
À minha tia Risoneide de Souza  
pelo carinho e incondicional apoio;  
E a todos que fizeram parte deste trabalho.

**Dedico**

*“O homem que não cultiva o hábito de pensar desperdiça um dos maiores prazeres da vida e não consegue aproveitar o máximo de si.”*  
*(Thomas Edison)*

## **Agradecimentos**

À Deus por tudo que me permitiu vivenciar neste ciclo, pelos momentos em que proveu força, paz, proteção, estando sempre presente na minha vida com sua providência divina.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. A equipe docente, técnicos, estrutura e todo apoio e suporte fornecidos durante a pesquisa desenvolvida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por possibilitar a realização desta e outras pesquisas em todo o país.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo subsídio e financiamento do material humano nesta pesquisa e em todo o estado de Pernambuco.

À minha família Rosanjela de Souza, Francisco Ernesto, Emanuel Ernesto, Risoneide de Souza, por estarem comigo em todos os momentos, provendo apoio, carinho, e motivação em todos os momentos e etapas da minha vida. Vocês são minha vida. A vocês dedico tudo o que sou hoje.

A meu orientador Edivan Rodrigues, que não tenho como colocar em palavras tudo que representou e fez neste ciclo, só tenho a agradecer por ter me acompanhado, sempre estando lado a lado, e presente em todos os momentos, sem o senhor nada disso seria possível.

Aos meus amigos Everton, Ingrid, e Wenio pelos momentos únicos que passamos juntos, com vocês convivi a graduação e o mestrado, vivenciamos lindas memórias, e hoje posso dizer, vocês são meus irmãos.

A minha amiga Julyane que sempre me ouviu, e esteve presente neste período, por ser uma pessoa especial na minha vida, que sempre me alegra e compartilha do amor pela leitura.

À Cintia pelo incentivo, idealização da pesquisa, companhia e por todo aprendizado durante minha trajetória acadêmica.

À Monalisa, que sempre participou de todas as etapas desta pesquisa, e por todo aprendizado e apoio durante este período.

Aos meus amigos e colegas Jaciane, Lucas, Martha, Rafael, Alfredo, Danilo, Pablo, e Hidelblandi por todos os momentos que passamos juntos, pelo apoio fornecido, e por sempre estarem disponíveis para ajudar e motivar neste ciclo.

Ao grupo de pesquisa Relação Solo-Água-Planta, o qual faço parte, em especial aos alunos de Iniciação Científica: Juliana Molina, José George, Robson Santos, Ana Catarina, Vitor Santos, Kauê Paulo, Vitória, por todo auxílio para a realização desse trabalho.

A Eudes, Pedro, Bruno, Paula e Simone por todo o apoio nas análises e utilização dos laboratórios e galpão de solo.

As pessoas que não mencionei, peço perdão, mas que de algum modo contribuíram neste ciclo, muito obrigado.



Rêgo Júnior, F. E. A. **Manejo nutricional da *Atriplex nummularia* para uso em programas de recuperação de solos afetados por sais no estado de Pernambuco.** 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife Pernambuco, Brasil.

### Resumo Geral

A halófito *Atriplex nummularia* é frequentemente empregada em programas de fitorremediação de solos afetados pela salinidade. Contudo, o processo de recuperação é mais lento que a correção convencional sendo dependente da produção de biomassa e consequente extração dos sais, o que requer manejos que estimulem a produção de biomassa e acelerem o processo de recuperação. Deste modo, o trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a capacidade produtiva de biomassa e extração de sais da *Atriplex nummularia* em diferentes cenários de manejo nutricional com Nitrogênio (N) e Fósforo (P) sob irrigação com água salina. O experimento foi delineado em blocos ao acaso em arranjo fatorial duplo 4 (manejo nutricional) x 5 (níveis de condutividade elétrica da água de irrigação) com quatro repetição totalizando 80 unidades experimentais. Para o manejo nutricional foram utilizadas doses para nitrogênio (N1 = 80 kg ha<sup>-1</sup>) e fósforo (P1 = 60 kg ha<sup>-1</sup>) para formar: 1) sem dose de nitrogênio e fósforo (NOP0) (tratamento controle), 2) dose de nitrogênio sem dose de fósforo (N1P0); 3) sem dose de nitrogênio com dose de fósforo (NOP1) e 4) dose de nitrogênio com dose de fósforo (N1P1). Os níveis de condutividade elétrica na água de irrigação foram 0,08; 1,7; 4,8; 8,6 e 12,5 dS m<sup>-1</sup>. O experimento foi conduzido por 93 dias e avaliados parâmetros de biometria, biomassa fresca e seca de folhas, caules e raízes, potenciais hídrico foliar e osmótico, ajustamento osmótico, além da composição nutricional nos tecidos vegetais. Os conteúdos de sódio nas folhas, caule e raiz demonstram que nos cultivos da *Atriplex nummularia* com águas de 8,6 dS m<sup>-1</sup>, a fertilização com nitrogênio tem efeito benéfico na fitoextração dos teores de sódio, e potássio. A aplicação de Nitrogênio em condições salinas reduz os efeitos adversos da salinidade no potencial hídrico, potencial osmótico e ajustamento osmótico em plantas de *Atriplex nummularia*. Diante dos resultados obtidos, a adubação nitrogenada pode ser uma alternativa para amenizar o efeito negativo do estresse salino do solo. Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* mostraram a importância do fornecimento de fontes de Nitrogênio como estratégia em reduzir os danos causados pelo estresse salino. Assim, sugere-se cultivar a *Atriplex nummularia* irrigada com águas de até 4,8 dS m<sup>-1</sup> com manejo de fertilizantes nitrogenados a uma taxa de 80 kg ha<sup>-1</sup> para maior rendimento.

**Palavras-chave:** Halófitas, nutrição de plantas, status hídrico, salinidade.

Rêgo Júnior, F. E. A. **Nutritional management of *Atriplex nummularia* for use in soil recovery programs resident by salts in the state of Pernambuco.** 2023. Dissertation (Master's degree in Agricultural Engineering) - Federal Rural University of Pernambuco, Recife, PE, Brazil.

### General abstract

The halophyte *Atriplex nummularia* is often used in phytoremediation programs in salt-affected soils. However, the recovery process is slower than the conventional correction, being dependent on the production of biomass and consequent extraction of salts, which requires management that stimulates the production of biomass and accelerates the recovery process. Thus, the work was carried out with the objective of evaluating the productive capacity of biomass and extraction of salts by *Atriplex nummularia* in different scenarios of nutritional management with Nitrogen (N) and Phosphorus (P) under irrigation with saline water. The experiment was designed in randomized blocks in a double factorial arrangement 4 (nutritional management) x 5 (electrical conductivity levels of irrigation water) with four replications totaling 80 experimental units. For nutritional management, doses for nitrogen ( $N1 = 80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) and phosphorus ( $P1 = 60 \text{ kg ha}^{-1}$ ) were used to form: 1) no dose of nitrogen and phosphorus (N0P0) (control treatment), 2) nitrogen dose without phosphorus dose (N1P0); 3) without nitrogen dose with phosphorus dose (N0P1) and 4) nitrogen dose with phosphorus dose (N1P1). The levels of electrical conductivity in irrigation water were 0.08; 1.7; 4.8; 8.6 and  $12.5 \text{ dS m}^{-1}$ . The experiment was carried out for 93 days and evaluated parameters of biometry, fresh and dry biomass of leaves, stems and roots, leaf and osmotic water potential, osmotic adjustment, in addition to the nutritional composition in plant tissues. The sodium contents in leaves, stems and roots demonstrate that in *Atriplex nummularia* irrigated with water of  $8.6 \text{ dS m}^{-1}$ , nitrogen fertilization has a beneficial effect on the phytoextraction of sodium and potassium contents. Nitrogen application under saline conditions reduces the adverse effects of salinity on water potential, osmotic potential and osmotic adjustment in *Atriplex nummularia* plants. Given the results obtained, nitrogen fertilization can be an alternative to mitigate the negative effect of saline stress in the soil. Chlorophyll fluorescence parameters showed the importance of providing nitrogen sources as a strategy to reduce the damage caused by saline stress. Thus, it is suggested to cultivate *Atriplex nummularia* irrigated with waters of up to  $4.8 \text{ dS m}^{-1}$  with nitrogen fertilizer management at a rate of  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  for greater yield.

**Key-words:** halophytes, plant nutrition, water status, salinity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização geográfica do município de Pesqueira-PE.....	21
<b>Figura 2</b> - Solo exposto ao ar em ambiente protegido para secagem, galpão de solos da UFRPE. .....	22
<b>Figura 3</b> - Mudanças em estágio inicial de desenvolvimento, logo após a realização da estarquia. 24	
<b>Figura 4</b> - Local de condução do experimento, casa de vegetação CEPEVE. ....	25
<b>Figura 5</b> - Mudanças de 4 meses transplantadas para os vasos com Neossolo flúvico. ....	25
<b>Figura 6</b> - Unidades experimentais aos 93 DAT, BI = Bloco I, BII = Bloco II, BIII = Bloco III, BIV = Bloco IV. ....	26
<b>Figura 7</b> - Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo cultivado com <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	33
<b>Figura 8</b> - Massa seca de folha de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	35
<b>Figura 9</b> - Massa seca da folha de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT. ....	36
<b>Figura 10</b> - Massa seca do caule de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	37
<b>Figura 11</b> - Massa seca de caule de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT. ....	38
<b>Figura 12</b> - Massa fresca da folha de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	40
<b>Figura 13</b> - Massa fresca de folha de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT. ....	41
<b>Figura 14</b> - Massa fresca de caule de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	42
<b>Figura 15</b> - Massa fresca de caule de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT. ....	43
<b>Figura 16</b> - Concentração de sódio (Na) na folha de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	45
<b>Figura 17</b> - Concentração de sódio (Na) no caule de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	46

<b>Figura 18</b> - Concentração de sódio (Na) na raiz de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	47
<b>Figura 19</b> - Concentração de potássio (K) na folha de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	49
<b>Figura 20</b> - Concentração de nitrogênio na folha de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	51
<b>Figura 21</b> - Concentração de Nitrogênio no caule de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	52
<b>Figura 22</b> - Concentração de Nitrogênio na raiz de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	53
<b>Figura 23</b> - Conteúdo de sódio (Na) na folha de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	55
<b>Figura 24</b> - Conteúdo de sódio (Na) na folha de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT. ....	56
<b>Figura 25</b> - Conteúdo de sódio (Na) no caule de <i>Atriplex nummularia</i> , sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT. ....	57
<b>Figura 26</b> - Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ ) de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 81 DAT. ....	59
<b>Figura 27</b> - Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 81 DAT. ....	61
<b>Figura 28</b> - Ajustamento osmótico (AO) de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 81 DAT. ....	63
<b>Figura 29</b> - Fluorescência inicial (F0) de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 91 DAT. ....	65
<b>Figura 30</b> - Eficiência quântica de conversão de energia química (Fv/F0) de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, aos 91 DAT. ....	68

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Caracterização física inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento das unidades experimentais.....	22
<b>Tabela 2</b> - Caracterização Química inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento das unidades experimentais.....	23
<b>Tabela 3</b> - Concentração de sais ( $\text{g L}^{-1}$ ) para obtenção dos valores de condutividade elétrica das águas de irrigação utilizadas durante a condução do experimento.....	27
<b>Tabela 4</b> - Análise de variância para condutividade elétrica do solo cultivado com <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	32
<b>Tabela 5</b> - Análise de variância para altura das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.....	33
<b>Tabela 6</b> - Análise de variância para massa seca da folha, caule e raiz das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	34
<b>Tabela 7</b> - Análise de variância para massa fresca da folha e caule das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	39
<b>Tabela 8</b> - Análise de variância para concentração de sódio (Na) nas folhas, caule, e raiz das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	44
<b>Tabela 9</b> - Análise de variância para concentração de potássio (K) na folha e caule das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.....	48
<b>Tabela 10</b> - Análise de variância para concentração de nitrogênio (N) na folha e caule das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	50
<b>Tabela 11</b> - Análise de variância para conteúdo de sódio na folha e caule das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	54
<b>Tabela 12</b> - Análise de variância para teor relativo de água das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	58

<b>Tabela 13</b> - Análise de variância para potencial hídrico foliar das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	58
<b>Tabela 14</b> - Análise de variância para potencial osmótico das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	60
<b>Tabela 15</b> - Análise de variância para ajustamento osmótico das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	62
<b>Tabela 16</b> - Análise de variância para fluorescência inicial ( $F_0$ ) das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	64
<b>Tabela 17</b> - Análise de variância para fluorescência máxima ( $F_m$ ) das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	66
<b>Tabela 18</b> - Análise de variância para fluorescência variável ( $F_v$ ) das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	66
<b>Tabela 19</b> - Análise de variância para eficiência quântica fotoquímica do fotossistema II ( $F_v / F_m$ ) das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	67
<b>Tabela 20</b> - Análise de variância para eficiência de conversão de energia ( $F_v / F_0$ ) das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT. ....	67

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral .....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1. Salinidade do Solo .....	14
3.2. Efeitos da Salinidade sobre o Solo .....	14
3.3 Efeitos da Salinidade sobre as plantas.....	15
3.4. Fitorremediação .....	16
3.5 Plantas Halófitas.....	17
3.6. <i>Atriplex nummularia</i> Lindl.....	18
3.7 Manejo Nutricional da <i>Atriplex nummularia</i> Lindl.....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 Coleta e Caracterização inicial do Solo .....	21
4.2 Preparo das mudas.....	24
4.3 Montagem e Condução do experimento.....	24
4.4 Preparo da Água de Irrigação.....	27
4.5 Avaliações das Plantas .....	28
4.5.1. Avaliações biométricas .....	28
4.5.2. <i>Potencial Hídrico Foliar (TOTAL) (<math>\Psi_w</math>)</i> .....	28
4.5.3. <i>Potencial Osmótico (<math>\Psi_o</math>)</i> .....	28
4.5.4. <i>Ajustamento Osmótico</i> .....	29
4.5.5 <i>Fluorescência da Clorofila</i> .....	29
4.5.6 <i>Preparo Das Amostras Para Determinação Da Composição Mineral</i> .....	30
4.5.7 <i>Composição Mineral das Partes das Plantas</i> .....	30

4.6 Avaliação do Solo .....	30
4.6.1 <i>Análise do Solo no Final do experimento (Caracterização Final)</i> .....	30
4.7 Análise Estatística dos Dados .....	31
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>32</b>
5.1. Condutividade Elétrica Final do Solo.....	32
5.2. Crescimento das Plantas de <i>Atriplex nummularia</i> .....	33
5.2.1. Altura das plantas .....	33
5.2.2. Massa fresca e Massa seca .....	34
5.3. Teor mineral no tecido vegetal.....	44
5.4. Conteúdo de Sódio da <i>Atriplex nummularia</i> .....	53
5.5 Relações hídricas .....	58
5.5.1. Teor Relativo de Água (TRA) .....	58
5.5.2. Potencial Hídrico Foliar TOTAL ( $\Psi_w$ ).....	58
5.5.3. Potencial Osmótico ( $\Psi_o$ ) .....	60
5.5.4. Ajustamento Osmótico (AO).....	61
5.6 Fluorescência da clorofila a .....	64
5.6.1. Fluorescência Inicial ( $F_0$ ) .....	64
5.6.2. Fluorescência Máxima ( $F_m$ ).....	66
5.6.3. Fluorescência Variável ( $F_v$ ).....	66
5.6.4 Eficiência Quântica Fotoquímica do Fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) .....	67
5.6.5. Eficiência de Conversão de Energia ( $F_v/ F_0$ ).....	67
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>70</b>
<b>7. Referências Bibliográficas .....</b>	<b>71</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A salinidade do solo é um problema mundial que oferece grande risco à sustentabilidade ambiental (GHEYI et al., 2022). Globalmente, 833 milhões de hectares de solos são afetados por sais (FAO, 2021). O acúmulo de sal na zona radicular do solo afeta negativamente a produção agrícola, como consequência do prejuízo ao desenvolvimento vegetativo das plantas e alteração do equilíbrio nutricional e toxicidade pelo excesso de íons absorvidos pelas plantas (DAS et al., 2020).

Este cenário estabelece limites que apenas algumas espécies de plantas têm a capacidade de romper, como é o caso das halófitas, as quais apresentam diferentes estratégias de tolerância a condições salinas, com concentrações na solução do solo superiores a 2M de NaCl (NIKALJE et al. 2019; CAMACHO-SANCHEZ et al., 2020). Dentre as diversas espécies de halófitas disponíveis, a *Atriplex nummularia* Lindl. tem desempenho promissor para cultivo em solos salinos e irrigação com águas salinas (SANTOS et al., 2022). Ademais tolera estresses ambientais severos, através de um mecanismo bem orquestrado para lidar inclusive com o estresse salino (SOUZA et al., 2014).

A salinidade do solo impõe condições adversas à fertilidade do solo e, conseqüentemente, torna-se fator limitante para o desenvolvimento de plantas. Solos salinos são caracterizados por uma baixa atividade de íons nutrientes e uma razão extremamente alta de  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$  no solo (TAUFIQ et al., 2018). Frequentemente, o excesso de sais no solo promove deficiência de fósforo (P) (DEY et al., 2021); afetando o metabolismo e captação de nitrogênio (N); com conseqüente redução de  $\text{NO}_3^-$  e diminuição da assimilação de  $\text{NH}_4^+$  (BOURAS et al., 2021b). Além disso, a deficiência nutricional em ambientes salinos é consequência da inibição da absorção devido ao alto teor de sais na zona radicular (MUNNS et al., 2020a).

Esses problemas geralmente são superados por meio de algumas medidas. A interação entre o plantio de cultivares tolerantes à salinidade e o manejo de nutrientes no solo, por exemplo, pode fornecer informações importantes sobre estratégias de gerenciamento em ambientes salinos. É reconhecida a eficácia da adição de um nutriente no solo sobre o aumento da tolerância à salinidade e crescimento da planta (BOURAS et al., 2021b).

Portanto, o manejo adequado da *Atriplex nummularia* aliada à manutenção da disponibilidade de macronutrientes, como nitrogênio e fósforo, para a mitigação da salinidade do solo torna-se importante para minimizar a crescente demanda por segurança ambiental (DING et al., 2020, WARIS et al., 2022). Nesse contexto, destaca-se também a importância de estudos sobre as respostas de espécies tolerantes à salinidade e a fertilidade do solo, pois halófitas têm a capacidade de absorver o Na<sup>+</sup> do solo e a aplicação externa da quantidade ideal de fertilizantes fosfatados e nitrogenados minimiza os efeitos adversos do estresse salino, melhorando a dinâmica de absorção, transporte e distribuição de nutrientes (BOURAS et al., 2021a).

Assim, as hipóteses deste estudo são: (a) a aplicação de Nitrogênio e fósforo aumenta a produção de biomassa da *Atriplex nummularia* em condições de alta salinidade; (b) a aplicação de Nitrogênio e fósforo melhora a tolerância da planta à salinidade (características fisiológicas) e (c) o incremento com Nitrogênio e fósforo é necessário em condições salinas para maior rendimento. Dessa forma, pretende-se com o presente estudo uma melhor compreensão do crescimento, produtividade, desenvolvimento fisiológico e conteúdo mineral foliar da *Atriplex nummularia* afetado por diferentes níveis de disponibilidade de Nitrogênio e fósforo no solo sob diferentes salinidades da água de irrigação.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade de crescimento, produtividade, desenvolvimento fisiológico e conteúdo mineral foliar da *Atriplex nummularia* submetida a diferentes níveis de disponibilidade de Nitrogênio e fósforo no solo sob crescentes salinidades da água de irrigação.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Observar a evolução da condutividade elétrica do solo antes e depois do cultivo da *Atriplex nummularia*;
- Avaliar os parâmetros biométricos e de produção de biomassa da *Atriplex nummularia* em diferentes cenários de salinidade na água de irrigação e manejo nutricional de Nitrogênio e fósforo;
- Caracterizar variáveis fisiológicas como potenciais hídrico e osmótico para os manejos adotados nessa pesquisa.
- Estimar a extração de sais pela *Atriplex nummularia* em diferentes cenários de salinidade na água de irrigação e manejo nutricional de Nitrogênio e fósforo;
- Avaliar se a ausência ou presença de Nitrogênio e fósforo aumentam a eficiência da *Atriplex nummularia* na fitorremediação do solo em diferentes salinidades da água de irrigação.
- Avaliar o efeito dos manejos de Nitrogênio e fósforo sobre a fluorescência da clorofila das plantas submetidas às águas salinas.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Salinidade do Solo**

No mundo estima-se que cerca de 7% da superfície terrestre, ou aproximadamente uma área de mais de 833 milhões de ha estão afetadas pela salinização do solo (WANG et al., 2018; XIE et al., 2022). No Brasil, as áreas afetadas pela salinidade são observadas nas regiões Sul, Centro-oeste, e principalmente no Nordeste (RIBEIRO et al., 2016, GHEYI et al., 2022).

O processo de salinização dos solos em regiões semiáridas, caso de grande parte da região Nordeste do Brasil, é consequência das condições edafoclimáticas, como a elevada evapotranspiração, presença de camadas impermeáveis, de lençol freático próximo a superfície, e da irregularidade das precipitações (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2021).

Além disso, este processo de degradação do solo pode ser intensificado por meio do manejo inadequado da irrigação, e uso indiscriminado de águas de qualidade inferior, bem como fertilização má administrada (LI et al., 2017; NEGACZ et al., 2022).

Segundo o USSL Staff (1954) um solo é considerado salino quando a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) for  $\geq 4 \text{ dS m}^{-1}$ , e a percentagem de sódio trocável (PST) for  $< 15\%$ . É normal que o pH destes solos apresente um valor menor que 8,5. Quando o solo apresenta  $\text{PST} \geq 15\%$ , e  $\text{CE} < 4$  ele é classificado como sódico; já quando apresenta  $\text{CE} \geq 4 \text{ dS m}^{-1}$  e  $\text{PST} \geq 15\%$  é classificado como salino-sódico e tende a apresentar  $\text{pH} \leq 8,5$ , devido ao excesso de sais em solução (FERREIRA; SILVA; RUIZ, 2016).

O excesso de sais no solo causa alterações em seus atributos físicos e químicos, tendo como consequências, danos em sua estrutura, impermeabilidade, pouca agregação, pouca aeração, além de comprometimento de sua fertilidade (MIRANDA et al., 2018; GHEYI et al., 2022). Todos esses fatores prejudicam ou impedem a prática da agricultura em muitas regiões do mundo (MEDEIROS et al., 2016a).

#### **3.2. Efeitos da Salinidade sobre o Solo**

No solo, a salinidade altera atributos químicos como condutividade elétrica, pH, PST e a relação de sódio adsorvido (RAS), mas também atributos físicos, como estrutura, estabilidade de agregados, dispersão de partículas, permeabilidade e infiltração. O excesso de sais na solução do solo tem como consequência a diminuição, ou perda da produtividade agrícola (BUI, 2017).

Os solos que apresentam acumulação de sais solúveis em solução, normalmente são solos friáveis, bem permeáveis e flocculados, ao mesmo tempo, solos que apresentam altas concentrações de sódio trocável são solos adensados, e compactos em condições de baixa umidade, dispersos e pegajosos sob umidade elevada (SANTOS et al., 2022).

Medeiros et al. (2016b) argumentaram que a interação eletroquímica que ocorre entre os cátions e a argila é responsável pelos efeitos da salinidade sobre a estrutura do solo. Assim, quando um cátion predomina no complexo de troca do solo pode haver contração ou expansão das argilas (FERREIRA; SILVA; RUIZ, 2016).

O sódio ( $\text{Na}^+$ ) é um cátion monovalente que segundo Atkins; Jones e Laverman, (2018) possui baixa preferência de adsorção (série liotrópica). Em ambientes salinos ou sódicos, sua atividade é alta, devido à alta concentração em solução, podendo ser adsorvido na superfície dos colóides aumentando a espessura da dupla camada difusa, que causa a dispersão das partículas de argila (MIRANDA et al., 2018).

A presença de  $\text{Na}^+$  nos sítios de troca do solo não permite que as partículas de argila floculem, pois, suas superfícies se repelem devido à presença de cargas de mesmo valor (positivas). Tal efeito resulta na dispersão das argilas, que entram no interior dos poros do solo causando problemas de permeabilidade e aeração ao solo (FERREIRA; SILVA; RUIZ, 2016).

### **3.3 Efeitos da Salinidade sobre as plantas**

O excesso de sais na solução do solo gera desequilíbrios nutricionais, metabólicos e fisiológicos nas plantas. Assim, processos vitais para o desenvolvimento das culturas, como fotossíntese, condutância estomática, transpiração, absorção de água e nutrientes, crescimento, e potencial hídrico do solo e planta são prejudicados pelos efeitos osmótico, e tóxico da concentração de certos íons, como sódio ( $\text{Na}^+$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), e boro (B), na fase líquida do solo (SOUZA et al., 2012; DIAS et al., 2016; MELO et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2019).

O incremento de sais no solo devido a prática da irrigação com água de condutividade elétrica (CE) elevada desequilibra o gradiente de potencial hídrico favorável à entrada de água nas células das raízes. Como consequência, a planta reduz o potencial osmótico das folhas para reduzir o potencial hídrico foliar e conseguir absorver água (SOUZA et al., 2012; LINS et al., 2018; MELO et al., 2018).

As plantas que são submetidas a elevadas concentrações de íons no solo apresentam inibição do crescimento, alterações no processo de fotossíntese e condutância estomática, além de distúrbios na permeabilidade das membranas celulares e desequilíbrio do balanço iônico (PAULINO et al., 2020).

Em plantas sob elevada salinidade observa-se diminuição da biomassa e área foliar, as quais são resultantes do efeito do estresse osmótico causado pelas altas concentrações de sais no solo (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2016; MELO et al. 2018; OLIVEIRA et al., 2019). Além disso, a redução da área foliar implica em menor área fotossinteticamente ativa que causa menor fixação de carbono nas folhas, e consequente redução da biometria e biomassa da planta (MELO et al., 2016).

O efeito do excesso de sais no solo limita a prática da agricultura em muitas regiões do globo, contudo algumas estratégias de manejo podem ser adotadas para minimizar estes efeitos possibilitando o cultivo de espécies que apresentem alguma adaptabilidade à salinidade. Entre estas práticas, estão a utilização de condicionadores químicos e orgânicos, mas também espécies denominadas fitorremediadoras (SOUZA et al., 2012; CUNHA et al., 2017; LEAL et al., 2020).

### **3.4. Fitorremediação**

O processo de fitorremediação pode ser definido como a utilização de espécies vegetais com a finalidade de remover os poluentes prejudiciais ao ambiente de modo a minimizar os seus efeitos nocivos. Nesta estratégia de biorremediação, além do emprego de plantas, utiliza-se no processo a microbiota e condicionadores do solo, mas também práticas agronômicas para que os contaminantes sejam removidos, imobilizados ou tornem-se inofensivos ao ambiente (LAM et al., 2017; LEITE et al., 2019)

Existem diversas formas de fitorremediação que podem ser aplicadas para a descontaminação de uma área como, fitoextração, fitodegradação, fitovolatilização, fitoestimulação e fitoestabilização (MCCUTCHEON; JØRGENSEN, 2008). Dentre elas, a fitoextração é uma técnica em que as plantas extraem e translocam os íons presentes no

solo para suas partes aéreas, sendo empregada para a remediação de solos com altas concentrações de sais (SOUZA et al., 2011; MOURA et al., 2019).

A fitoextração apresenta como vantagens, a utilização da biomassa produzida pela espécie, a recuperação dos solos em maiores profundidades, bem como formação de macroporos por meio das raízes, que ao passarem pelo processo de senescência depositam matéria orgânica no solo. Outras vantagens são, aumento da disponibilidade de nutrientes, e a possibilidade da elevação do sequestro de carbono no solo (FREIRE et al., 2016; SANTOS et al., 2022).

O processo de fitorremediação dos solos salino-sódicos não é limitado pela fitoextração, existem outros mecanismos, que atuam na melhoria dos atributos do solo, como o incremento da pressão parcial de CO<sub>2</sub> na zona radicular; a liberação de prótons pelas raízes no processo de absorção de nutrientes catiônicos; a extração de sais e produção de biomassa aérea (QADIR et al. 2007).

Todos os mecanismos, além da fitoextração, envolvidos no processo de fitorremediação dos solos salinos tem sua eficiência dependente da espécie vegetal a ser utilizada, uma vez estes mecanismos estão relacionados direta, ou indiretamente com processos fisiológicos, e metabólicos das plantas fitorremediadoras (SOUZA et al., 2011; FREIRE et al., 2016; CALASAN et al., 2022).

Várias espécies vegetais podem ser utilizadas no processo de fitorremediação como plantas arbustivas, herbáceas e arbóreas, desde que apresentem alta produção de biomassa, sejam tolerantes aos ambientes salinos, e tenham a capacidade de adsorver os sais presentes no solo (GHEYI et al., 2022). Todavia MELO et al. (2018) salientam que, em ambientes com altos teores de sódio e cloro, as plantas halófitas são a alternativa mais indicada por apresentarem a capacidade de sobreviver nesses ambientes.

### **3.5 Plantas Halófitas**

Espécies vegetais que possuem a capacidade de se desenvolver e têm seu crescimento favorecido em ambientes com teor de sais na faixa de 50 a 500 mM são denominadas como plantas halófitas. (FLOWERS & COLMER, 2008; FERNANDES et al., 2016).

Conceitualmente, as plantas halófitas podem ser divididas em duas categorias: as halófitas obrigatórias e as facultativas. As halófitas obrigatórias são plantas que evoluíram em condições permanentes de alta salinidade, e que necessitam da presença de sais para

completar o seu ciclo de desenvolvimento, enquanto que as halófitas facultativas evoluíram em locais com variação na concentração de sais, e podem se desenvolver sem a presença de sais livres na solução do solo (KOYRO et al., 2008; FERNANDES et al., 2016).

No globo estima-se que há 6.000 espécies de halófitas, que podem ser encontradas tanto em ambientes terrestres, quanto marítimos. Estas espécies estão distribuídas principalmente entre as famílias: chenopodiaceae amarantaceas, poaceas, leguminosas, compositas e plumbaginaceas, aizoaceas, ciperaceas, tamaricáceas. As chenopodiaceae, que pertencem as angiospermas dicotiledônias, abrangem 20% das halófitas e compreendem as espécies de *Atriplex*, que são utilizadas para recuperação de solos degradados e para produção de forragem nos ambientes salinos (SOUZA et al., 2012; FERNANDES et al., 2016; HINTSA et al., 2018).

### **3.6. *Atriplex nummularia* Lindl**

O gênero vegetal *Atriplex* pertencente a subfamília *Chenopodioideae*, possui mais de 400 espécies espalhadas pelas regiões de clima árido e semiárido em todo o mundo. Este gênero de plantas é originário da zona mediterrânea da Austrália e apresenta boa adaptabilidade a condições climáticas áridas, e ambientes salinos (GHEYI et al., 2022).

A *Atriplex* apresenta diversos mecanismos que permitem seu desenvolvimento em condições de elevada salinidade, como regulação, e compartimentalização de íons em estruturas especializadas, e síntese de compostos orgânicos no citoplasma, que protegem os componentes celulares da desidratação (SOUZA et al., 2012, LINS et al., 2018).

O mecanismo de regulação e compartimentalização de íons ocorre nos vacúolos celulares e em células especializadas denominadas tricomas vesiculares, que se localizam nas superfícies das folhas (SILVA et al., 2016; FERNANDES et al., 2016; LINS et al., 2018). Este processo permite, que estas plantas realizem um ajustamento osmótico ao reduzir seu potencial osmótico, de modo que o movimento de água do solo até as folhas seja favorecido, permitindo que a planta mantenha a expansão celular e turgor (LINS et al., 2018).

Segundo Oliveira Junior et al. (2016) as plantas de atriplex, como consequência das elevadas concentrações de sais no solo, além de realizar o ajuste osmótico, reduzem o seu crescimento, e alteram processos fisiológicos como a sua respiração, transpiração, taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e condutância estomática (MELO; SOUZA; CUNHA, 2017).



Ademais, verifica-se que esta planta aumenta as concentrações de compostos orgânicos; como a glicina betaína a níveis celulares, quando submetidas a altos níveis salinidade (SOUZA et al., 2012).

Além disso, a presença da espécie em ambientes salinos promove o estímulo da atividade microbiana na zona radicular, devido ao decréscimo do pH pela exsudação das raízes (GHEYI et al., 2022). Tal processo resulta na elevação de taxas de CO<sub>2</sub> e de dissolução de carbonatos, de modo que há translocação da parte trocável do Na<sup>+</sup> para a solução do solo, devido ao aumento da atividade dos outros íons, favorecendo a lixiviação do Na<sup>+</sup> da solução (SANTOS et al., 2013a).

Segundo Souza et al. (2012) o processo de fitorremediação de ambientes salinos promovidos pela *Atriplex nummularia* é dependente da quantidade de sais que esta espécie consegue translocar para seus tecidos vegetais (folhas, caule e raiz), mas também por um sistema radicular robusto que seja capaz de absorver o excesso de íons, sobretudo Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> presentes na solução do solo. Além disso, a irrigação promove otimização do processo de fitoextração.

É reconhecida a capacidade da *Atriplex nummularia* de explorar camadas mais profundas do solo, podendo chegar a 10 m de profundidade, para suprir suas necessidades hídricas (SILVA et al., 2016; MELO; SOUZA; CUNHA, 2017). Por isso, a espécie pode desenvolver-se sob restrição hídrica, como regiões de precipitação média anual entre 200 e 400 mm (CALASAN et al., 2022).

Atualmente poucos estudos relacionados à fertilização da *Atriplex nummularia* vêm sendo desenvolvidos, razão por esta espécie ser uma halófita e xerófila. Contudo, algumas pesquisas demonstram que esta espécie responde a programas de manejos nutricionais (SANTOS et al., 2013a; CUNHA et al., 2017).

Portanto a avaliação de uma forma de manejo nutricional que busca o aumento da produção de biomassa, e por consequência otimização do processo de fitorremediação é necessária.

### **3.7 Manejo Nutricional da *Atriplex nummularia* Lindl**

A adubação de halófitas a partir de fertilizantes químicos, embora pouco empregada nos últimos anos, têm apresentado bons resultados em relação a fitoextração de sódio de solos salino-sódicos. Pesquisas como as de Cunha et al. (2017), Dadkhah et al. (2017), e Eissa & Roshdy (2018), provaram que as halófitas respondem a manejos

nutricionais. Além disso, Santos et al. (2013a) demonstraram que a aplicação de gesso pode otimizar a fitorremediação de solos afetados por sais.

Segundo Cunha et al. (2017), que trabalharam com adubação fosfatada e nitrogenada em *Atriplex nummularia* em casa de vegetação, a utilização de adubação nitrogenada favoreceu a extração de sódio (Na) de modo que folha, caule e raiz apresentaram os maiores teores de Na, quando se aplicou as doses de nitrogênio, além disso os autores perceberam ganhos de biomassa, e matéria seca para os tratamentos que receberam adução nitrogenada.

Segundo Eissa & Roshdy, (2018), que avaliaram a fertilização da *Atriplex lentiformis* com crescentes doses de nitrogênio (N) para fitorremediar solos com altas concentrações de cádmio (Cd), a aplicação de N favoreceu a fitoextração de cádmio do solo, de modo que no tratamento sem N a planta removeu 4,09% do Cd total do solo, enquanto que na maior dose de nitrogênio N, 400 mg N kg<sup>-1</sup>, observou-se remoção de 7,93% do Cd total do solo.

Segundo Leal et al. (2008), e Santos et al. (2013a) que trabalharam com fitorremediação utilizando a *Atriplex nummularia* e correção com gesso num solo salino sódico, a aplicação do gesso em conjunto com a utilização de *Atriplex nummularia* mostrou-se eficiente em reduzir o teor de Na, em comparação com os tratamentos controle, que não apresentava nenhum manejo nutricional. Ademais Santos et al. (2013b) observaram que a aplicação de gesso promoveu desbalanço natural nas relações K:Ca:Mg, e sugeriram neste caso que se realizasse a correção potássica.

Segundo Dadkhah et al. (2017), que estudaram os efeitos da aplicação de doses de sulfato de potássio em duas espécies de halófitas cultivadas sob condições salinas (NaCl), as plantas adubadas com a maior dose de sulfato de potássio, 135 Kg ha<sup>-1</sup> apresentaram maior peso seco, sob diferentes cenários de salinidade. Além disso, os autores observaram incremento no teor de potássio nas folhas quando se aumentou as doses de sulfato de potássio.

Embora nos últimos anos tenham-se desenvolvido estudos envolvendo o manejo nutricional da *Atriplex nummularia*, há carência de informações, em relação ao comportamento fitoextrator de sódio desta espécie, quando submetida à fertilização nitrogenada e fosfatada, e diferentes faixas de salinidade do solo. Portanto estudos que elucidem estas questões são necessários.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Coleta e Caracterização inicial do Solo

Como substrato de cultivo do experimento foi utilizado o Neossolo Flúvico, sem problemas de salinidade do assentamento Nossa Senhora do Rosário situado no município de Pesqueira, coordenadas 8°23'46.1" S 36°51'34.8" W, localizado na região Agreste do estado de Pernambuco (Figura 1).

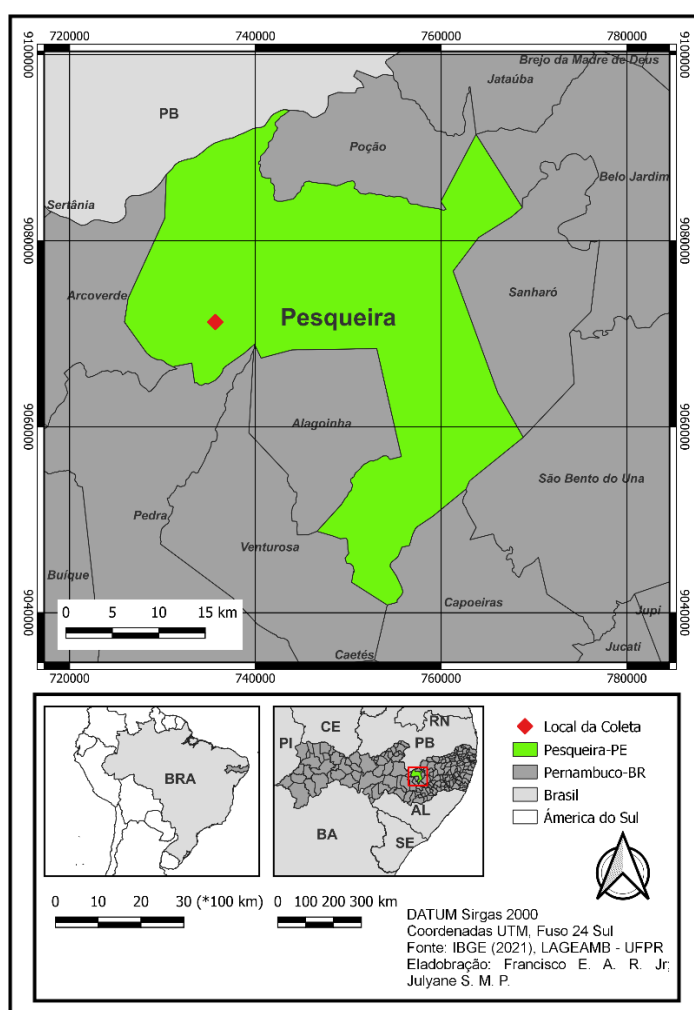


Figura 1. Localização geográfica do município de Pesqueira-PE.

A coleta do solo foi realizada na camada de 0-30 cm de profundidade. O solo foi preparado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde passou pelo processo de secagem ao ar (Figura 2), sendo destorroado e passado em peneira de malha de 4 mm

com a finalidade de assegurar a microagregação e representatividade de campo. Foram coletadas amostras, que foram peneiradas em malha de 2 mm para realização das análises físicas e químicas.



Figura 2. Solo exposto ao ar em ambiente protegido para secagem, galpão de solos da UFRPE.

Para a caracterização física do solo foi determinada a composição granulométrica fundamentada na quantificação dos teores das frações primárias do solo, determinados por metodologia proposta por Gee and Or (2002). A argila dispersa em água (ADA) foi determinada pelo método do hidrômetro, após agitação lenta (GEE; OR, 2002). A determinação da densidade do solo ( $D_s$ ) foi realizada pelo método do anel volumétrico, de acordo com ISO (2017). A densidade de partículas ( $D_p$ ) do solo foi determinada pelo método do balão volumétrico (FLINT; FLINT, 2002); de posse dos resultados de  $D_s$  e  $D_p$ , foi calculada a porosidade do solo  $P = (1 - D_s/D_p)$  (Tabela 1).

Tabela 1 Caracterização física inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento das unidades experimentais.

Areia Total	Silte	Argila	ADA	$D_s$	$D_p$	GD	GF	PT
-----g.kg <sup>-1</sup> -----				----g.cm <sup>-3</sup> ----		-----%-----		
200	560	240	100	1,34	2,60	42	58	0,49

ADA: argila dispersa em água;  $D_s$ : densidade do solo;  $D_p$ : densidade de partículas; GD: ADA/Argila; GF:  $(1 - GD)$ ; GD: grau de dispersão; GF: grau de flocculação; PT: Porosidade total.

Para a caracterização química, na avaliação da solução do solo, foi preparada a pasta de saturação e, no extrato obtido, foram realizadas as medidas de CEEs (condutividade elétrica) (USSL, 1954). Para a fração trocável do solo foi realizada a medida do pH em água (1:2,5) e em solução de KCl; acidez potencial (H+Al) extraídos com acetato de cálcio 1,0 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0 e determinado volumetricamente com solução de NaOH (Campos et al., 2017); cátions trocáveis Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Al<sup>3+</sup>, extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>, sendo por espectrofotometria de absorção atômica, e o Al<sup>3+</sup> quantificado por titulometria com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. O K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e fósforo disponível (P) foram extraídos com Mehlich<sup>-1</sup> (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>), sendo o K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> dosados por fotometria de chama e o P por colorimetria. A determinação de carbono orgânico total (COT) foi quantificado por meio da oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio, segundo método Yeomans e Bremmer (1988) adaptado (PRIBYL, 2010) (Tabela 2). A partir dos resultados obtidos foram calculados a soma de bases, capacidade de troca catiônica efetiva, capacidade de troca catiônica total, percentagem de saturação por base, e percentagem de sódio trocável.

Tabela 2 Caracterização Química inicial do Neossolo Flúvico utilizado no preenchimento das unidades experimentais.

Variáveis	Valor
	Extrato de Saturação
CE (dS m <sup>-1</sup> )	1,51
	Complexo de Troca
pH (1;2,5)	5,76
Na <sup>+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,57
K <sup>+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,40
Ca <sup>2+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	11,68
Mg <sup>2+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	3,90
P (mg.Kg <sup>-1</sup> )	120,51
SB (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	16,54
Al <sup>3+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,00
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	3,07
CTC Efetiva (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	16,54
T (%)	19,61
V (%)	84,33
PST (%)	2,89
CO (g Kg <sup>-1</sup> )	18,17

CE: Condutividade Elétrica; SB: Soma de Bases; H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>: Acidez Potencial; CTC efetiva: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; T: Capacidade de Troca Catiônica Total; V: Percentagem de Saturação por base; PST: Percentagem de Sódio Trocável; CO: Carbono Orgânico Total.

## 4.2 Preparo das mudas

As mudas foram provenientes do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) localizado no município de Recife-PE, e confeccionadas por meio de estaquia, a partir de uma única matriz para diminuir a variabilidade genética entre os clones.

Para estaquia coletaram-se ramos da matriz com tesoura de poda. No processo as gemas apicais foram removidas e se realizou corte em bisel da gema lateral, localizada na base do ramo, em seguida removeram-se algumas folhas de modo que o ramo permanecesse com três folhas em sua parte superior. Ao final obtiveram-se ramos de aproximadamente 12,5 cm de comprimento, que foram colocados em sacos de mudas com substrato arenoso (Figura 3). A irrigação foi realizada diariamente duas vezes ao dia durante 4 meses. Após este período as mudas foram transplantadas para vasos.



Figura 3. Mudanças em estágio inicial de desenvolvimento, logo após a realização da estaquia.

## 4.3 Montagem e Condução do experimento

O experimento foi conduzido em ambiente protegido, na estufa de experimentação do Centro de Pesquisas Vegetais (CEPEVE), localizada na sede da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) na cidade de Recife-PE, coordenadas 8°01'01" S 34°56'39" W (Figura 4).



Figura 4. Local de Condução do experimento, casa de vegetação CEPEVE.

As mudas foram transplantadas para vasos de 5 kg, que foram preenchidos com Neossolo Flúvico, sem problemas de salinidade, conforme descrito anteriormente (Figura 5).



Figura 5. Mudanças de 4 meses transplantadas para os vasos com Neossolo flúvico.

Os tratamentos adotados foram quatro formas de adubação com doses para  $N1 = 80 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $P1 = 60 \text{ kg ha}^{-1}$ : 1) sem dose de nitrogênio e fósforo (N0P0) (tratamento controle), dose de nitrogênio sem dose de fósforo (N1P0); sem dose de nitrogênio com dose de fósforo (N0P1) e dose de nitrogênio com dose de fósforo (N1P1), e cinco níveis de condutividade elétrica na água de irrigação: 0,08; 1,7; 4,8; 8,6 e  $12.5 \text{ dS m}^{-1}$ .

O experimento foi conduzido por 93 dias, em delineamento em blocos ao acaso, com 4 repetições em arranjo fatorial duplo 4x5, totalizando 80 unidades experimentais (Figura 6).

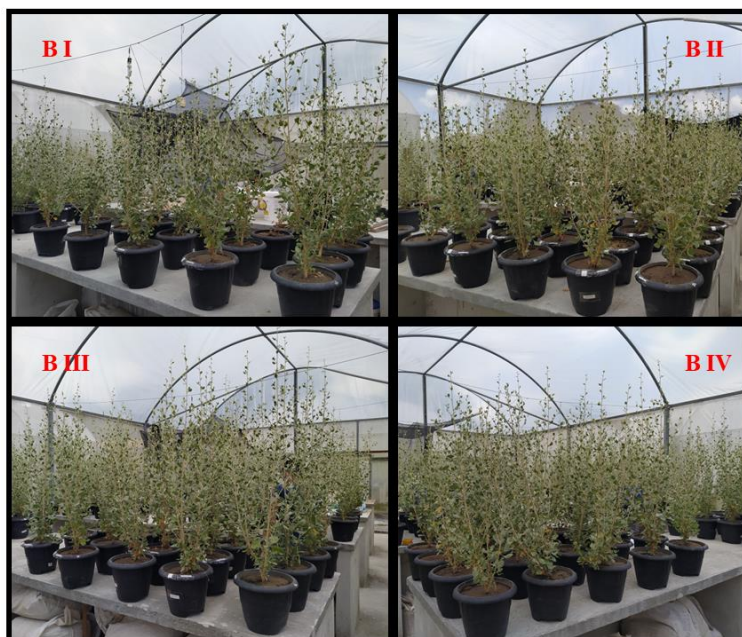


Figura 6. Unidades experimentais aos 93 DAT, BI = Bloco I, BII = Bloco II, BIII = Bloco III, BIV = Bloco IV.

O solo foi adubado antes do transplântio com sulfato de amônio e superfosfato triplo, nas respectivas doses de 80 (N1) e 60 (P1) kg ha<sup>-1</sup>. Na adubação foram colocados 1,38 g de sulfato de amônio e 0,53 g de superfosfato triplo em cada vaso. Esses valores foram calculados levando em consideração duas condições, sendo a primeira que para adubar 1 hectare (ha), nas doses de 80 e 60 kg ha<sup>-1</sup>, são necessários 400 kg de sulfato de amônio, e 153,85 kg de superfosfato triplo. A segunda é que 1 ha possui 2000 plantas levando em conta o espaçamento de 2 m entre plantas e 2,5 m entre fileiras em uma situação real de plantio (Souza et al., 2014). As doses de Nitrogênio e fósforo foram baseadas nos resultados de Cunha et al. (2017).

Para determinar as quantidades dos fertilizantes utilizados por vaso, inicialmente dividiu-se a quantidades de adubo, 400 e 153,85 kg, para cada planta no campo (2000 plantas), obtendo os valores de 200 g de sulfato de amônio e 77 g de superfosfato simples, que seriam colocados em cada planta no campo numa situação real. Em seguida determinou-se a área do vaso neste experimento, e a área compreendida pela planta no campo numa situação real, as respectivas áreas foram 346,36 cm<sup>2</sup>, e 50000 cm<sup>2</sup>



(2\*2,5\*10000). Por último as quantidades dos fertilizantes utilizadas por vaso neste experimento foram determinadas pela Equação 1.

$$QAV (g) = \frac{AV*QAP}{AP} \quad \text{Equação 1.}$$

Onde, QAV é a quantidade de adubo por vaso (g), AV é a área do vaso (cm<sup>2</sup>), QAP é a quantidade de adubo a ser utilizada em cada planta no campo (g), e AP é a área compreendida pela planta (cm<sup>2</sup>).

O tratamento salino foi induzido 13 dias após o transplântio (DAT), de modo que as plantas foram irrigadas com águas de condutividade elétrica nos valores de 0.08, 1.7, 4.8, 8.6, 12.5 dS m<sup>-1</sup>. A irrigação foi realizada diariamente ao final da tarde por meio da pesagem dos vasos. Antes da montagem do experimento foi realizado um teste de capacidade de pote, a fim de determinar a umidade a ser utilizada como base para a irrigação. Ao final optou-se por utilizar 70% da capacidade de pote.

#### 4.4 Preparo da Água de Irrigação

A água de irrigação foi confeccionada utilizando os sais NaCl, CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O, MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, na respectiva proporção 7:2:1 entre Na:Ca:Mg (Tabela 3), de modo a simular as proporções de íons predominantes nas fontes de água, utilizadas para irrigação de pequenas propriedades do nordeste brasileiro. (COSTA & MEDEIROS, 2017).

Tabela 3 Concentração de sais (g L<sup>-1</sup>) para obtenção dos valores de condutividade elétrica das águas de irrigação utilizadas durante a condução do experimento

CE dS m <sup>-1</sup>	Concentração de sais (g L <sup>-1</sup> )			Total g.L <sup>-1</sup>
	NaCl	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	
0,08	-	-	-	-
1,7	0,5936	0,1696	0,0848	0,848
4,8	1,834	0,524	0,262	2,62
8,6	3,64	1,04	0,52	5,2
12,5	5,418	1,548	0,774	7,74

CE: Condutividade elétrica.

## 4.5 Avaliações das Plantas

### 4.5.1. Avaliações biométricas

Durante a condução até o fim do experimento foram avaliadas quinzenalmente a biometria das plantas no que se refere à altura, e diâmetro de caule.

A altura da planta foi mensurada com o auxílio de uma régua graduada, enquanto na determinação do diâmetro de caule se utilizou em paquímetro digital.

### 4.5.2. Potencial Hídrico Foliar (TOTAL) ( $\Psi_w$ )

O acompanhamento do potencial hídrico ocorreu aos 80 DAT, antes do amanhecer ( $\Psi_{pdw}$ ) no local do experimento. Os ramos apicais das plantas foram coletados, e colocados na câmara de Pressão de Scholander (modelo 1515D Pressure Chamber Instrument, PMS Instrument Company, Albany OR, USA) para a determinação do potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ).

### 4.5.3. Potencial Osmótico ( $\Psi_o$ )

A determinação do potencial osmótico foi nas mesmas folhas utilizadas para o acompanhamento do potencial hídrico, 80 DAT. Estas folhas foram maceradas com nitrogênio líquido até obtenção da seiva. Esta foi filtrada e acondicionada a microtubos de 2 mL, que posteriormente foi centrifugada (10.000 g por 10 min a 4°C) até a decantação dos resíduos vegetais e obtenção do sobrenadante translúcido. Deste sobrenadante foi coletada uma alíquota de 10  $\mu$ L para determinação da osmolalidade com o auxílio do osmômetro de pressão de Vapor (VAPRO, Modelo 5600).

Após a obtenção do valor da osmolalidade em mol por quilograma, o potencial osmótico das plantas ( $\Psi_o$ ) foi estimado pela equação de Van't Hoff (Equação 2) (MELO et al., 2018; SOUZA et al., 2012).

$$\Psi_o(MPa) = -RTC = RdwTC \quad \text{Equação 2.}$$

Onde  $R$  é a constante universal dos gases ( $8.314 \cdot 10^{-6}$  MPa m<sup>3</sup> mol<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>);  $dw = 1000$  kg m<sup>-3</sup>  $T$  é a temperatura absoluta (K), e  $C$  é a concentração do soluto expressa em mol kg<sup>-1</sup> (MELO et al., 2018).

#### **4.5.4. Ajustamento Osmótico**

Na realização da análise do ajustamento osmótico foram selecionados ramos do terço médio das plantas de cada tratamento. Destes ramos foram coletadas folhas, que foram acondicionadas e transportadas para o laboratório de Física do Solo localizado no Departamento de Agronomia do Campus SEDE da Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde foram submetidas a saturação ao escuro por um período de 24h para atingirem pleno turgor.

Após atingir o turgor, o excesso de água na folha foi retirado por meio de papel toalha e posteriormente a folha foi macerada em nitrogênio líquido. Em seguida a seiva foi extraída, filtrada e centrifugada a 10.000 g por 15 minutos a 4°C. Ao final o sobrenadante foi coletado. Deste sobrenadante retirou-se uma alíquota de 10 µL para determinação da osmolalidade com o auxílio do osmômetro de pressão de Vapor (VAPRO, Modelo 5600).

As leituras obtidas no osmômetro por pressão de vapor são dadas em mmol kg<sup>-1</sup> e convertidos em MPa partir da equação de Van't Hoff, conforme Equação 2. O ajustamento osmótico foi obtido a partir da equação 3 (BLUM, 1989).

$$AO_{total} = \Psi_{ne}^{100} - \Psi_e^{100} \quad \text{Equação 3.}$$

Em que,  $AO_{total}$  é o ajustamento osmótico total,  $\Psi_{ne}^{100}$  é o potencial osmótico das plantas que não foram submetidas ao estresse salino a pleno turgor e  $\Psi_e^{100}$  o potencial osmótico das plantas submetidas ao estresse salino a pleno turgor.

#### **4.5.5 Fluorescência da Clorofila**

Os valores de fluorescência inicial ( $F_0$ ), fluorescência máxima ( $F_m$ ), fluorescência variável ( $F_v$ ), eficiência quântica fotoquímica do fotossistema II ( $F_v / F_m$ ), e eficiência de conversão de energia ( $F_v / F_0$ ) foram avaliados aos 91 DAT utilizando o fluorômetro (Marca: Fluorpen, Modelo: FP-100). A análise ocorreu entre as 9 e 11 h da manhã com a

folhas aclimatadas no escuro durante um período de 30 min por meio do um pinçamento (MELO et al., 2017; MONTEIRO et al., 2018; SOUZA et al., 2021)

#### **4.5.6 Preparo Das Amostras Para Determinação Da Composição Mineral**

Ao final do experimento a parte aérea foi coletada, de forma que as plantas foram cortadas próximas a superfície do solo, e posteriormente separadas em folhas, e caules. As raízes foram coletadas com água corrente até completa remoção do solo e secas com papel toalha. Os materiais vegetais, folhas, e caules foram pesados para obtenção da massa fresca, e posteriormente junto com as raízes colocados em estufa de circulação forçada de ar 65 °C, até que o peso se manteve constante para determinação do peso da massa seca.

#### **4.5.7 Composição Mineral das Partes das Plantas**

As massas secas de folha, caule e raiz foram moídas em moinho tipo Willey, e realizada a digestão sulfúrica (SILVA, 2009). A determinação de nitrogênio foi pelo método de Kjeldahl (SILVA, 2009), onde o extrato vegetal digerido foi transferido para o destilador semi-micro Kjeldahl. A amostra destilada foi titulada com solução de ácido sulfúrico para determinação no N total. A determinação dos teores de sódio e potássio foram efetuadas por fotometria de emissão de chama.

Com os dados de produção de matéria seca e dos teores dos elementos na folha, caule e raiz, foram calculados os conteúdos extraídos pela planta.

### **4.6 Avaliação do Solo**

#### **4.6.1 Análise do Solo no Final do experimento (Caracterização Final)**

Ao final do experimento, 93 DAT, foi coletada uma amostra de cada vaso, de modo que foi retirada 1 kg de solo do centro do vaso. Posteriormente foi realizada a caracterização química no solo para avaliar o efeito do cultivo da *Atriplex nummularia* sobre os atributos químicos do solo. Os atributos avaliados foram condutividade elétrica, bases solúveis ( $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ), e Nitrogênio total.

#### **4.7 Análise Estatística dos Dados**

Após os testes de premissas (homogeneidade de variâncias e normalidade), os resultados obtidos por meio das análises de solo e plantas foram submetidos a análise de estatística descritiva por meio de medidas de tendência central e de dispersão. Além disso foram efetuadas análise de variância, e teste de comparação de média pelo software R, adotando-se o nível de probabilidade de 5%.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Condutividade Elétrica Final do Solo

A condutividade elétrica do extrato de saturação foi afetada significativamente ( $p < 0,05$ ) pela indução de sais via água de irrigação. Os resultados demonstram que a elevação dos níveis salinos provocou o aumento dos valores de condutividade elétrica do extrato de saturação, independentemente dos tratamentos com nitrogênio ou fósforo utilizados (Tabela 4).

Tabela 4 Análise de variância para condutividade elétrica do solo cultivado com *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIACÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	191,165	0,617 ns
Salinidade (S)	4	2434,360	7,855 **
M x S	12	135,004	0,436 ns
CV (%)	11,34		

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

O coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9572$  comprova que a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) teve resposta linear crescente, à medida que os níveis salinos da água de irrigação aumentaram. Deste modo é possível afirmar que maiores níveis salinos da água de irrigação resultaram em maiores valores de (CE) (Figura 7).

Apesar da irrigação do tratamento salino controle  $0,08 \text{ dS m}^{-1}$  ocorrer com água de torneira que contém uma mínima quantidade de sais, a equação linear obtida no experimento,  $Y = 2,3789CE + 2,3529$ , comprova que em sistemas fechados, em que não há drenagem, a irrigação pode elevar a salinidade do solo, uma vez que no presente experimento, inicialmente a condutividade elétrica era  $1,51 \text{ dS m}^{-1}$  e adquiriu um valor médio de  $2,5432 \text{ dS m}^{-1}$  ao final do experimento para o tratamento salino controle (Figura 7).

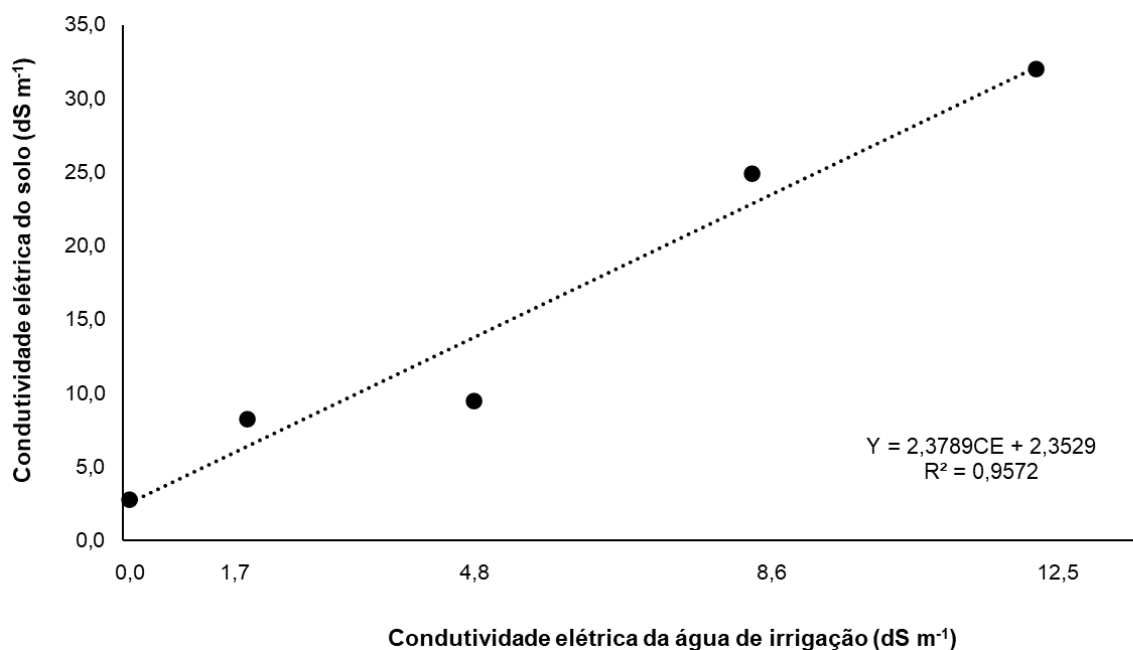


Figura 7 Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo cultivado com *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

## 5.2. Crescimento das Plantas de *Atriplex nummularia*

### 5.2.1. Altura das plantas

Não foi observada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na altura das plantas de *Atriplex nummularia*, quando manejadas com nitrogênio e fósforo, e submetidas aos níveis salinos na água de irrigação. Não foi verificado efeito interativo ( $p < 0,05$ ) entre os manejos e os níveis salinos (Tabela 5).

Tabela 5 Análise de variância para altura das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIACÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	918,477	2,334 ns
Salinidade (S)	4	553,784	1,408 ns
M x S	12	228,280	0,580 ns
CV (%)	22,65		

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

### 5.2.2. Massa fresca e Massa seca

As massas seca da folha, e do caule, foram afetadas ( $p < 0,05$ ) pela alteração dos níveis salinos na água de irrigação, e pelos manejos com nitrogênio e fósforo, todavia a massa seca da raiz não apresentou tal diferença ( $p < 0,05$ ), mesmo com a elevação dos níveis salinos, e mudanças nos manejos de nitrogênio e fósforo, também não foi verificado efeito interativo entre os tratamentos manejo e níveis salinos (Tabela 6).

Tabela 6 Análise de variância para massa seca da folha, caule e raiz das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

Fontes de variação	GL	Fc		
		Folha	Caule	Raiz
Manejo (M)	3	5,517**	3,482*	2,632 ns
Salinidade (S)	4	2,947*	8,216**	0,333 ns
M x S	12	0,583 ns	0,480 ns	1,114 ns
CV (%)		22,82	24,69	40,44

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

O resultado do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,7257$  indica que a massa seca da folha da *Atriplex nummularia* assumiu um comportamento quadrático quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação, enquanto o coeficiente angular negativo - 0,061 indica a concavidade da parábola voltada para baixa (Figura 8).

A derivada primeira  $f(CE)' = -0,122CE + 0,5462$  de  $f(CE) = -0,061CE^2 + 0,5462CE + 18,394$  fornece o valor de  $4,4770 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f(CE)''$  de  $f(CE)$  para o valor de  $4,4770 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a -0,122, tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $4,4770 \text{ dS m}^{-1}$  é um ponto de máximo, ou seja, a partir desta condutividade os valores de massa seca da folha começaram a reduzir (Figura 8).



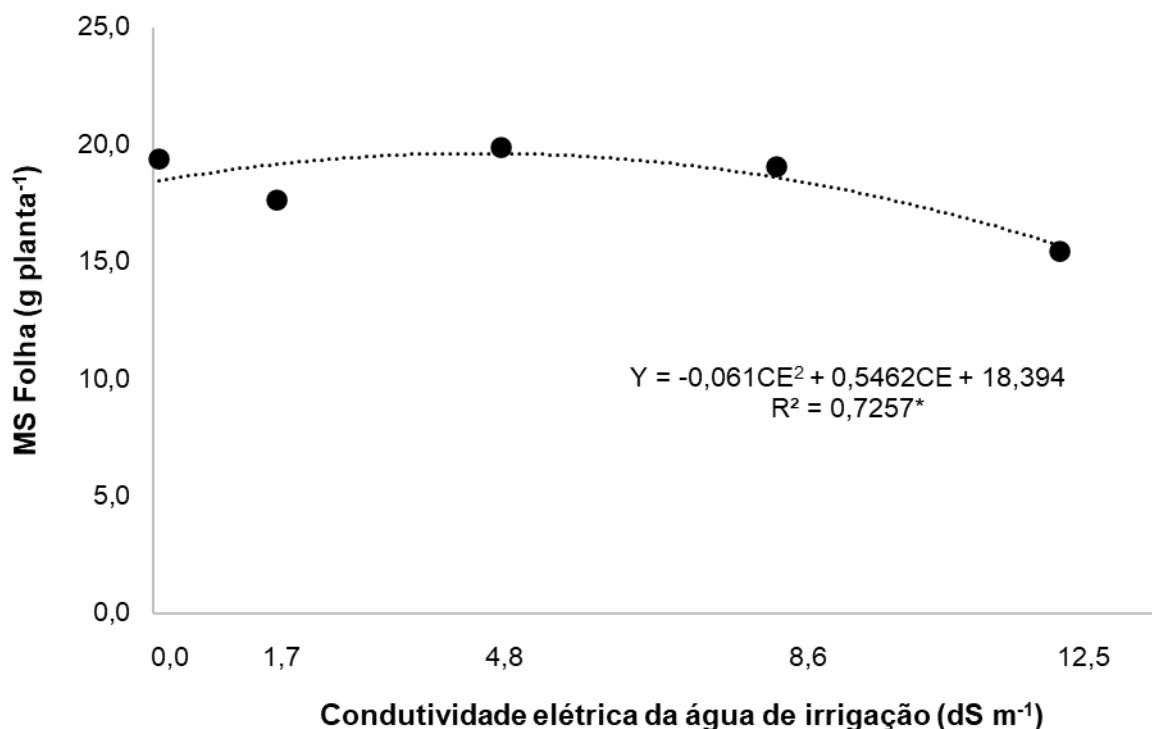


Figura 8 Massa seca de folha de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

O nível salino de 4,8 dS m<sup>-1</sup> da condutividade elétrica da água de irrigação foi responsável pela maior produção de massa seca das folhas das plantas de *Atriplex nummularia* (Figura 8). Portanto neste estudo esta planta teve melhor desenvolvimento em termos de massa seca da folha numa condição de salinidade do solo por volta de 13,77 dS m<sup>-1</sup> (Figura 7).

Os valores de massa seca das folhas demonstram, que a planta sentiu a alteração na condutividade elétrica da água de irrigação, tendo uma diminuição do seu desenvolvimento foliar nas condições de alta condutividade elétrica do solo. Entretanto conseguiu produzir massa seca foliar, tal resultado indica a capacidade de *Atriplex nummularia* em produzir matéria seca em ambiente salino sendo este um importante indicador da tolerância da espécie à salinidade (MUNNS et al., 2020).

Os manejos com nitrogênio e fósforo apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ), de modo que a aplicação de nitrogênio (N80P0), assim como a aplicação de nitrogênio e fósforo (N80P60), não apresentaram diferença entre si, mas diferiram dos demais tratamentos (N0P0), e (N0P60) (Figura 9).

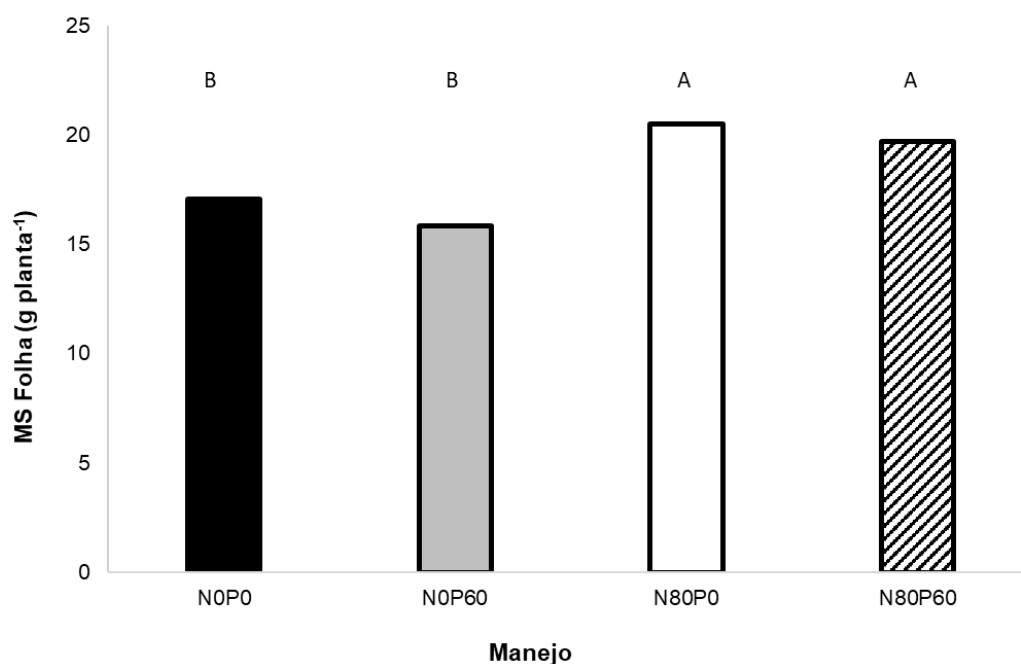


Figura 9 Massa seca da folha de *Atriplex nummularia*, sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT.

Nos tratamentos sem nitrogênio (N0P0 e N0P60) as produções de massa seca da folha foram inferiores em comparação com os tratamentos que receberam nitrogênio (N80P0 e N80P60), logo a aplicação de nitrogênio foi benéfica para o parâmetro massa seca da folha nas plantas de *Atriplex nummularia*.

Em contrapartida não foi observada diferença entre os tratamentos com fósforo, tal resultado pode ser explicado pela alta presença de fósforo na caracterização inicial do solo, logo como o solo já era rico em fósforo o tratamento não apresentou o efeito esperado.

Os resultados do presente estudo corroboram com a pesquisa de Cunha et al. (2017), que trabalharam com *Atriplex nummularia* sob condição de fertilização com nitrogênio e fósforo, utilizando as doses de 0 e 134 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo e 0, 20, 40, 60, and 80 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio, os autores observaram que a fertilização com nitrogênio elevou a produção de massa seca da planta em todas as doses observadas, contudo quando aplicadas as doses fósforo o mesmo reduziu as produções de massa seca.

A massa seca do caule apresentou tendência quadrática  $R^2 = 0,9810$ , quando os níveis salinos da água de irrigação foram elevados, e assim como a massa seca da folha,

o valor do coeficiente angular foi negativo - 0,0944 indicando a concavidade da parábola inclinada para baixo (Figura 10).

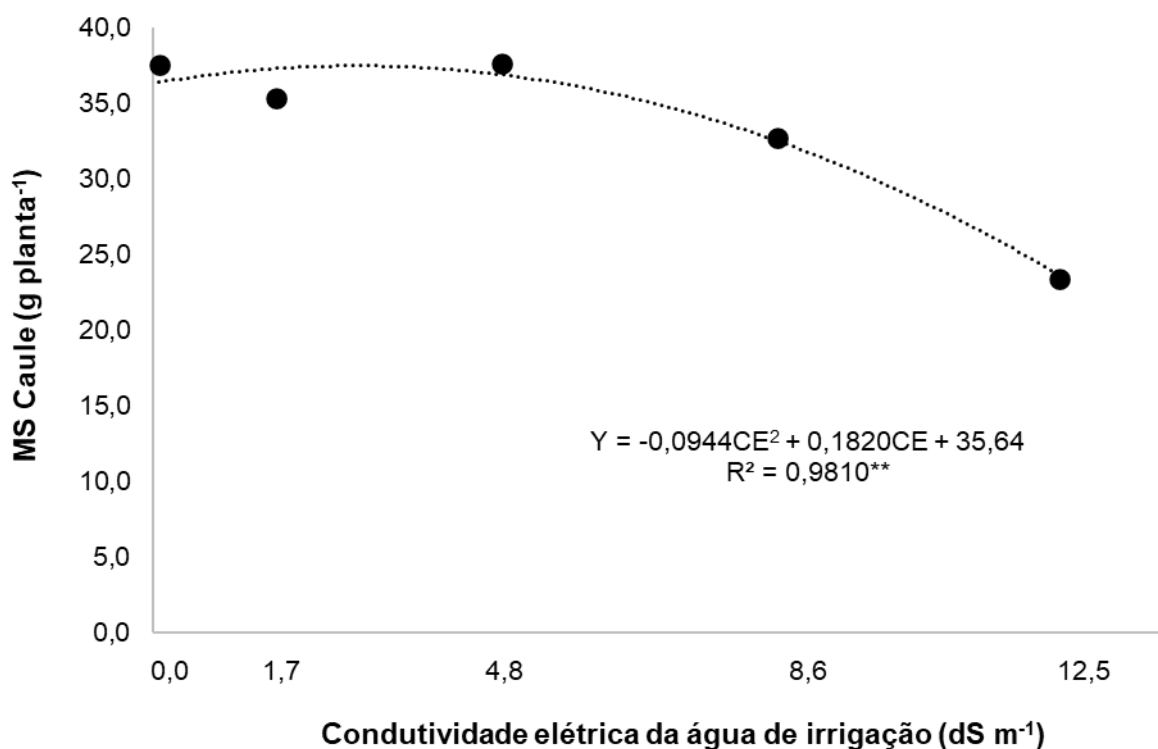


Figura 10 Massa seca do caule de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

A derivada primeira  $f'(CE) = -0,1888CE + 0,1820$  de  $f(CE) = -0,0944CE^2 + 0,1820CE + 35,64$  fornece o valor de  $0,9640 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f''(CE)$  de  $f(CE)$  para o valor de  $0,9640 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-0,1888$ , tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $0,9640 \text{ dS m}^{-1}$  é um ponto de máximo, ou seja, a partir desta condutividade os valores de massa seca do caule começaram a reduzir (Figura 8).

O nível salino de  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$  apresentou os maiores valores de massa seca do caule da *Atriplex nummularia*, desse modo em comparação com os valores de massa seca da folha, a massa seca do caule apresentou maior sensibilidade a elevação dos níveis salinos na água de irrigação, pois a redução de seu valor ocorreu em menor condutividade elétrica da água de irrigação.

Os manejos com nitrogênio e fósforo apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ), de modo que a aplicação de nitrogênio (N80P0), assim como a aplicação de nitrogênio e fósforo

(N80P60), não apresentaram diferença entre si, mas diferiram dos demais tratamentos (N0P0), e (N0P60) (Figura 11).

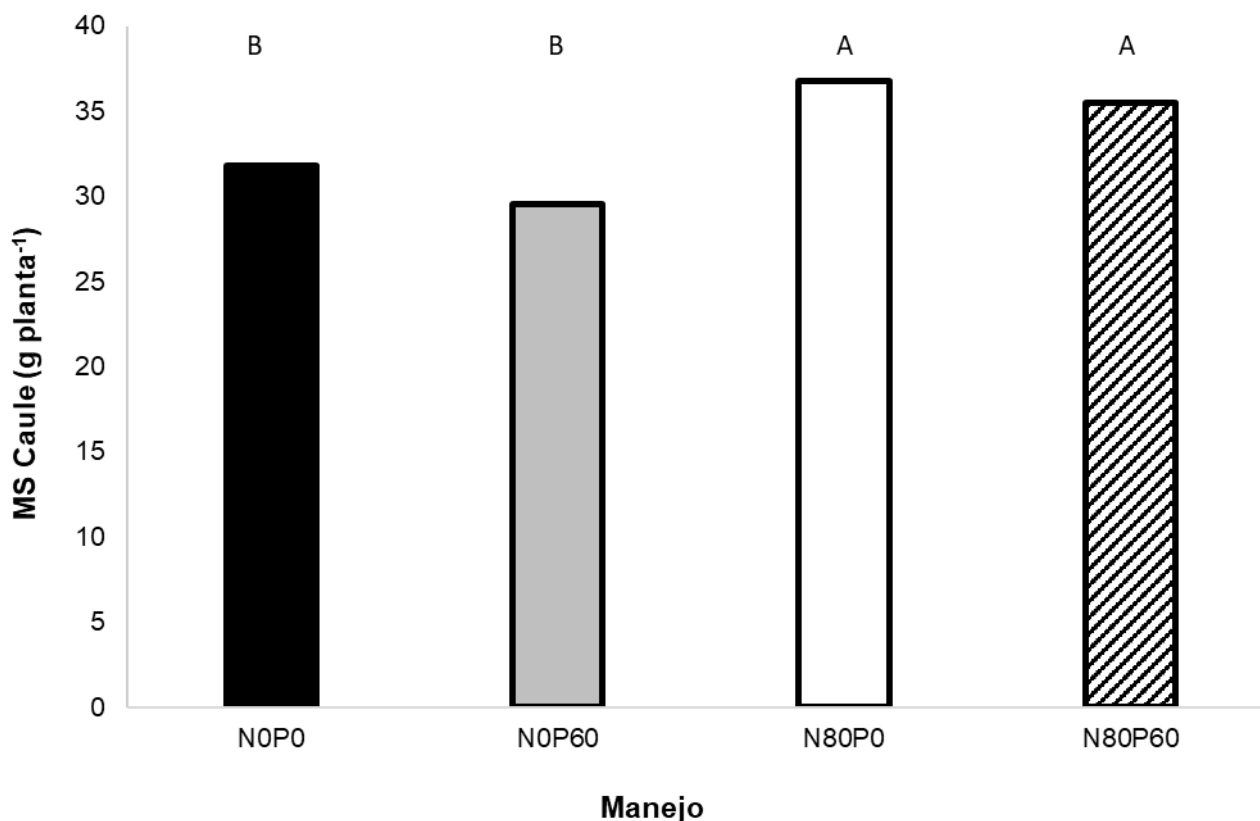


Figura 11 Massa seca de caule de *Atriplex nummularia*, sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT.

Nos tratamentos que receberam nitrogênio (N80P0 e N80P60) as produções de massa seca do caule foram superiores em comparação com os tratamentos sem nitrogênio (N0P0 e N0P60). O tratamento que recebeu apenas nitrogênio (N80P0) apresentou os maiores valores de massa seca do caule, sendo o valor médio 36,75 g planta<sup>-1</sup>, portanto a aplicação de nitrogênio foi benéfica para o parâmetro massa seca do caule nas plantas de *Atriplex nummularia* neste estudo.

De forma similar ao observado na massa seca da folha os menores valores de massa seca do caule foram observados nos tratamentos sem nitrogênio e que receberam fósforo, logo é nítido que o excesso de fósforo é prejudicial ao desenvolvimento da massa

seca de plantas de *Atriplex nummularia*, podendo inclusive reduzir o efeito nutricional de outros nutrientes como o nitrogênio.

As massas frescas da folha, e do caule, foram afetadas ( $p < 0,05$ ) pela alteração dos níveis salinos na água de irrigação, e pelos manejos com nitrogênio e fósforo, todavia não foi verificado efeito interativo entre os tratamentos manejo e níveis salinos da condutividade elétrica da água de irrigação (Tabela 7).

Tabela 7 Análise de variância para massa fresca da folha e caule das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

Fontes de variação	GL	Fc	
		Folha	Caule
Manejo (M)	3	4,056 *	3,567 *
Salinidade (S)	4	3,380 *	10,324 **
M x S	12	0,528 ns	0,509 ns
CV (%)		24,28	23,88

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

O resultado do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9984$  indica que a massa seca da folha da *Atriplex nummularia* assumiu um comportamento quadrático quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação, enquanto o coeficiente angular negativo - 0,1846 indica a concavidade da parábola voltada para baixa (Figura 12).

A derivada primeira  $f(CE)' = -0,3692CE + 2,532$  de  $f(CE) = -0,1846CE^2 + 2,532CE + 67,42$  fornece o valor de 6,8581  $dS\ m^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f(CE)''$  de  $f(CE)$  para o valor de 6,8581  $dS\ m^{-1}$  é igual a -0,3692, tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação 6,8581  $dS\ m^{-1}$  é um ponto de máximo, ou seja, a partir desta condutividade os valores de massa seca da folha começaram a reduzir (Figura 12).

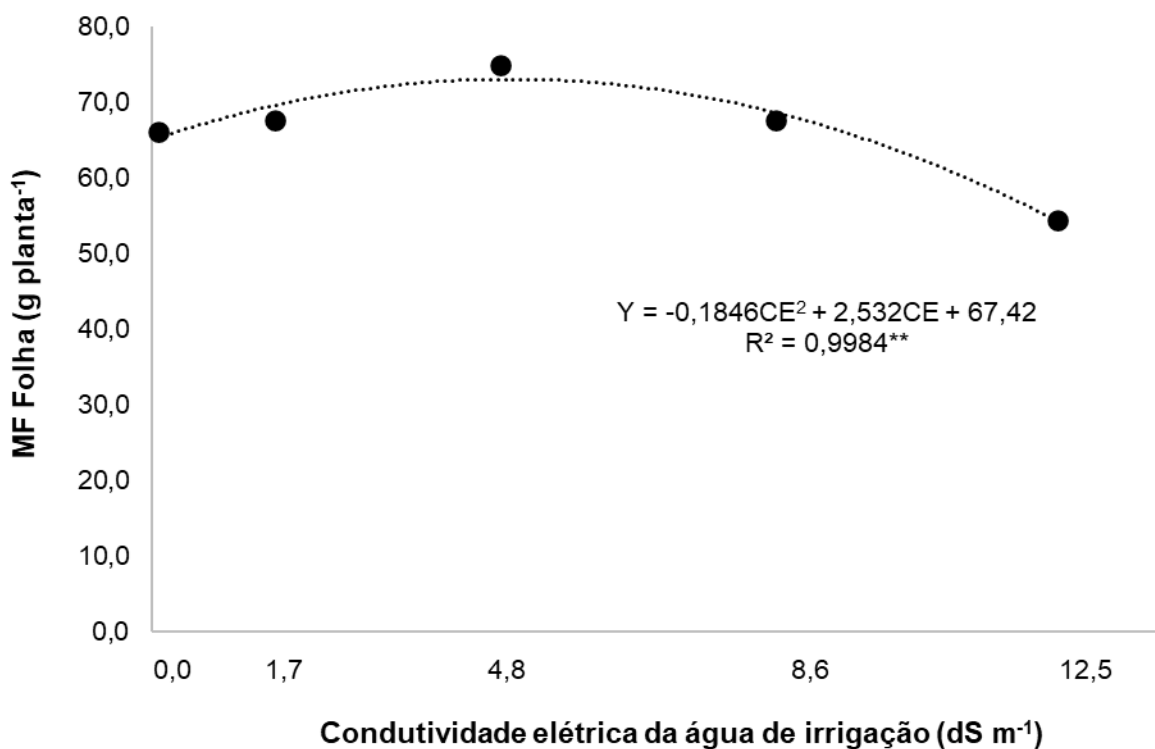


Figura 12 Massa fresca da folha de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

O nível salino de 4,8 dS m<sup>-1</sup> da condutividade elétrica da água de irrigação foi responsável pela maior produção de massa seca das folhas das plantas de *Atriplex nummularia* no presente estudo (Figura 12). Ao utilizar a derivada segunda observou-se que para uma máxima produção de massa fresca da folha de *Atriplex nummularia* nestas condições estudadas é indicado utilizar a condutividade elétrica na água de irrigação de 6,8581 dS m<sup>-1</sup>.

Ao utilizar a fórmula obtida na figura 7,  $Y = 2,3789CE + 2,3529$ , supõe-se que para a condutividade elétrica da água de irrigação de 6,8581 dS m<sup>-1</sup>, a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo seria 18,6676 dS m<sup>-1</sup>. Assim numa condutividade elétrica do extrato de saturação de 18,6676 dS m<sup>-1</sup> a *Atriplex nummularia* teria a maior produção de massa fresca da folha, levando em consideração as condições do presente estudo.

Os manejos com nitrogênio e fósforo apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ), de modo que a aplicação de nitrogênio (N80P0), assim como a aplicação de nitrogênio e fósforo (N80P60), não apresentaram diferença entre si, mas diferiram dos demais tratamentos (NOP0), e (NOP60) (Figura 13).

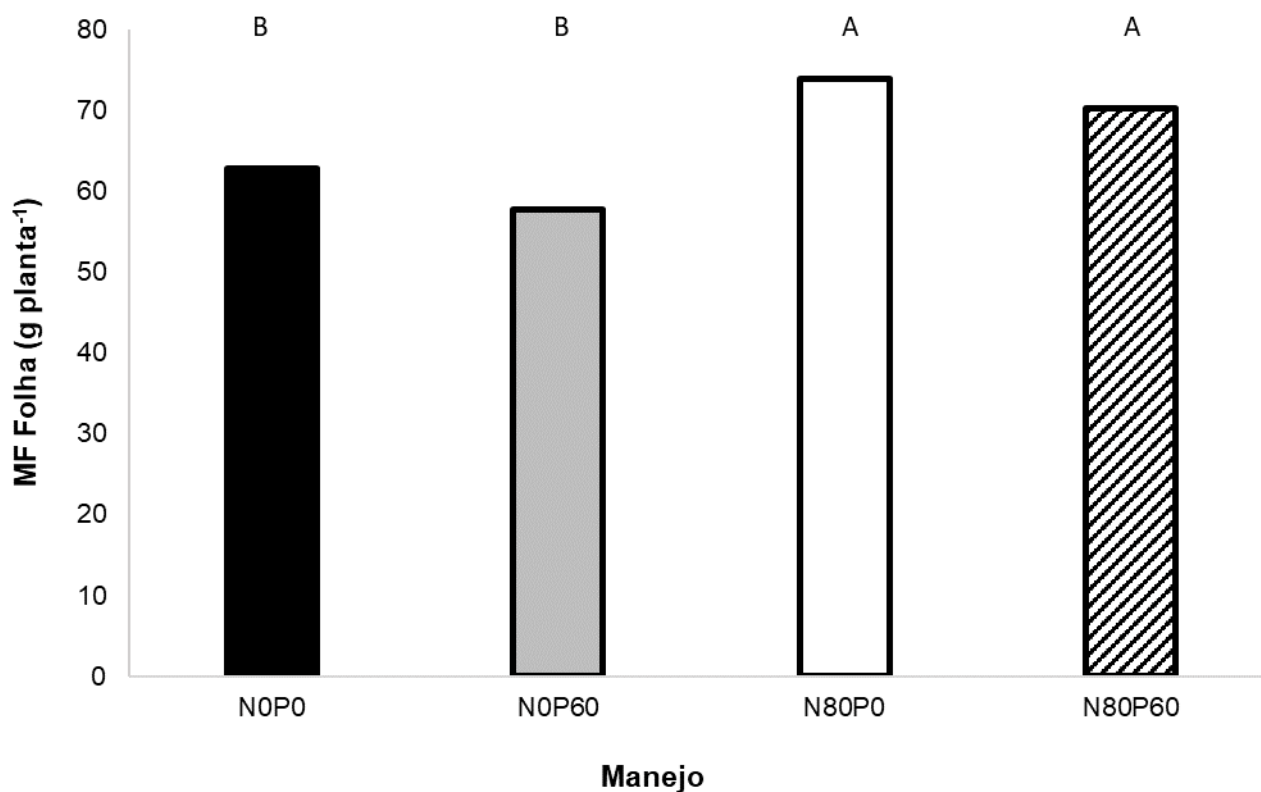


Figura 13 Massa fresca de folha de *Atriplex nummularia*, sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT.

Nos tratamentos que receberam nitrogênio (N80P0 e N80P60), as produções de massa fresca da folha foram superiores em comparação com os tratamentos sem nitrogênio (N0P0 e N0P60). O tratamento que recebeu apenas nitrogênio (N80P0) apresentou os maiores valores de massa fresca da folha, sendo o valor médio 73,81 g planta<sup>-1</sup>, portanto a aplicação de nitrogênio foi benéfica para o parâmetro massa fresca da folha nas plantas de *Atriplex nummularia* neste estudo.

A massa fresca do caule apresentou tendência quadrática  $R^2 = 0,9693$  quando os níveis salinos da água de irrigação foram elevados, e assim como a massa seca da folha, o valor do coeficiente angular foi negativo  $-0,2916$  indicando a concavidade da parábola inclinada para baixo (Figura 14).

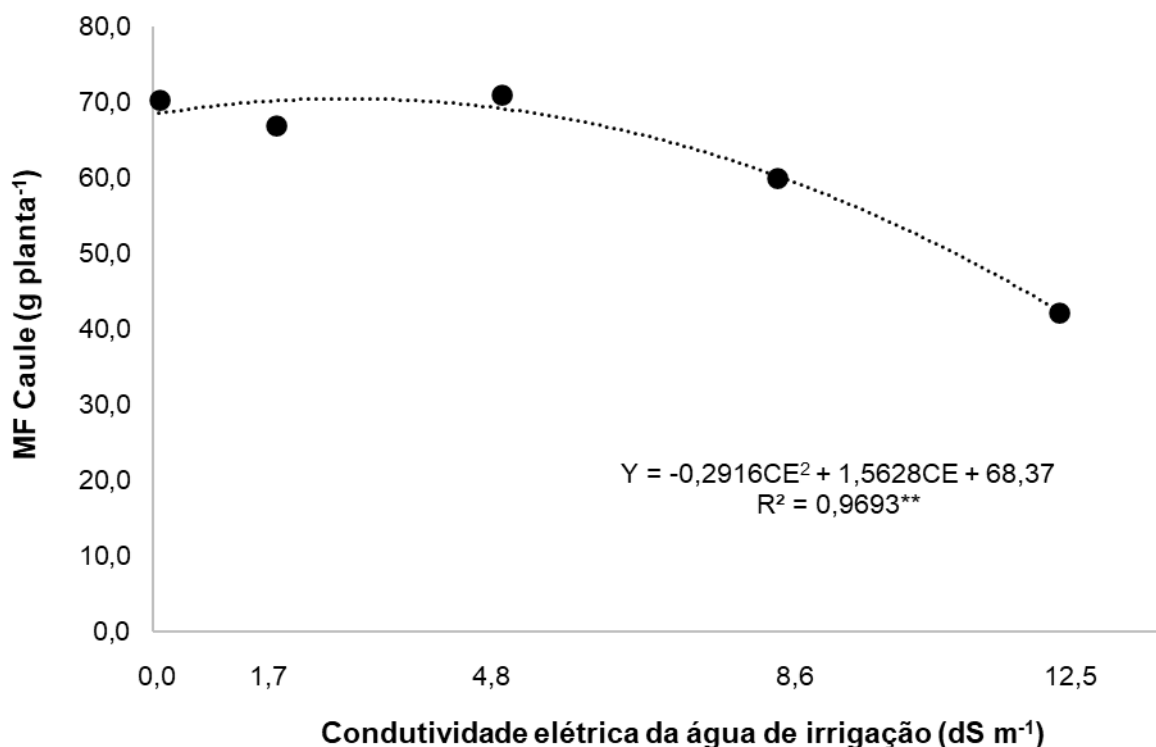


Figura 14 Massa fresca de caule de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

A derivada primeira  $f'(CE) = -0,5832CE + 1,5628$  de  $f(CE) = -0,2916CE^2 + 1,5628CE + 68,37$  fornece o valor de  $2,6797 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f''(CE)$  de  $f(CE)$  para o valor de  $2,6797 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-0,5832$ , tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $2,6797 \text{ dS m}^{-1}$  é um ponto de máximo, ou seja, a partir desta condutividade os valores de massa fresca do caule começaram a reduzir (Figura 14).

O nível salino de condutividade elétrica da água de irrigação de  $4,8 \text{ dS m}^{-1}$  apresentou os maiores valores de massa fresca do caule da *Atriplex nummularia*, assim foi observado com os valores de massa fresca da folha. Portanto é possível afirmar que a condutividade elétrica da água de irrigação de  $4,8 \text{ dS m}^{-1}$  em relação a massa fresca da parte aérea proporcionou as maiores produções.

Os manejos com nitrogênio e fósforo apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ), de modo que a aplicação de nitrogênio (N80P0), assim como a aplicação de nitrogênio e fósforo (N80P60), não apresentaram diferença entre si, mas diferiram dos demais tratamentos (N0P0), e (N0P60) (Figura 15).



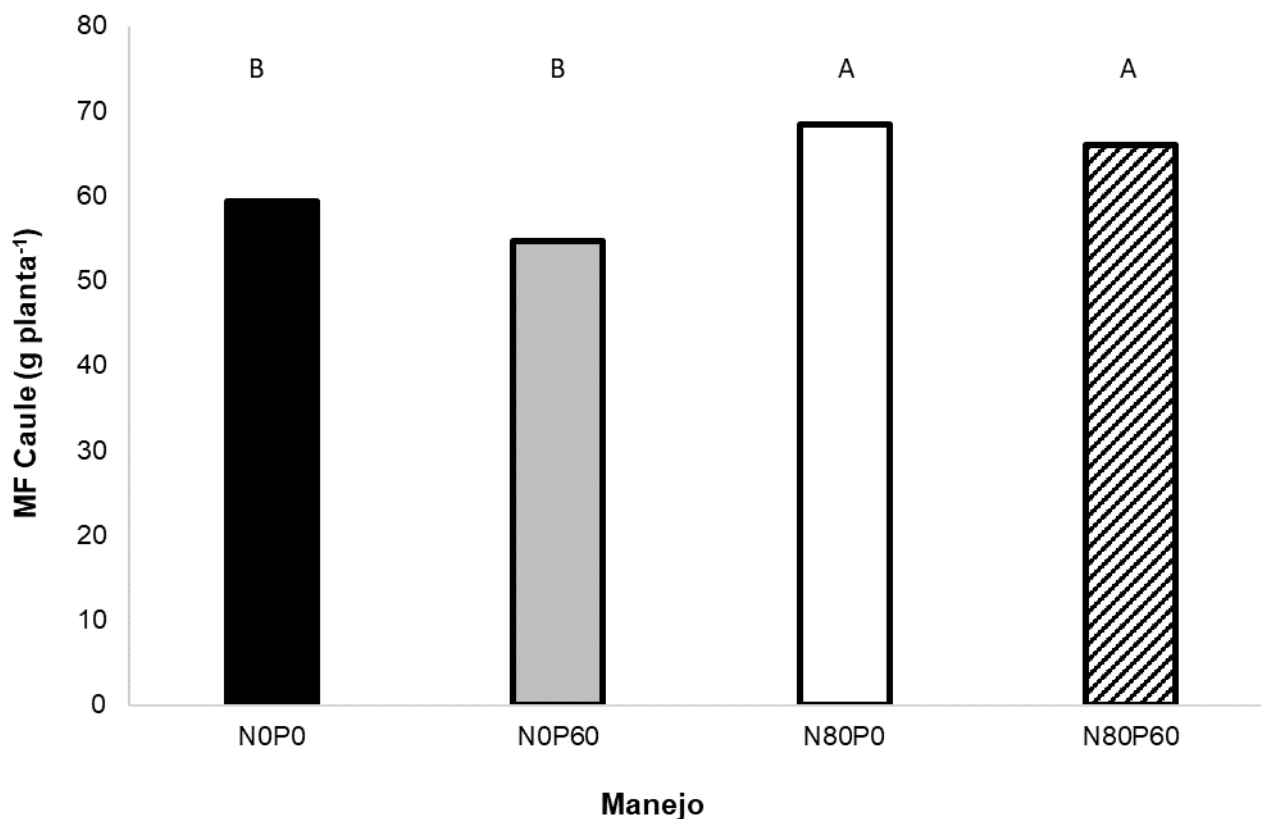


Figura 15 Massa fresca de caule de *Atriplex nummularia*, sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT.

Nos tratamentos sem nitrogênio (N0P0 e N0P60) as produções de massa fresca do caule foram inferiores em comparação com os tratamentos que receberam nitrogênio (N80P0 e N80P60), logo a aplicação de nitrogênio foi benéfica para o parâmetro massa fresca do caule nas plantas de *Atriplex nummularia*.

O tratamento que recebeu apenas nitrogênio (N80P0) apresentou os maiores valores de massa fresca do caule, sendo o valor médio 68,36 g planta<sup>-1</sup>, enquanto que no tratamento que recebeu apenas fósforo (N0P60) verificou-se o menor valor médio de massa fresca do caule 54,63 g planta<sup>-1</sup>.

Analisando de maneira geral os dados de massa fresca e seca das partes folha e caule da *Atriplex nummularia* observa-se que a condutividade elétrica da água de irrigação de 4,8 dS m<sup>-1</sup> promoveu os melhores resultados em termos de produção de massa fresca e seca, e que os tratamentos que receberam nitrogênio apresentaram valores superiores aos outros tratamentos. Logo pode-se inferir que uma irrigação com água de 4,8 dS m<sup>-1</sup>, aliada à fertilização com nitrogênio é recomendável para o cultivo de *Atriplex nummularia* sob condições similares ao presente estudo.

### 5.3. Teor mineral no tecido vegetal

A concentração de sódio nas folhas, caule, e raiz foram afetadas ( $p < 0,05$ ) pela alteração dos níveis salinos na água de irrigação, contudo os manejos com nitrogênio e fósforo não apresentaram tal diferença ( $p < 0,05$ ), mesmo com a elevação dos níveis salinos, e mudanças nos manejos de nitrogênio e fósforo, também não foi verificado efeito interativo entre os tratamentos manejo e níveis salinos (Tabela 8).

Tabela 8 Análise de variância para concentração de sódio (Na) nas folhas, caule, e raiz das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

Fontes de variação	GL	Fc		
		Folha	Caule	Raiz
Manejo (M)	3	1,143 ns	0,394 ns	1,295 ns
Salinidade (S)	4	62,555 **	32,786 **	14,376 **
M x S	12	1,233 ns	0,332 ns	0,663 ns
CV (%)		19,98	34,08	21,28

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

O resultado do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,829$  indica que a massa seca da folha da *Atriplex nummularia* assumiu um comportamento quadrático quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação, enquanto o coeficiente angular negativo  $-0,2465$  indica a concavidade da parábola voltada para baixa (Figura 16).

A derivada primeira  $f(CE)' = -0,493CE + 4,5158$  de  $f(CE) = -0,2465CE^2 + 4,5158CE + 11,115$  fornece o valor de  $9,1598 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f(CE)''$  de  $f(CE)$  para o valor de  $9,1598 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-0,493$ , tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $9,1598 \text{ dS m}^{-1}$  é um ponto de máximo, ou seja, a partir desta condutividade os valores da concentração de sódio na folha começaram a reduzir (Figura 16).

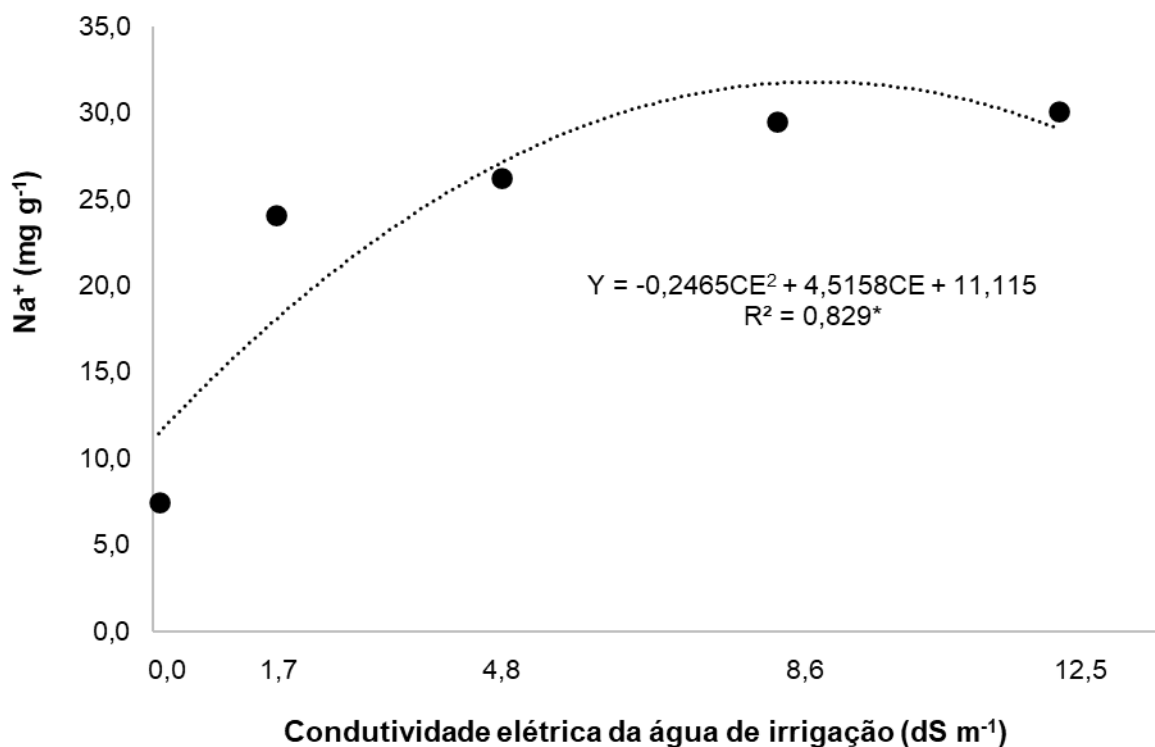


Figura 16 Concentração de sódio (Na) na folha de *Atriplex nummularia*, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

A concentração de sódio na folha das plantas de *Atriplex nummularia* se elevou à medida que as condutividades elétricas da água de irrigação aumentaram, por isso a maiores concentrações de sódio foram verificadas nos maiores níveis salinos, 8,6 dS m<sup>-1</sup>, e 12,5 dS m<sup>-1</sup>. Esse parâmetro, indica que a maior disponibilidade de sódio resulta em maior acúmulo desse íon na folha desta planta.

Por se tratar de uma planta halófito, a *Atriplex nummularia* possui mecanismos adaptativos que permitem seu convívio com ambientes salinos, como regulação, e compartimentalização de íons em estruturas especializadas, e síntese de compostos orgânicos no citoplasma, que protegem os componentes celulares da desidratação, por isso o sódio acaba sendo absorvido, e acumulado em quantidade elevadas nas folhas (QADIR 2007; SOUZA et al.,2012; LINS ET AL., 2019).

A concentração de sódio no caule apresentou comportamento quadrático  $R^2 = 0,838$ , quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação, enquanto o coeficiente angular negativo  $-0,1044$  indica a concavidade da parábola voltada para baixa (Figura 17).

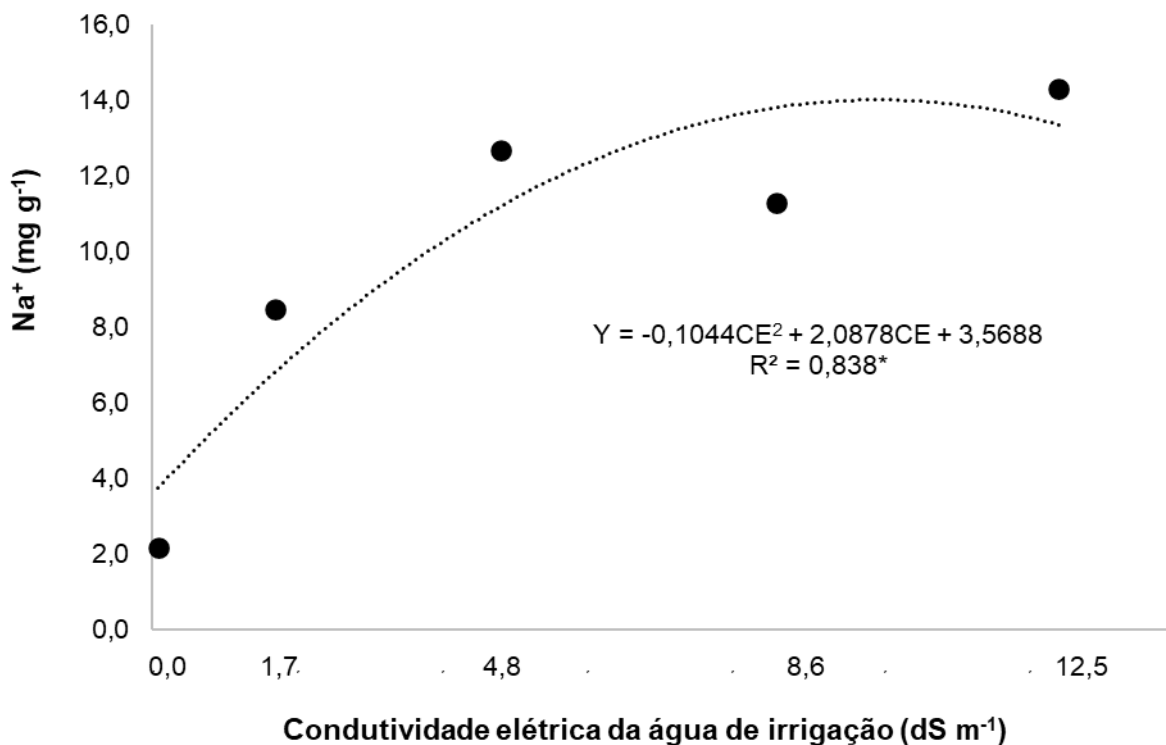


Figura 17 Concentração de sódio (Na) no caule de *Atriplex nummularia*, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

A derivada primeira  $f(CE)' = -0,2088CE + 2,0878$  de  $f(CE) = -0,1044CE^2 + 2,0878CE + 3,5688$  fornece o valor de  $9,1598 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f(CE)''$  de  $f(CE)$  para o valor de  $9,999 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-0,2088$ , tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $9,999 \text{ dS m}^{-1}$  é um ponto de máximo, ou seja, a partir desta condutividade os valores da concentração de sódio no caule começaram a reduzir (Figura 17).

De modo similar aos resultados de concentração de sódio nas folhas, a concentração de sódio no caule aumentou, quando se elevou a condutividade elétrica da água de irrigação deste modo as plantas de *Atriplex nummularia* conseguiram acumular mais sódio no caule quando expostas a maiores disponibilidades de sódio no solo. As menores concentrações de sódio no caule foram observadas nos menores níveis salinos.

A concentração de sódio na raiz apresentou comportamento quadrático  $R^2 = 0,9613$  quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação, enquanto o coeficiente angular negativo  $-0,0515$  indica a concavidade da parábola voltada para baixa (Figura 18).

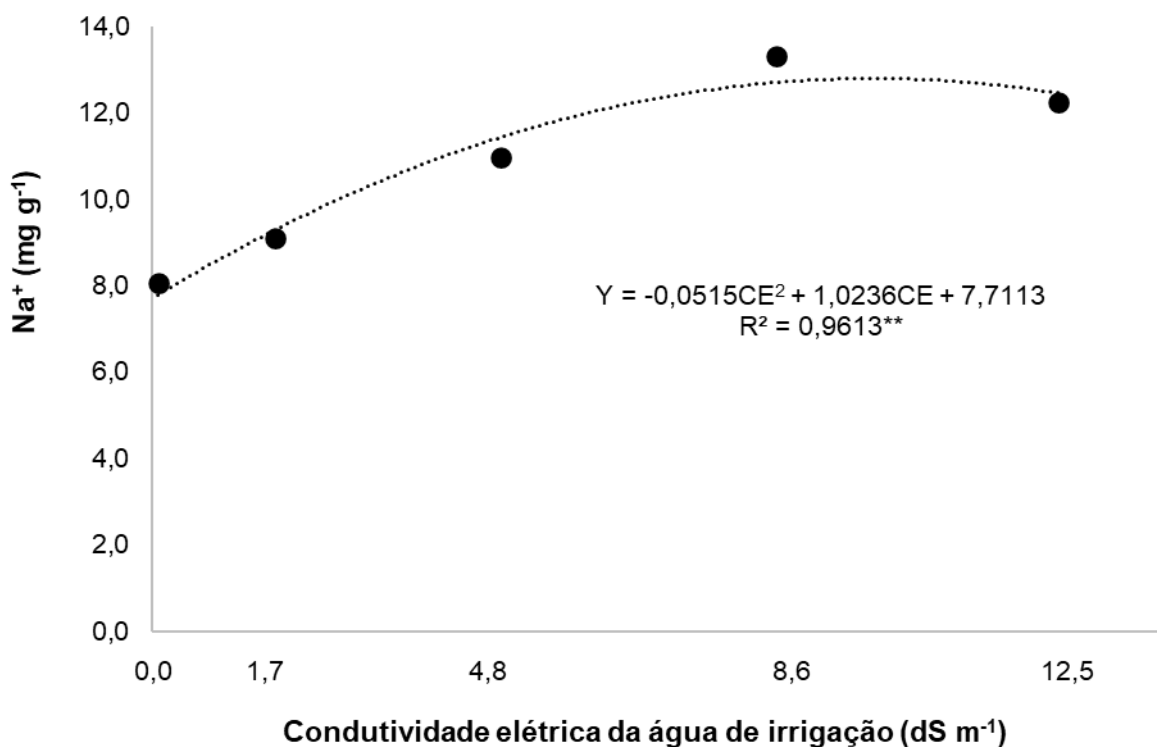


Figura 18 Concentração de sódio (Na) na raiz de *Atriplex nummularia*, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

A derivada primeira  $f(CE)' = -0,103CE + 1,0236$  de  $f(CE) = -0,0515CE^2 + 1,0236CE + 7,7113$  fornece o valor de  $9,1598 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f(CE)''$  de  $f(CE)$  para o valor de  $9,9379 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-0,103$ , tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $9,9379 \text{ dS m}^{-1}$  é um ponto de máximo, ou seja, a partir desta condutividade os valores da concentração de sódio na raiz começaram a reduzir (Figura 18).

Ao observar as concentrações de sódio nas folhas, caule e raiz observa-se que as folhas apresentaram as maiores concentrações, sendo seguidas de caule e raiz. Estes resultados estão de acordo com Souza et al. 2012; e Melo et al. 2016, que trabalharam com a *Atriplex nummularia* e avaliaram o acúmulo de sódio destas plantas sob condições de variação de umidade e fornecimento de nutrientes Na:Ca:Mg. Os autores observaram em seus estudos essa predominância no acúmulo de sódio nas folhas, em comparação com o caule e as raízes.

A concentração de potássio na folha apresentou diferença ( $p < 0,05$ ), quando observados os níveis salinos, contudo tal diferença não foi observada em relação ao manejo com nitrogênio e fósforo. Não foi observada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na concentração de potássio (K) no caule, e na raiz de *Atriplex nummularia*, quando

manejadas com nitrogênio e fósforo, e submetidas aos níveis salinos na água de irrigação. Ademais não foi verificado efeito interativo ( $p < 0,05$ ) entre os manejos e os níveis salinos para as folhas, caule e raiz (Tabela 9).

Tabela 9 Análise de variância para concentração de potássio (K) na folha e caule das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

Fontes de variação	GL	Fc		
		Folha	Caule	Raiz
Manejo (M)	3	2,781 *	1,702 ns	1,665 ns
Salinidade (S)	4	2,812 *	1,069 ns	1,141 ns
M x S	12	1,790 ns	1,262 ns	0,930 ns
CV (%)		22,44	25,91	21,87

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

A concentração de potássio na folha apresentou comportamento quadrático  $R^2 = 0,8891$  quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação, enquanto o coeficiente angular negativo  $0,0973$  indica a concavidade da parábola voltada para cima (Figura 19).

A derivada primeira  $f(CE)' = 0,1946CE + 0,9964$  de  $f(CE) = 0,0973CE^2 - 0,9964CE + 35,552$  fornece o valor de  $5,1202 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f(CE)''$  de  $f(CE)$  para o valor de  $5,1202 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $0,1946$ , tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $5,1202 \text{ dS m}^{-1}$  é um ponto de mínimo, ou seja, a partir desta condutividade os valores da concentração de potássio na folha começaram a eleva-se (Figura 18).

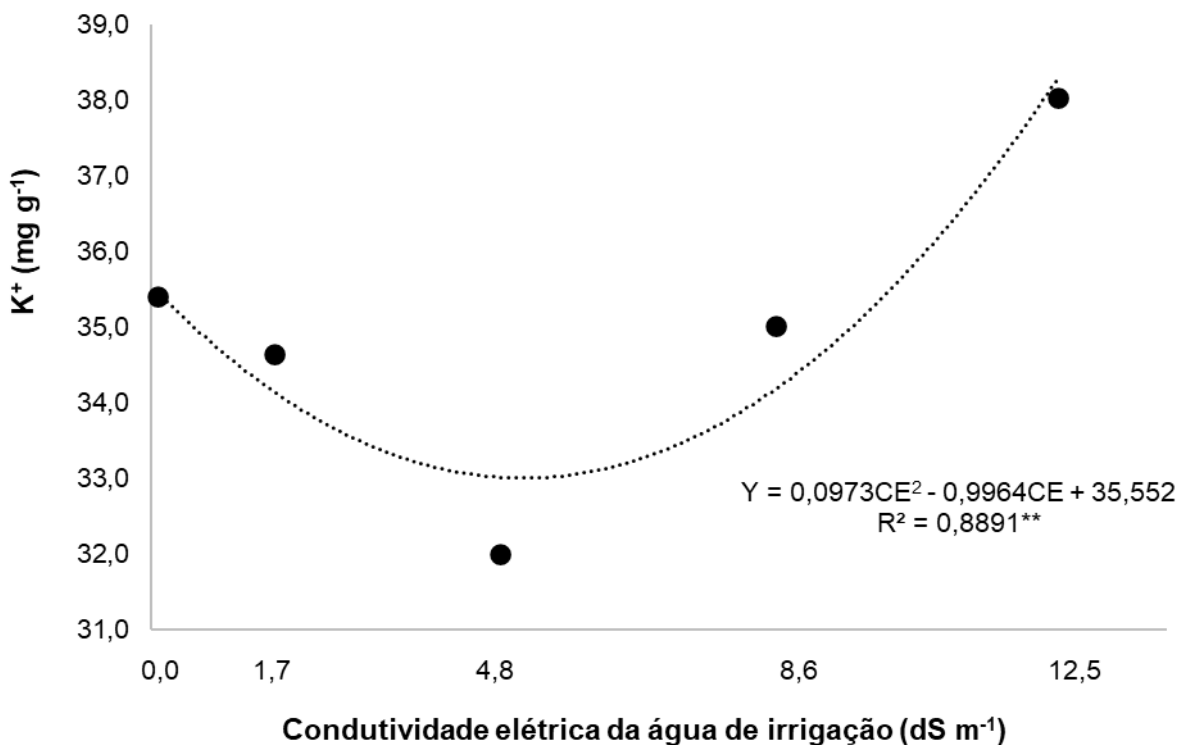


Figura 19 Concentração de potássio (K) na folha de *Atriplex nummularia*, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

Como esperado a *Atriplex nummularia* mostrou uma seletividade pronunciada para absorção de Na<sup>+</sup> sobre K<sup>+</sup>, como refletido pelo acentuado aumento da razão Na/K (Tabela 4). O acúmulo preferencial desse íon nas folhas é consistente com a capacidade dessa espécie de compartimentalizar sódio no vacúolo e seu uso no lugar do K<sup>+</sup> para ajuste osmótico (OA) (IEVINSH, 2020). De fato, os resultados mostraram que o aumento da concentração de Na<sup>+</sup> nas folhas de *Atriplex nummularia* foi concomitante com uma menor absorção de K<sup>+</sup> que se manteve estável com o aumento das concentrações de sais.

Esses resultados estão de acordo com outros estudos que mostram que plantas que crescem em ambiente salinos sofrem de desequilíbrio iônico e deficiência de nutrientes (ASHRAF; HARRIS, 2004). É reconhecido que altas concentrações de Na<sup>+</sup> podem inibir a captação de K<sup>+</sup> (MUNNS; TESTER, 2008). Isso se deve à sua similaridade físico-química, que promove competição iônica por sítios de ligação em transportadores de membrana (BOURAS et al., 2022).

Esses achados fornecem mais evidências sobre a capacidade de *Atriplex nummularia* de substituir K<sup>+</sup> por Na<sup>+</sup> em funções não específicas como ajuste osmótico, acumulando-o no vacúolo (PAULINO et al., 2020). Assim, o K<sup>+</sup> seria preservado para as funções vitais da planta, embora desempenhe um papel importante na expansão das

células particularmente para as jovens folhas. Além disso, pode haver mecanismos para a captação de  $\text{Na}^+$  que não representam um custo para a manutenção do potencial de membrana (MUNNS et al., 2020a).

A salinidade na água de irrigação afetou, ( $p < 0,05$ ) a concentração de nitrogênio nas folhas, caule e raiz das plantas de *Atriplex nummulária*, entretanto não houve diferença ( $p < 0,05$ ) entre os manejos de nitrogênio e fósforo. Não foi verificado efeito interativo entre os tratamentos manejo e níveis salinos (Tabela 10).

Tabela 10 Análise de variância para concentração de nitrogênio (N) na folha e caule das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

Fontes de variação	GL	Fc		
		Folha	Caule	Raiz
Manejo (M)	3	0,349 ns	1,927 ns	1,155 ns
Salinidade (S)	4	4,109 **	4,180 **	3,722 **
M x S	12	0,863 ns	0,944 ns	0,818 ns
CV (%)		27,93	40,47	32,72

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

O resultado do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,7294$  indica que a concentração de nitrogênio na folha da *Atriplex nummularia* assumiu um comportamento quadrático quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação (Figura 20).

A derivada primeira  $f(\text{CE})' = -0,0462\text{CE}^2 + 0,7694\text{CE} - 2,1961$  de  $f(\text{CE}) = -0,0153\text{CE}^3 + 0,3847\text{CE}^2 - 2,1961\text{CE} + 19,897$  fornece os valores de  $3,6576 \text{ dS m}^{-1}$ , e  $12,9961 \text{ dS m}^{-1}$ . A derivada segunda  $f(\text{CE})'' = -0,0924\text{CE} + 0,7694$  da função  $f(\text{CE})$  para o valor de  $3,6576 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $0,4314$ , ou seja, o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $3,6576 \text{ dS m}^{-1}$  é um valor de mínimo, logo a partir desta condutividade os valores da concentração de nitrogênio na folha começaram a aumentar (Figura 20).

A derivada segunda  $f(\text{CE})'' = -0,0924\text{CE} + 0,7694$  da função  $f(\text{CE})$  para o valor de  $12,9961 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-0,4314$ , ou seja, o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $12,9961 \text{ dS m}^{-1}$  é um valor de máximo, logo a partir desta condutividade os valores da concentração de nitrogênio na folha começaram a diminuir (Figura 20).



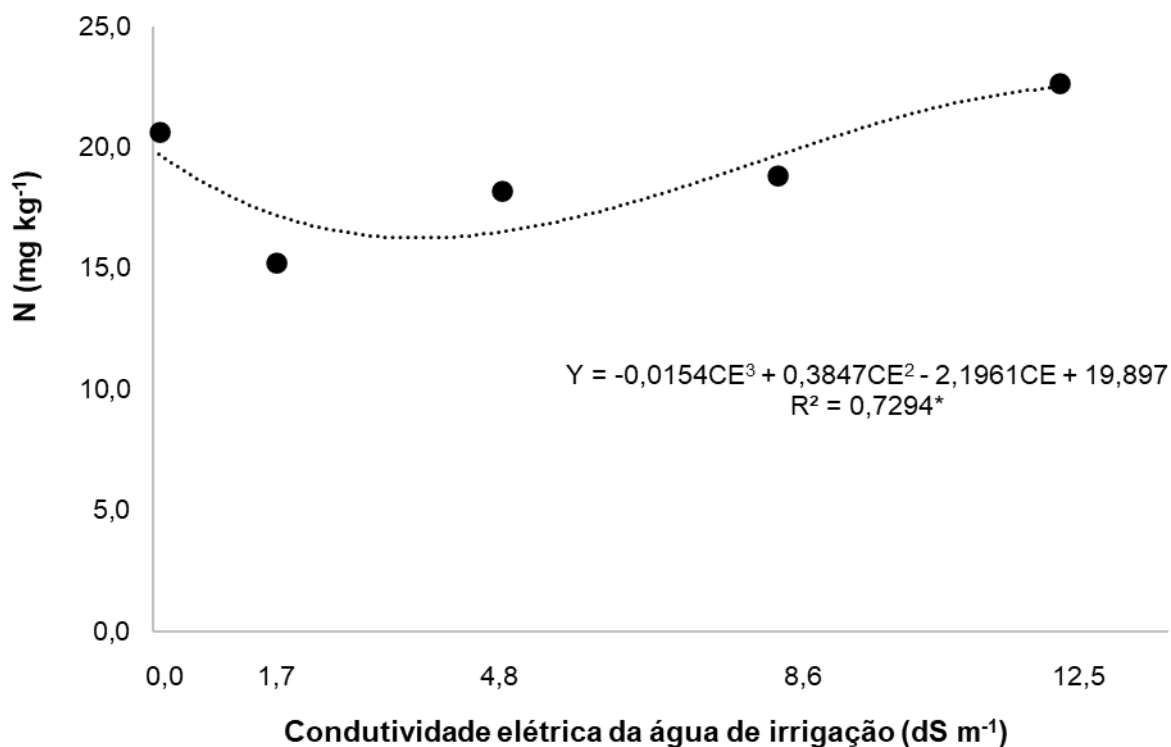


Figura 20 Concentração de nitrogênio na folha de *Atriplex nummularia*, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

A derivada segunda  $f(CE)'' = -0,0924CE + 0,7694$  da função  $f(CE)$  igualada a zero é igual a  $8,3268 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo este o ponto de inflexão onde o comportamento dos dados de concentração de nitrogênio na folha muda.

Antes do ponto de inflexão à medida que a condutividade elétrica da água de irrigação aumentava, os valores de nitrogênio na folha cresciam, após este ponto, a tendência é que haja um leve crescimento da concentração de nitrogênio na folha até a condutividade elétrica de  $12,9961 \text{ dS m}^{-1}$ , e posteriormente redução da concentração de nitrogênio ao elevar os níveis salinos.

O resultado do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,7525$  indica que concentração de nitrogênio no caule da *Atriplex nummularia* assumiu um comportamento quadrático quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação. (Figura 21).

A derivada primeira  $f(CE)' = -0,0453CE^2 + 0,6208CE - 1,4664$  de  $f(CE) = -0,0151CE^3 + 0,3104CE^2 - 1,4664CE + 6,8662$  fornece os valores de  $3,0337 \text{ dS m}^{-1}$ , e  $10,6705 \text{ dS m}^{-1}$ . A derivada segunda  $f(CE)'' = -0,0906CE + 0,6208$  da função  $f(CE)$  para o valor de  $3,0337 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $0,3459$ , ou seja, o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $3,0337 \text{ dS m}^{-1}$  é um valor de mínimo, logo a partir desta condutividade os valores da concentração de nitrogênio no caule começaram a aumentar (Figura 20).

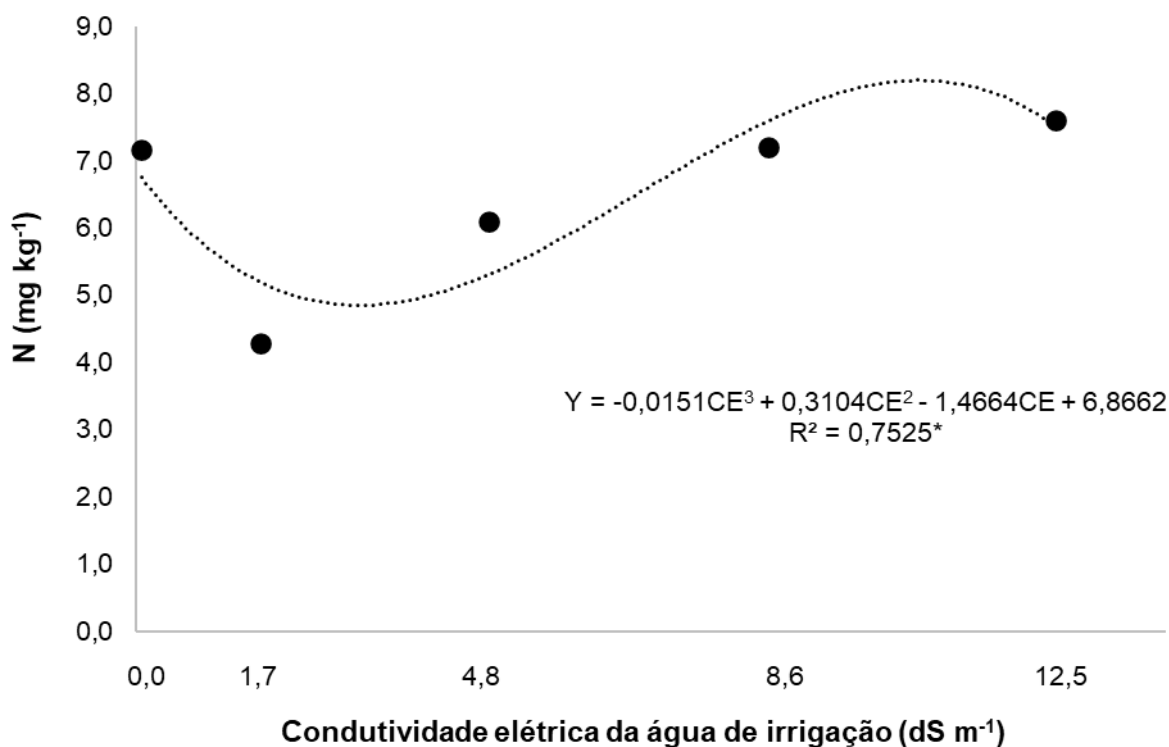


Figura 21 Concentração de Nitrogênio no caule de *Atriplex nummularia*, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

A derivada segunda  $f(CE)'' = -0,0906CE + 0,6208$  da função  $f(CE)$  para o valor de  $10,6705 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-0,3459$ , ou seja, o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $10,6705 \text{ dS m}^{-1}$  é um valor de máximo, logo a partir desta condutividade os valores da concentração de nitrogênio na folha começaram a diminuir (Figura 21).

A derivada segunda  $f(CE)'' = -0,0906CE + 0,6208$  da função  $f(CE)$  igualada a zero é igual a  $6,8521 \text{ dS m}^{-1}$ , sendo este o ponto de inflexão onde o comportamento dos dados de concentração de nitrogênio na folha muda.

Antes do ponto de inflexão à medida que a condutividade elétrica da água de irrigação aumentava, os valores de nitrogênio na folha cresciam, após este ponto, a tendência é que haja um leve crescimento da concentração de nitrogênio na folha até a condutividade elétrica de  $10,6705 \text{ dS m}^{-1}$ , e posteriormente redução da concentração de nitrogênio ao elevar os níveis salinos.

A concentração de nitrogênio na raiz apresentou tendência linear crescente  $R^2 = 0,8944$ , quando a condutividade elétrica da água de irrigação aumentou, tal fato é observado pelo coeficiente angular positivo  $0,2581$  (Figura 22).

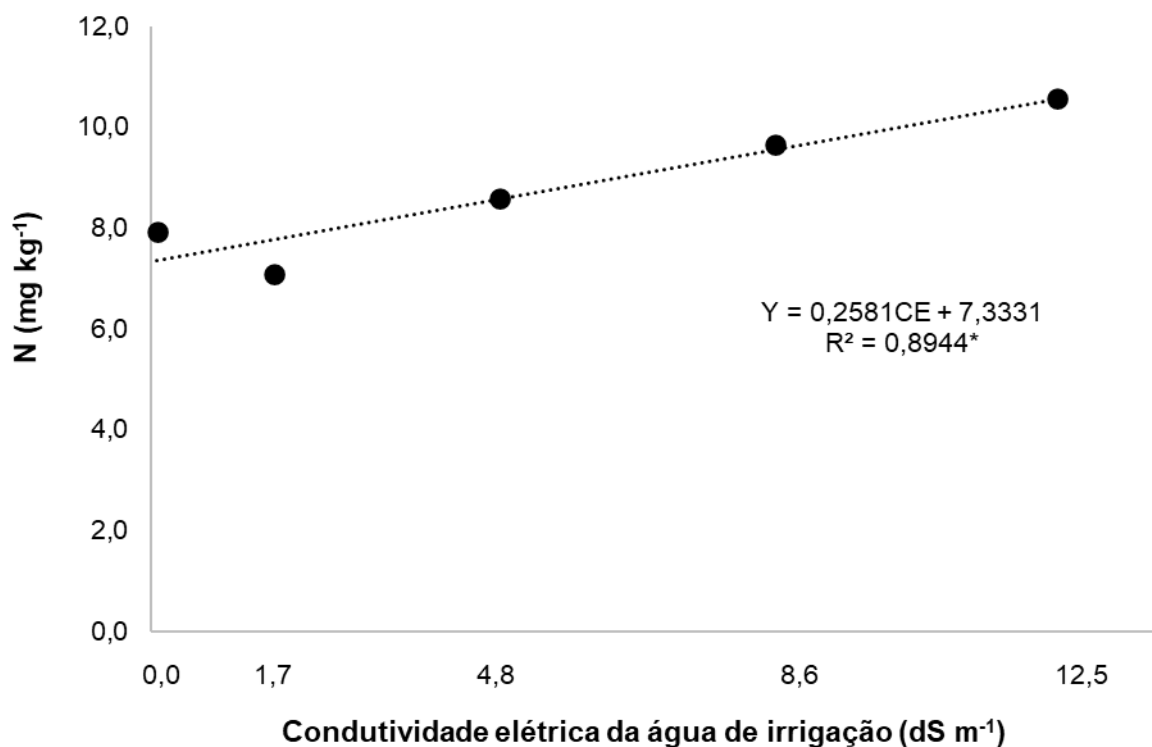


Figura 22 Concentração de Nitrogênio na raiz de *Atriplex nummularia*, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

A concentração de nitrogênio na raiz acompanhou o crescimento da condutividade elétrica da água de irrigação deste modo os maiores valores de condutividade elétrica resultaram nas maiores concentrações de nitrogênio na raiz, ao mesmo tempo que as menores condutividades elétricas foram observadas concentrações de nitrogênio na raiz menores (Figura 22).

Os resultados dos teores de nitrogênio no tecido vegetal indicaram que, independentemente da condição de salinidade, a aplicação de nitrogênio atenuou o efeito induzido dos sais sob a absorção de nutrientes pela *Atriplex nummularia* e, posteriormente, resultou em maior resistência ao estresse salino. demonstrando, assim, que, mesmo em condições em que o uso de água salina, até 12,5 dS m<sup>-1</sup>, seja inevitável, a adubação nitrogenada permite o cultivo da *Atriplex nummularia*, sem significativo desbalanço nutricional (TAUFIQ et al., 2018; SÁ et al., 2018).

#### 5.4. Conteúdo de Sódio da *Atriplex nummularia*

A condutividade elétrica da água de irrigação afetou ( $p < 0,05$ ) o conteúdo de sódio na folha e caule das plantas de *Atriplex nummularia*, ao mesmo tempo que, o

conteúdo de sódio na folha diferiu ( $p < 0,05$ ) quando observados os manejos de nitrogênio e fósforo, tal diferença não foi observada no conteúdo de sódio do caule. Não foi observado efeito interativo ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos manejo e níveis salinos (Tabela 11).

Tabela 11 Análise de variância para conteúdo de sódio na folha e caule das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

Fontes de variação	GL	Fc	
		Folha	Caule
Manejo (M)	3	6,817 **	1,159 ns
Salinidade (S)	4	36,536 **	21,114 **
M x S	12	0,975 ns	0,359 ns
CV (%)		25,45	39,18

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

O resultado do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,8605$  indica que o conteúdo de sódio na folha da *Atriplex nummularia* assumiu um comportamento quadrático quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação, enquanto o coeficiente angular negativo  $-0,0062$  indica a concavidade da parábola voltada para baixa (Figura 8).

A derivada primeira  $f(CE)' = -0,0124CE + 0,0993$  de  $f(CE) = -0,0062CE^2 + 0,0993CE + 0,2023$  fornece o valor de  $8,0081 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f(CE)''$  de  $f(CE)$  para o valor de  $8,0081 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-0,0124$ , tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $8,0081 \text{ dS m}^{-1}$  é um ponto de máximo, ou seja, a partir desta condutividade os valores conteúdo de sódio na folha começaram a reduzir (Figura 23).

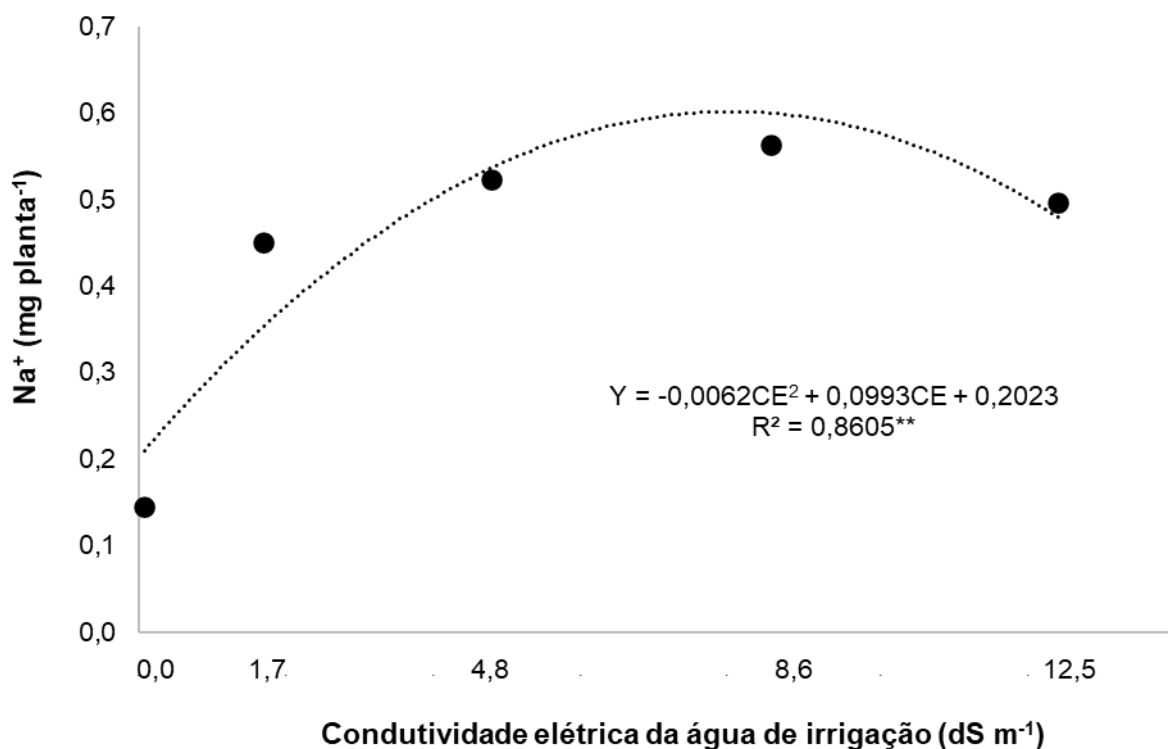


Figura 23 Conteúdo de sódio (Na) na folha de *Atriplex nummularia*, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

O conteúdo de sódio na folha aumentou até o nível de condutividade elétrica da água de irrigação de 4,8 dS m<sup>-1</sup>, a partir do nível 8,6 dS m<sup>-1</sup>, o conteúdo de sódio na folha começou a reduzir, vale salientar que na condutividade elétrica da água de irrigação de 8,6 dS m<sup>-1</sup>, o valor de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo era 22,8114 dS m<sup>-1</sup>, (Figura 7).

Portanto no presente estudo é possível afirmar que quando a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo atingiu o valor de 22,8114 dS m<sup>-1</sup>, a planta *Atriplex nummularia* começou a reduzir o conteúdo de sódio na folha, por apresentar senescência das folhas mais antigas, e redução de sua produção de massa seca e fresca (Figura 8; Figura 12).

Os manejos com nitrogênio e fósforo apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ), de modo que a aplicação de nitrogênio (N80P0), assim como a aplicação de nitrogênio e fósforo (N80P60), não apresentaram diferença entre si, mas diferiram dos demais tratamentos (N0P0), e (N0P60) (Figura 24).

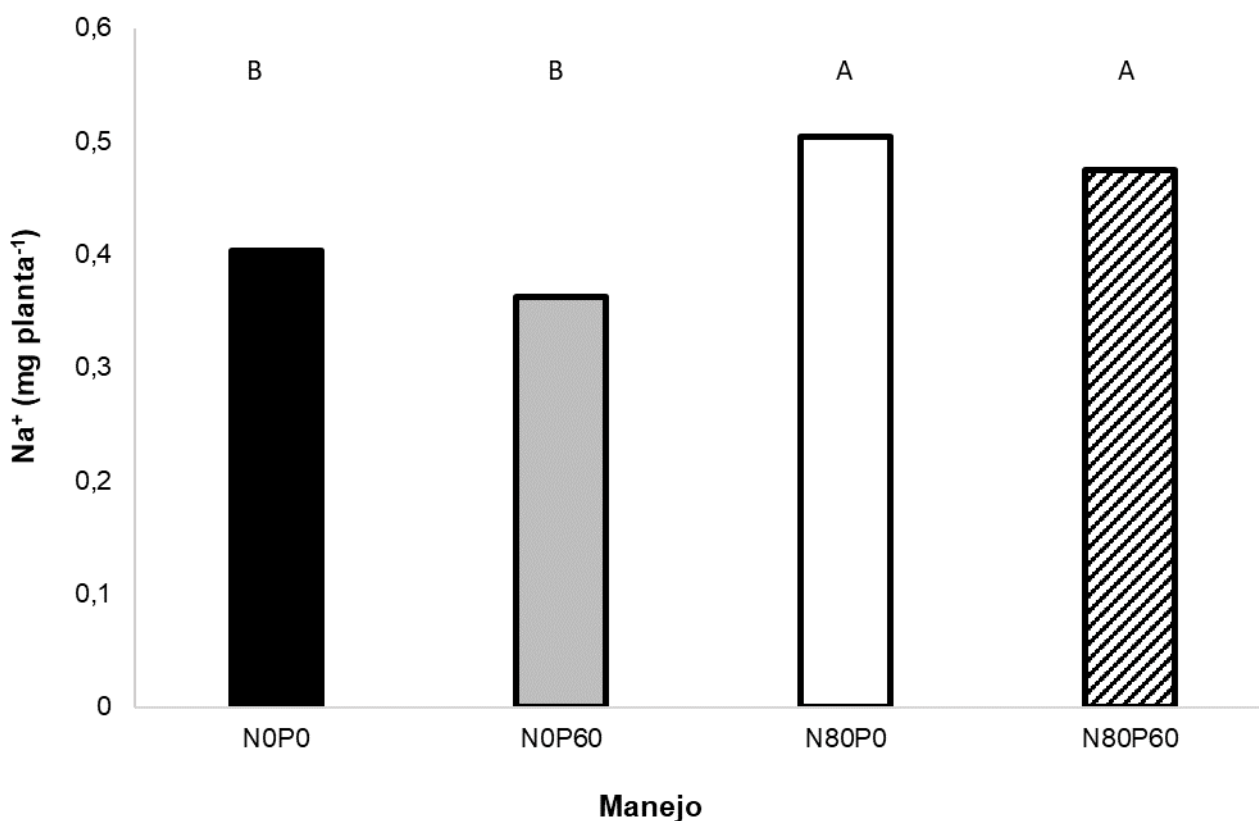


Figura 24 Conteúdo de sódio (Na) na folha de *Atriplex nummularia*, sob diferentes manejos de nitrogênio e fósforo aos 93 DAT.

Nos tratamentos sem nitrogênio (N0P0 e N0P60) o conteúdo de sódio na folha foram inferiores em comparação com os tratamentos que receberam nitrogênio (N80P0 e N80P60), logo a aplicação de nitrogênio foi benéfica para o parâmetro conteúdo de sódio na folha nas plantas de *Atriplex nummularia*.

Portanto em relação ao conteúdo de sódio na folha é possível afirmar, que de modo geral, o tratamento que recebeu nitrogênio apresentou bom desempenho ao realizar a fitoextração de sódio no solo. Tais resultados entram em contraste com os de Cunha et al. (2017), que não observaram resultados positivos ao realizar a fertilização fosfatada e nitrogenada em conjunto. Porém a presente pesquisa corrobora os resultados dos mesmos autores, que evidenciaram o efeito fitoextrator positivo ao cultivar a *Atriplex nummularia* sob fertilização nitrogenada.

O resultado do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,7599$  indica que o conteúdo de sódio no caule da *Atriplex nummularia* assumiu um comportamento quadrático quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação, enquanto o coeficiente angular negativo - 0,006 indica a concavidade da parábola voltada para baixa (Figura 8).

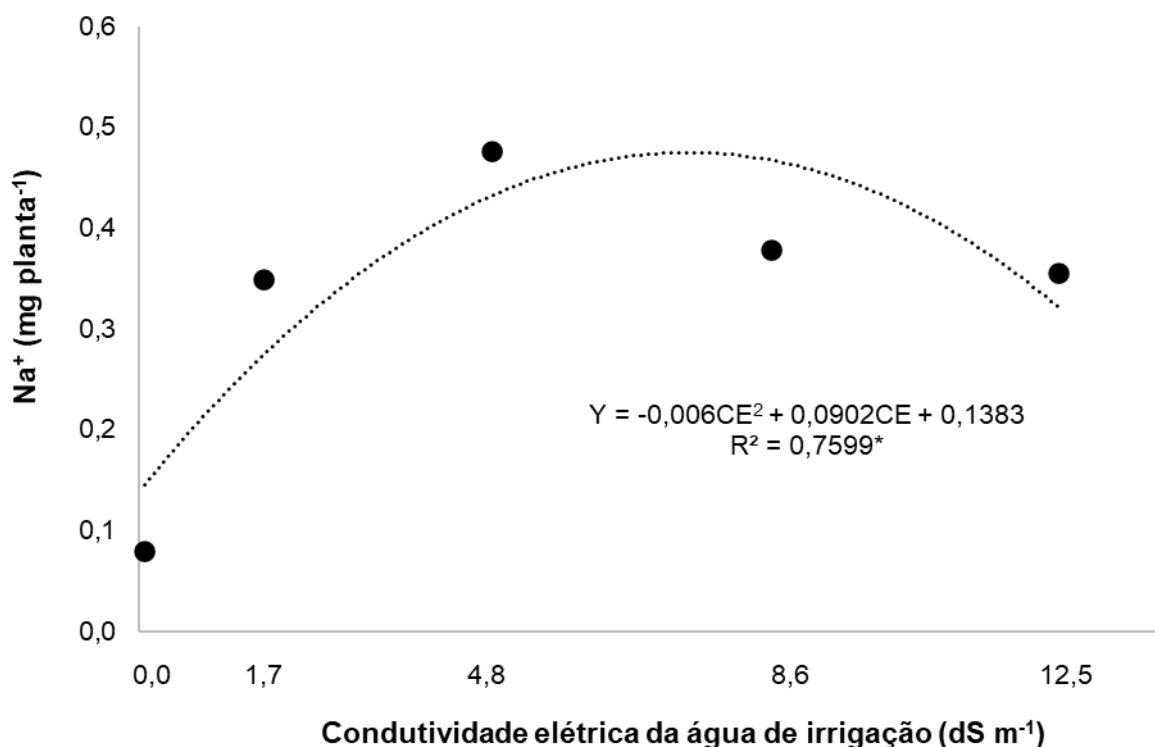


Figura 25 Conteúdo de sódio (Na) no caule de *Atriplex nummularia*, sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 93 DAT.

A derivada primeira  $f(CE)' = -0,012CE + 0,0902$  de  $f(CE) = -0,006CE^2 + 0,0902CE + 0,1383$  fornece o valor de  $7,5167 \text{ dS m}^{-1}$ , enquanto que a derivada segunda  $f(CE)''$  de  $f(CE)$  para o valor de  $7,5167 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-0,012$ , tais resultados indicam que o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $7,5167 \text{ dS m}^{-1}$  é um ponto de máximo, ou seja, a partir desta condutividade os valores conteúdo de sódio no caule começaram a reduzir (Figura 23).

Observa-se que o conteúdo de sódio no caule assim como na folha assumiu menores valores após o nível salino da água de irrigação de  $8,6 \text{ dS m}^{-1}$ , portanto de acordo com o presente estudo o valor de  $7,5 \text{ dS m}^{-1}$  é indicado para que haja melhor eficiência quando avaliado o conteúdo de sódio na parte aérea das plantas de *Atriplex nummularia*.

Os resultados demonstram que a *Atriplex nummularia* é uma planta hiperacumuladora de sódio, e que de modo geral a fertilização com nitrogênio favoreceu o maior conteúdo de sódio na parte aérea.

## 5.5 Relações hídricas

### 5.5.1. Teor Relativo de Água (TRA)

Não foi observada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) no teor relativo de água da *Atriplex nummularia*, quando manejada com nitrogênio e fósforo, e entre os níveis salinos na água de irrigação. Também não foi verificado efeito interativo entre os tratamentos manejo e níveis salinos (Tabela 12).

Tabela 12 Análise de variância para teor relativo de água das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIÇÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	154,714	0,620 ns
Salinidade (S)	4	438,755	1,760 ns
M x S	12	310,045	1,243 ns
CV (%)	23,77		

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

### 5.5.2. Potencial Hídrico Foliar TOTAL ( $\Psi_w$ )

Os níveis salinos na água de irrigação promoveram diferença ( $p < 0,05$ ) no potencial hídrico foliar das plantas de *Atriplex nummularia*, entretanto os manejos de nitrogênio e fósforo não diferiram ( $p < 0,05$ ) em relação aos valores de potencial hídrico foliar. Ademais não foi observado efeito interativo entre os manejos e os níveis salinos (Tabela 13).

Tabela 13 Análise de variância para potencial hídrico foliar das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIÇÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	0,662	1,399 ns
Salinidade (S)	4	5,999	12,676 **
M x S	12	0,382	0,806 ns



\*p< 0,10; \*\*p<0,05; \*\*\*p<0,01; ns: não significativo.

A concentração de nitrogênio na raiz apresentou tendência linear decrescente  $R^2 = 0,9383$ , quando a condutividade elétrica da água de irrigação aumentou, tal fato é observado pelo coeficiente angular negativo  $-0,1165$ . Observou-se que os valores mais negativos de potencial hídrico foram verificados nas plantas irrigadas com água salina com  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 26).

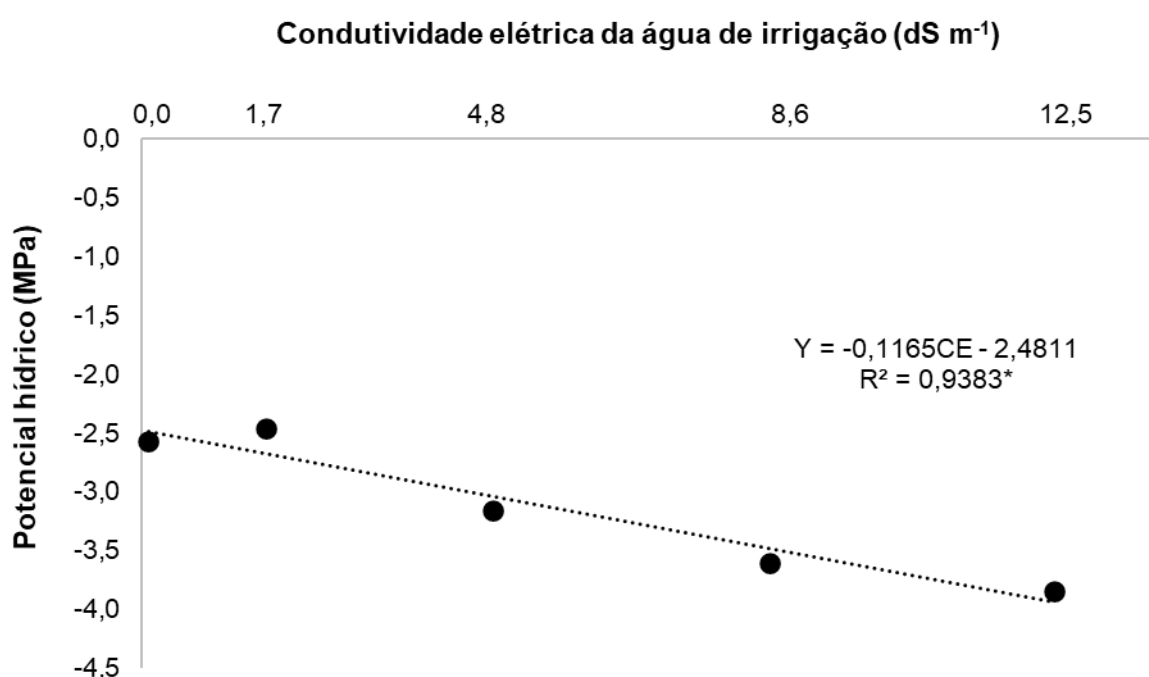


Figura 26 Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ ) de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 81 DAT.

O Potencial hídrico da planta ( $\psi_w$ ) foi influenciado pelo incremento da concentração de sais da água da irrigação. O maior do  $\psi_w$  foi observado nas plantas irrigadas com água de maior salinidade ( $12,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), obtendo-se  $-3,83 \text{ Mpa}$ , enquanto, nas menores salinidades ( $0,08$  e  $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ ), foram observados os menores valores,  $-2,55$  e  $-2,46 \text{ MPa}$ , respectivamente.

Alterações sustentadas na redução do potencial hídrico das plantas de *Atriplex nummularia* em resposta à salinidade são amplamente compreendidas como uma estratégia adaptativa mediada pelo acúmulo de altas concentrações de íons inorgânicos

e/ou solutos orgânicos dentro das células, para combinar com a diminuição do potencial hídrico do solo (MUNNS et al., 2020a); que contribui para a regulação da absorção de água e garantia de desenvolvimento em solos com problemas de excesso de sais (MUNNS et al., 2020b).

### 5.5.3. Potencial Osmótico ( $\Psi_o$ )

Os níveis salinos na água de irrigação promoveram diferença ( $p < 0,05$ ) no potencial osmótico das plantas de *Atriplex nummularia*, entretanto os manejos de nitrogênio e fósforo não diferiram ( $p < 0,05$ ) em relação aos valores de potencial osmótico. Ademais não foi observado efeito interativo entre os manejos e os níveis salinos (Tabela 14).

Tabela 14 Análise de variância para potencial osmótico das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

<b>FONTES DE VARIÇÃO</b>	<b>GL</b>	<b>Qm</b>	<b>Fc</b>
Manejo (M)	3	0,887	0,555 ns
Salinidade (S)	4	7,332	4,587 **
M x S	12	0,883	0,553 ns
CV (%)	30,46		

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

A concentração de nitrogênio na raiz apresentou tendência linear decrescente  $R^2 = 0,93$ , quando a condutividade elétrica da água de irrigação aumentou, tal fato é observado pelo coeficiente angular negativo  $-0,1284$ . Observou-se que os valores mais negativos de potencial hídrico foram verificados nas plantas irrigadas com água salina com  $12,5 \text{ dS m}^{-1}$  (Figura 27).

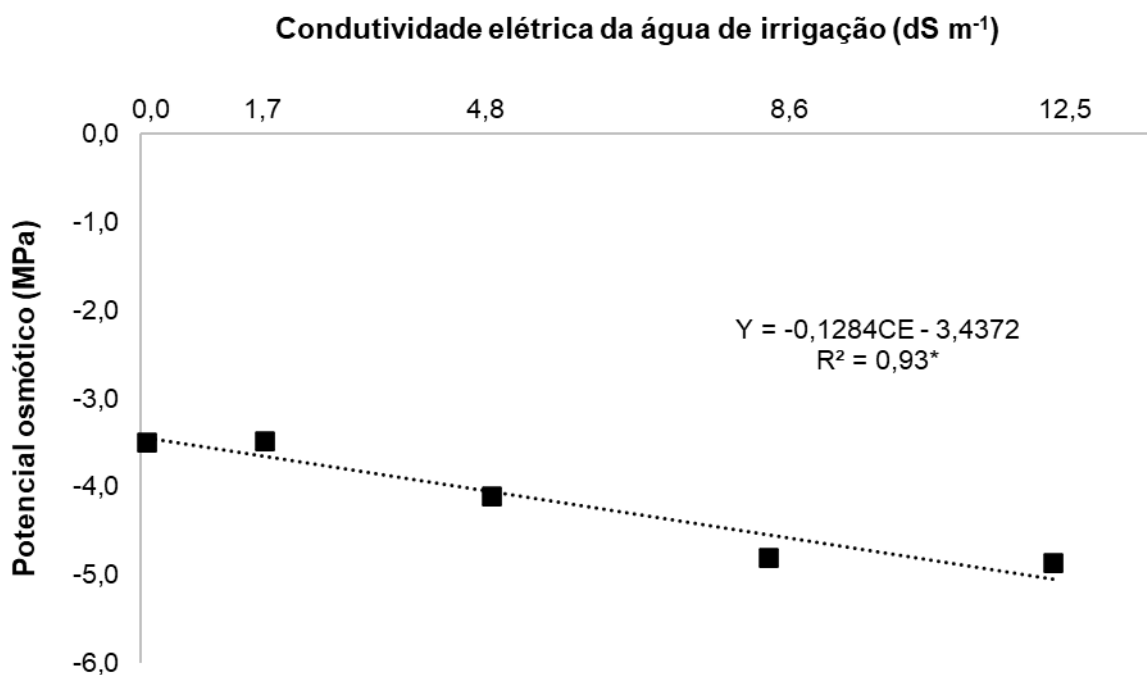


Figura 27 Potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 81 DAT.

Assim o potencial hídrico foliar o potencial osmótico reduziu quando houve incrementos de sais via água de irrigação, por isso os menores valores de potenciais osmóticos foram observados nos maiores níveis de condutividade elétrica da água de irrigação, 8,6 e 12,5 dS m<sup>-1</sup>. Ao mesmo tempo que os maiores valores de potenciais osmóticos foram observados nas menores condutividade elétricas da água de irrigação.

Apesar da diminuição do  $\psi_w$  e  $\psi_o$  à medida que a concentração de sal aumentava, os valores dos potenciais das plantas avaliadas foram semelhantes, independentemente dos tratamentos com nitrogênio e fósforo. Esse resultado indica uma manutenção do estado hídrico da planta, confirmando a capacidade de *Atriplex nummularia* manterem adequadamente sua sobrevivência em condições de estresse salino.

A manutenção de plantas sob condições salinas está relacionada à sua capacidade de manter o turgor celular em baixo potencial osmótico e manter baixos teores de Na<sup>+</sup> citosólico com altas relações K<sup>+</sup> /Na<sup>+</sup>. Esses recursos ajudam na continuação dos processos bioquímicos de ajuste osmótico (PAULINO et al., 2020).

#### 5.5.4. Ajustamento Osmótico (AO)

O ajustamento osmótico das plantas de *Atriplex nummularia* foi afetado ( $p < 0,05$ ) pelos níveis salinos da condutividade elétrica da água de irrigação, mas também diferiu ( $p < 0,05$ ) em relação aos manejos de nitrogênio e fósforo, sendo observada interação entre os manejos e os níveis salinos (Tabela 15).

Tabela 15 Análise de variância para ajustamento osmótico das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIACÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	0,620	3,505 *
Salinidade (S)	4	2,752	15,558 **
M x S	12	0,385	2,179 *
CV (%)	53,25		

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

O ajustamento osmótico das plantas foi afetado ( $p < 0,05$ ) pelos níveis salinos na água de irrigação. Mas também pelas doses de nitrogênio e fósforo e pela interação entre o manejo e níveis salinos. Assim, a resposta da *Atriplex nummularia* a estes fatores foi avaliada para cada tratamento isoladamente (Figura 28).

Avaliando o efeito da salinidade em cada tratamento com fertilização de nitrogênio e fósforo, é possível verificar que os menores valores de ajustamento osmótico foram obtidos no tratamento salino controle ( $0,08 \text{ dS m}^{-1}$ ). Para os manejos com nitrogênio e fósforo (N0P0;N80P0;N80P60) as equações que apresentaram que melhor se ajustaram foram do tipo quadrática. Para o N0P60, foi obtida resposta quadrática ( $R^2 = 0,388$ ) de baixo ajuste, sendo observada acréscimo do ajustamento osmótico das plantas até uma determinada salinidade da água de irrigação ( $8,6 \text{ dS m}^{-1}$ ) (Figura 28).

Os resultados mostram que a salinidade interfere no ajustamento osmótico de *Atriplex nummularia* submetidas a níveis de adubação nitrogenada e fosfatada. As plantas irrigadas com águas salinas apresentaram acréscimo nos valores de ajustamento osmótico à medida que a concentração de sais aumentou, exceto no nível N0P1.

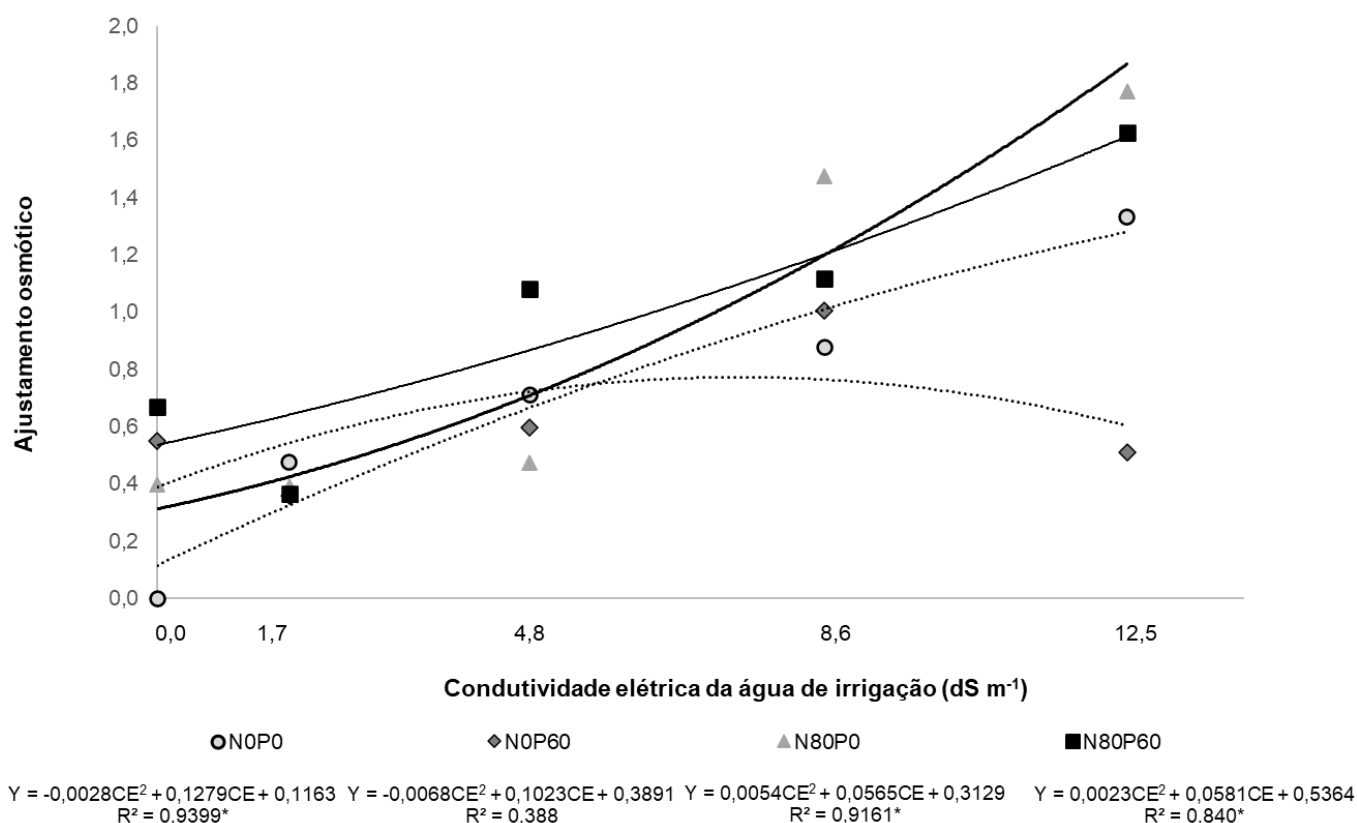


Figura 28 Ajustamento osmótico (AO) de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 81 DAT.

É amplamente documentado que o ajuste osmótico em resposta ao estresse salino é uma adaptação fisiológica de plantas submetidas a ambientes afetados por sais (NIKALJE et al., 2018; LI et al. 2019; MUNNS et al., 2020b). A eficiência do ajuste osmótico requer o uso de Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup> nos vacúolos e de K<sup>+</sup>, levando à diminuição da concentração tóxica de íons no citoplasma (NIKALJE et al., 2019).

Em halófitas, o envolvimento de Na<sup>+</sup> no ajustamento osmótico é frequentemente discutido. Achados sobre a concentração de sódio no tecido vegetal do presente estudo (Figura 16; Figura 17; Figura 18) fazem relação com a contribuição do elemento para a adaptação das plantas à condição de estresse induzido pelo sal. Ramos et al. (2004) propuseram que tanto o K<sup>+</sup> quanto o Na<sup>+</sup> estão envolvidos no ajuste osmótico das plantas em resposta à alta salinidade do solo e mostraram que os íons Na<sup>+</sup> contribuem mais eficientemente que os íons K<sup>+</sup> para realizar essa função.

Esse efeito também foi observado por Hmidi et al. (2018) em *Cakile marítima*, fornecendo evidências de uma alta contribuição relativa de íons salinos quando as plantas

foram submetidas, respectivamente a tratamentos de 100 mM, 200 mM e 400 mM de NaCl.

Os resultados desta pesquisa demonstraram que as plantas se ajustaram mais eficientemente naqueles tratamentos que receberam incremento de nitrogênio (Figura 28), o que ressalta a contribuição positiva da adubação nitrogenada sobre a adaptação de *Atriplex nummularia*.

## 5.6 Fluorescência da clorofila a

### 5.6.1. Fluorescência Inicial (F<sub>0</sub>)

Os níveis salinos na água de irrigação promoveram diferença ( $p < 0,05$ ) na fluorescência inicial (F<sub>0</sub>) das plantas de *Atriplex nummularia*, entretanto os manejos de nitrogênio e fósforo não diferiram ( $p < 0,05$ ) em relação aos valores de fluorescência inicial (F<sub>0</sub>). Ademais não foi observado efeito interativo entre os manejos e os níveis salinos (Tabela 16).

Tabela 16 Análise de variância para fluorescência inicial (F<sub>0</sub>) das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIACÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	1040621,846	0,824 ns
Salinidade (S)	4	6231058,550	4,933 **
M x S	12	845705,075	0,670 ns
CV (%)	23,79		

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

O resultado do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,92$  indica que Fluorescência inicial (F<sub>0</sub>) da *Atriplex nummularia* assumiu um comportamento quadrático quando houve a elevação dos níveis salinos da água de irrigação (Figura 29).

A derivada primeira  $f(CE)' = -20,22CE^2 + 243,54CE - 417,81$  de  $f(CE) = -6,74CE^3 + 121,77CE^2 - 417,81CE + 4444,9$  fornece os valores de  $2,0720 \text{ dS m}^{-1}$ , e  $9,9725 \text{ dS m}^{-1}$ . A derivada segunda  $f(CE)'' = -40,44CE + 243,54$  da função  $f(CE)$  para o valor de  $2,0720 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $159,7483$ , ou seja, o valor de condutividade elétrica da água de

irrigação  $2,0720 \text{ dS m}^{-1}$  é um valor de mínimo, logo a partir desta condutividade os valores da fluorescência inicial começaram a aumentar (Figura 29).

A derivada segunda  $f'(CE)'' = -40,44CE + 243,54$  da função  $f(CE)$  para o valor de  $9,9725 \text{ dS m}^{-1}$  é igual a  $-159,7483$ , ou seja, o valor de condutividade elétrica da água de irrigação  $9,9725 \text{ dS m}^{-1}$  é um valor de máximo, logo a partir desta condutividade os valores da fluorescência inicial começaram a diminuir (Figura 29).

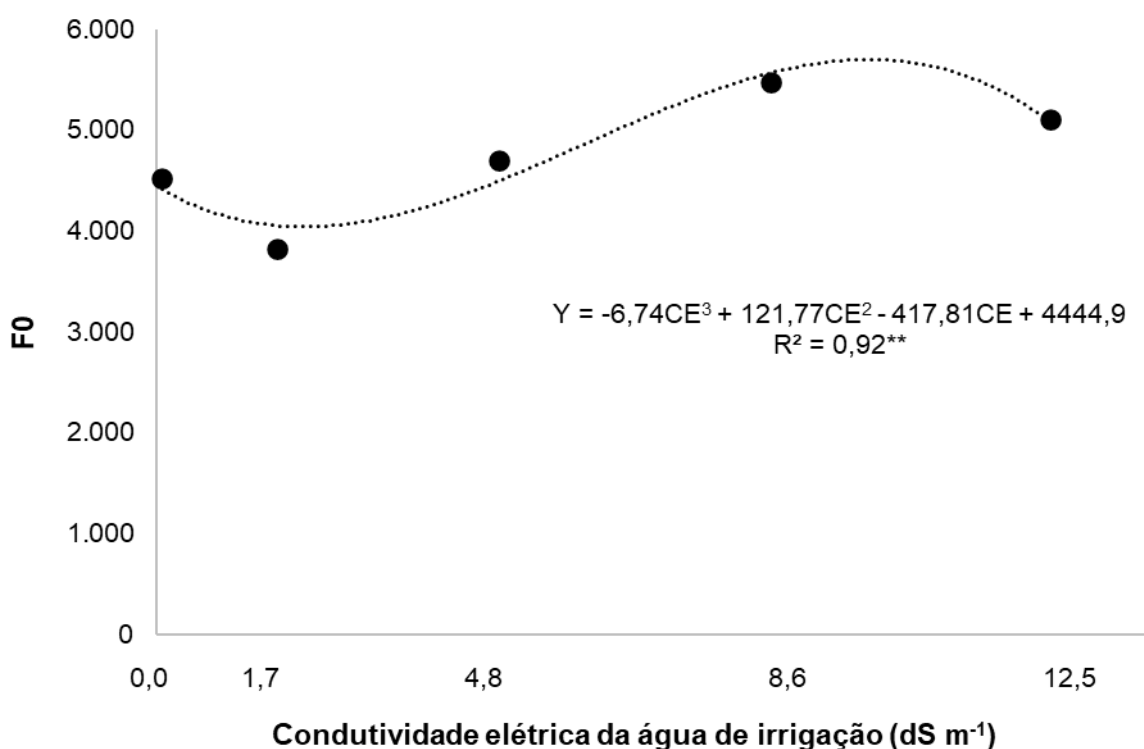


Figura 29 Fluorescência inicial ( $F_0$ ) de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação aos 91 DAT.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila tem sido frequentemente empregados em estudos que objetivam a expressão e quantificação da atividade da fotossíntese vegetal sob estresse salino (NABATI ET AL., 2013; ZHAO ET AL., 2019; SHIN et al., 2021a).

Quando uma grande quantidade de sal entra na célula vegetal, o sistema de membrana e a função dos tilacoides nos cloroplastos podem ser destruídos e afetar o desempenho fotossintético (TSAI et al., 2019); assim, o incremento em  $F_0$  indica destruição dos centros de reação do PSII, em tilacoides dilatados; ou redução na capacidade de transferência de energia de excitação da antena para o fotossistema II, causada pelo estresse salino (SÁ et al., 2018), o que potencialmente relaciona-se com o aumento da espessura foliar devido à peroxidação lipídica por espécies reativas de oxigênio (MONTEIRO et al., 2018).

### 5.6.2. Fluorescência Máxima ( $F_m$ )

Não foi observada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) na fluorescência máxima ( $F_m$ ) das plantas de *Atriplex nummularia*, quando manejadas com nitrogênio e fósforo, e submetidas aos níveis salinos na água de irrigação. Não foi verificado efeito interativo ( $p < 0,05$ ) entre os manejos e os níveis salinos (Tabela 17).

Tabela 17 Análise de variância para fluorescência máxima ( $F_m$ ) das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIACÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	5450017,146	0,647 ns
Salinidade (S)	4	6805840,075	0,808 ns
M x S	12	4783173,708	0,568 ns
CV (%)	24,49		

\* $p < 0,10$ ; \*\* $p < 0,05$ ; \*\*\* $p < 0,01$ ; ns: não significativo.

### 5.6.3. Fluorescência Variável ( $F_v$ )

A fluorescência variável ( $F_v$ ) das plantas de *Atriplex nummularia* não apresentou diferença ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos com nitrogênio e fósforo, nem quando as plantas foram submetidas aos diferentes níveis salinos da água de irrigação. Não foi verificado efeito interativo ( $p < 0,05$ ) entre os manejos e os níveis salinos (Tabela 18).

Tabela 18 Análise de variância para fluorescência variável ( $F_v$ ) das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIACÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	1739424,900	0,389 ns
Salinidade (S)	4	5120243,487	1,146 ns
M x S	12	2025949,546	0,454 ns



CV (%) 29,67

\*p< 0,10; \*\*p<0,05; \*\*\*p<0,01; ns: não significativo.

#### 5.6.4 Eficiência Quântica Fotoquímica do Fotossistema II ( $F_v/F_m$ )

A eficiência quântica fotoquímica do fotossistema II ( $F_v / F_m$ ) das plantas de *Atriplex nummularia* não diferiu ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos que receberam nitrogênio e fósforo, nem entre os tratamentos com diferentes níveis salinos na água de irrigação. Não foi verificado efeito interativo ( $p < 0,05$ ) entre os manejos e os níveis salinos (Tabela 19).

Tabela 19 Análise de variância para eficiência quântica fotoquímica do fotossistema II ( $F_v / F_m$ ) das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	0,014904	0,813 ns
Salinidade (S)	4	0,036010	1,965 ns
M x S	12	0,011805	0,644 ns
CV (%)	23,48		

\*p< 0,10; \*\*p<0,05; \*\*\*p<0,01; ns: não significativo.

#### 5.6.5. Eficiência de Conversão de Energia ( $F_v / F_0$ )

Ao analisar a eficiência de conversão de energia ( $F_v / F_0$ ) das plantas de *Atriplex nummularia* observou-se que os manejos de nitrogênio e fósforo não diferiram ( $p < 0,05$ ), assim como não foi verificado efeito interativo ( $p < 0,05$ ) entre estes manejos e os níveis salinos da água de irrigação. Todavia os níveis salinos apresentaram diferença ( $p < 0,05$ ) nas plantas avaliadas (Tabela 20).

Tabela 20 Análise de variância para eficiência de conversão de energia ( $F_v / F_0$ ) das plantas de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de nitrogênio e fósforo, aos 93 DAT.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	Qm	Fc
Manejo (M)	3	0,118	0,541 ns

Salinidade (S)	4	0,902	4,135 **
M x S	12	0,154	0,704 ns
CV (%)	31,20		

\*p< 0,10; \*\*p<0,05; \*\*\*p<0,01; ns: não significativo.

O parâmetro eficiência de conversão de energia ( $F_v / F_0$ ) das plantas de *Atriplex nummularia* apresentou tendência linear de decréscimo, à medida que os níveis salinos da condutividade elétrica da água de irrigação se elevaram, tal comportamento pode ser comprovado pelo valor negativo do coeficiente angular - 0,0461, e pelo valor do coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9454$  (Figura 30).

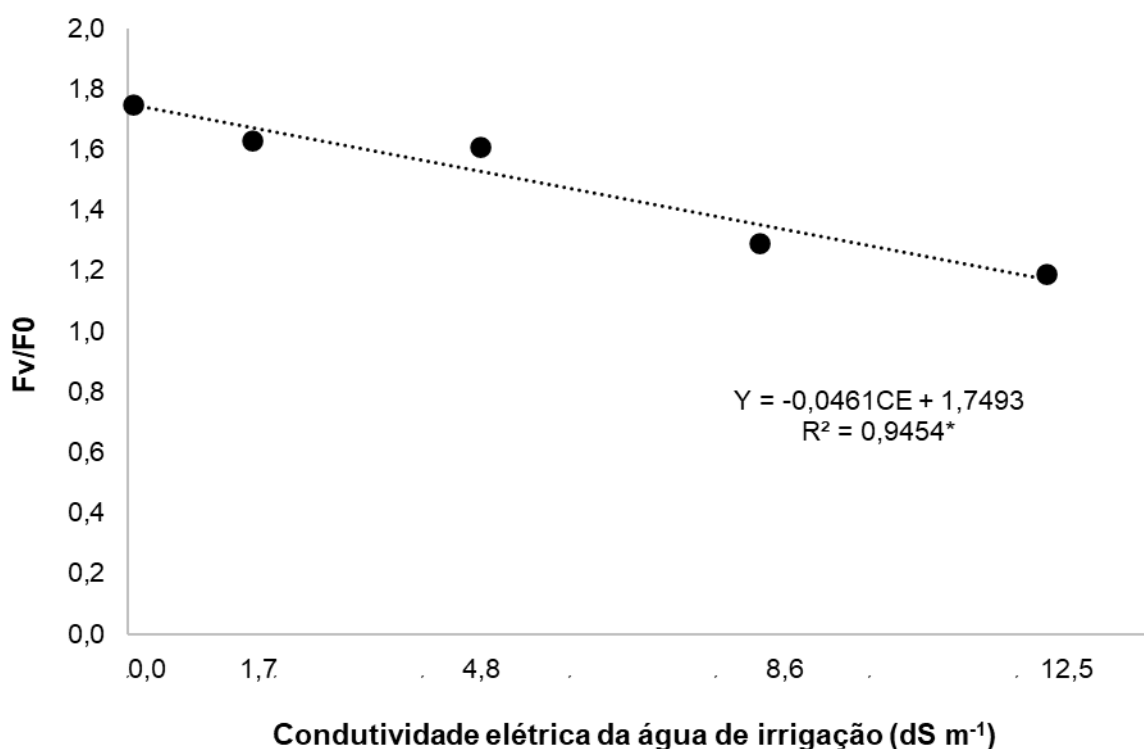


Figura 30 Eficiência quântica de conversão de energia química ( $F_v/F_0$ ) de *Atriplex nummularia* sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, aos 91 DAT.

A eficiência quântica de conversão de energia química apresentou o maior valor na condutividade elétrica da água de irrigação de 4,8 dS m<sup>-1</sup>, enquanto que seu menor valor foi observado na condutividade elétrica de 12,5 dS m<sup>-1</sup>.

As plantas demonstraram sinais de estresse salino, quando se elevou a condutividade elétrica da água de irrigação. Vale salientar que as condutividades elétricas do solo estavam em

valores superiores (Figura 7), portanto, concentrações de sais em águas muito elevadas são suficientes para causar estresse osmótico e iônico, o que pode ser confirmado pelas alterações observadas na fluorescência da clorofila a.

Ademais esses achados sugerem que a *Atriplex nummularia* irrigada com águas salinas de até 4,8 dS m<sup>-1</sup> sofreram leve comprometimento da eficiência do processo fotossintético e a cadeia de transporte de elétrons (SHIN et al., 2020). Logo a razão  $F_v/F_0$  é um importante dado de monitoramento, uma vez que é um parâmetro sensível da atividade fotossintética e, consequentemente, eficaz na detecção de alterações induzidas pelo estresse salino (SHIN et al., 2021b).

## 6. CONCLUSÕES

A massa seca e fresca da folha e do caule indicaram que a *Atriplex nummularia* conseguiu se desenvolver bem até a condutividade elétrica de  $4,8 \text{ dS m}^{-1}$ , quando se elevou a condutividade elétrica da água de irrigação a produção tendeu a reduzir o crescimento.

Os conteúdos de sódio nas folhas, caule e raiz demonstram que nos cultivos da *Atriplex nummularia* com águas de  $8,6 \text{ dS m}^{-1}$ , a fertilização com nitrogênio tem efeito benéfico na fitoextração dos teores de sódio, e potássio.

A aplicação de Nitrogênio em condições salinas reduz os efeitos adversos da salinidade no potencial hídrico, potencial osmótico e ajustamento osmótico em plantas de *Atriplex nummularia*. Diante dos resultados obtidos, a adubação nitrogenada pode ser uma alternativa para amenizar o efeito negativo do estresse salino do solo.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* mostraram a importância do fornecimento de fontes de Nitrogênio como estratégia em reduzir os danos causados pelo estresse salino.

Assim, sugere-se cultivar a *Atriplex nummularia* irrigada com águas de até  $4,8 \text{ dS m}^{-1}$  com manejo de fertilizantes nitrogenados a uma taxa de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  para maior rendimento.

## 7. Referências Bibliográficas

ANDRADE, F. H. A.; ARAÚJO, C. S. P.; BATISTA, W. F.; QUEIROGA NETO, J. A.; DANTAS, E. E. M.; ANDRADE, R. Comportamento da cultura do pimentão submetido a diferentes níveis de salinidade. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 12, 2016.

ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. **Plant Science**, 166: 3-16, 2004.

BOURAS, H.; BOUAZIZ, A.; BOUAZZAMA, B.; HIRICH, A.; CHOUKR-ALLAH, R. How Phosphorus Fertilization Alleviates the Effect of Salinity on Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Productivity and Quality. **Agronomy**, v.11,1491, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081491>.

BOURAS, H.; BOUAZIZ, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; HIRICH, A.; DEVKOTA, K. P.; BOUAZZAMA, B. Phosphorus Fertilization Enhances Productivity of Forage Corn (*Zea mays* L.) Irrigated with Saline Water. **Plants**, v.10, 2608, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10122608>.

BUI E. N. Causes of soil salinization, sodification, and alkalinization. **Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science**, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.264>

CALASAN, A. Z.; HAMMEN, S.; SUKHORUKOV, A. P.; MCDONALD, J. T.; BRIGNONE, N. F.; BOHNERT, T.; KADEREIT, G. From continental Asia into the world: Global historical biogeography of the saltbush genus *Atriplex* (Chenopodiaceae, Chenopodioideae, Amaranthaceae), **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.54, 125660, 2022 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2022.125660>.

CAMACHO-SANCHEZ, M.; BARCIA-PIEDRAS, J. M.; REDONDO-GÓMEZ, S.; CAMACHO, M. Mediterranean seasonality and the halophyte *Arthrocnemum macrostachyum* determine the bacterial community in salt marsh soils in Southwest Spain. **Applied Soil Ecology**, v.151, 103532, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103532>.

COSTA, A. R. F. C.; MEDEIROS, J. F. Água salina como alternativa para irrigação de sorgo para geração de energia no Nordeste brasileiro. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 6, 2017.

CUNHA, J. C.; FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; SILVA, J. D. G. Phytoextraction Potential of *Atriplex Nummularia* Plants under Nitrogen and Phosphate Fertilization. **Communications**

**in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1253716>.

DADKHAH, N.; ESMAEILI, M.; PIRDASHTI, H.; SEPANLOO, M. G. Response of two halophyte plants (*Nitraria schoberi* and *Halocnemum strobilaceum*) to potassium sulfate under saline condition. **Ukrainian Journal of Ecology**, v. 7, 2017. DOI: 10.15421/2017\_128.

DAS, R. S.; RAHMAN, M.; SUFIAN, N. P.; RAHMAN, S. M. A.; SIDDIQUE, M. A. M. Assessment of soil salinity in the accreted and non-accreted land and its implication on the agricultural aspects of the Noakhali coastal region, Bangladesh. **Heliyon**, v.6, e04926, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04926>.

DEY, G.; BANERJEE, P.; SHARMA, R. K.; MAITY, J. P.; ETESAMI, H.; SHAW, A. K.; HUANG, Y-H.; HUANG, H.-B.; CHEN, C-Y. Management of Phosphorus in Salinity-Stressed Agriculture for Sustainable Crop Production by Salt-Tolerant Phosphate-Solubilizing Bacteria—A Review. **Agronomy**, v.11, 1552, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081552>

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; NETO, O. N. S.; QUEIROZ, I. S. R. **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade**. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, p. 151-162, 2016.

DING, Z.; KHEIR, M. A. S.; ALI, M. G. M.; ALI, O. A. M.; ABDELAAL, A. I. N.; LIN, X.; ZHOU, Z.; WANG, B.; LIU, B.; HE, Z. The Integrated Effect of Salinity, Organic Amendments, Phosphorus Fertilizers, and Deficit Irrigation on Soil Properties, Phosphorus Fractionation and Wheat Productivity. **Science Reports**, v.10, 2736, (2020). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59650-8>.

EISSA, M. A.; ROSHDY, N. M. K. Nitrogen fertilization: Effect on Cd-phytoextraction by the halophytic plant quail bush [*Atriplex lentiformis* (Torr.) S. Wats]. **South African Journal of Botany**, v. 11, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.01.015>.

FAO. The World Map of Salt Affected Soil [WWW Document] FOOD Agric. Organ, UNITED NATIONS (2021) URL. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-maps-and-databases/global-map-of-salt-affected-soils/en/>

FARRAG, K.; ABDELHAKIM, S. G.; ABD EL-TAWAB, A. R.; ABDELRAHMAN, H. Growth Response of Blue Panic Grass (*Panicum antidotale*) to Saline Water Irrigation and Compost Applications. **Water Science**, v.35, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/11104929.2020.1860277>.

FERREIRA, A. P.; SILVA, J. B. L.; RUIZ, H. A. **Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas**. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, p. 17-34, 2016.

FERNANDES, P. D.; BRITO, M. E. B.; GHEYI, H. R.; ANDRADE, A. P.; MEDEIROS, S. S. **Halofitismo e Agricultura Biossalina**. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal. p. 209-242, 2016.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R. **Fitorremediação de solos afetados por sais**. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, p. 489-504, 2016.

FLINT, A. L.; FLINT, L. E. **Particle density**. In: Dane, JH, Topp, GC (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods, Soils Science Society of America, Book Series, 5, Madison, pp. 255-293, 2002.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytologist**, v. 179, p. 945-963, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global map of salt-affected soils**. Rome: FAO, 2021. 20 p. Available at: <https://www.fao.org/3/cb7247en/cb7247en.pdf>. Access on: Nov. 12. 2022

GEE, G. W.; OR, D. **Particle Size Analysis**. In: Dane, JH, Topp, GC (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods, Soils Science Society of America, Book Series No. 5, Madison, pp. 255-293, 2002.

GHEYI, H. R.; LACERDA, C. F.; FREIRE, M. B. G. S.; COSTA, R. N. T.; SOUZA, E. R.; SILVA, A. O.; FRACETTO, G. G. M.; CAVALCANTE, L. F. Management and reclamation of salt-affected soils: general assessment and experiences in the Brazilian semiarid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, e20217917, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220058>.

GUIDI, L.; LO PICCOLO, E.; LANDI, M. Chlorophyll Fluorescence, Photoinhibition and Abiotic Stress: Does it Make Any Difference the Fact to Be a C3 or C4 Species?. **Frontiers in Plant Science**. v.10, 174, 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00174.

HINTSA, K.; BERHE, A.; BALEHEGN, M.; BERHE, K. Effect of replacing concentrate feed with leaves of Oldman saltbush (*Atriplex nummularia*) on feed intake, weight gain, and carcass parameters of highland sheep fed on wheat straw in northern Ethiopia. **Tropical Animal Health and Production**, v. 50, 2018. DOI: 10.1007/s11250-018-1577-8.

IEVINSH, G. Coastal plant species as electrolytophytes: effect of NaCl and light intensity on accumulation characteristics of *Atriplex glabriuscula* from coastal drift lines. **Environmental and Experimental Biology**, v.18, 2020. DOI: 10.22364/eeb.18.09.

JUSTO, J. F. A.; BARRETO, A. C.; SILVA, J. F.; FERREIRA NETO M.; SÁ, F. V. S.; OLIVEIRA, R. P. Identification and diagnosis of salt-affected soils in the Baixo-Açu irrigated

perimeter, RN, Brazil. **Revista brasileira de eng agrícola e ambiental**, v.25, 2021. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n7p480-484.

KOYRO, H-W.; GEISSLER, N.; HUSSIN, S.; DEBEZ, A.; HUCHZERMEYER, B. **Strategies of halophytes to survive in a salty environment**. In: KHAN, N. A.; SINGH, S. (eds.) Abiotic stress and plant responses. New Delhi: I. K. International Publishing House, p. 83-104, 2008.

LAM, E. J.; CÁNOVAS, M.; GÁLVEZ, M.E.; MONTOFRÉ, Í. L.; KEITH, B. F.; FAZ, Á. Evaluation of the phytoremediation potential of native plants growing on a copper mine tailing in northern Chile. **Journal of Geochemical Exploration**, v.182, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.06.015>.

LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, M. B. G. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; FERREIRA, F. L. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300015>.

LEAL, L. S. G.; PESSOA, L. G. M.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, N. A.; SILVA, L. F. S.; BARROS JÚNIOR, G.; FREIRE, M. B. G. S.; SOUZA, E. S. Do applications of soil conditioner mixtures improve the salt extraction ability of *Atriplex nummularia* at early growth stage?. **International Journal of Phytoremediation**, v. 22, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1678109>.

LEITE, M.; GUAJAJARA, E. P. V.; SILVA, S.; SILVA, W. L.; SANTOS, S. C. Soil Method Contaminated Soil Phytoremediation. **Cadernos de Prospecção**, v. 12, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v12n2p327>

LI, B.; WANG, J.; YAO, L.; MENG, Y.; MA, X.; SI, E.; REN, P.; YANG, K.; SHANG, X.; WANG, H. Halophyte *Halogeton glomeratus*, a promising candidate for phytoremediation of heavy metal-contaminated saline soils. **Plant and Soil**, v.442, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04152-4>.

LI, S.; LI, J.; ZHANG, B.; LI, D.; LI, G.; LI, Y. Effect of different organic fertilizers application on growth and environmental risk of nitrate under a vegetable field. **Scientific Reports**, v. 7, 17020, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-17219-y.

LI, Y. G.; LI, L. H.; JIANG, G. M.; NIU, S-L.; LIU, M-Z.; GAO, L-M.; PENG, Y.; JIANG, C-D. Traits of chlorophyll fluorescence in 99 plants species from the sparse-elm grassland in Hunshandak Sandland. **Photosynthetica**, v.42, 2004. DOI: 10.1023/B:PHOT.0000040596.39460.6f.

LINS, C. M. T.; SOUZA, E. R.; MELO, H. F.; PAULINO, M. K. S. S.; DOURADO P. R. M.; LEAL, L. Y. C.; SANTOS, H. R. B. Pressure-volume (P-V) curves in *Atriplex nummularia* Lindl. for evaluation of osmotic adjustment and water status under saline conditions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 124, 2018. DOI:



<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.01.014>

MCCUTCHEON, S. C.; JØRGENSEN, S. E. Phytoremediation. Jorgensen and B. Fath (ed.), **Encyclopedia of Ecology**. Elsevier Science BV, Amsterdam, Netherlands, 2751-2766, 2008.

Medeiros, J. F.; Gheyi, H. R.; Costa, A. R. F. C.; Tomaz, H. V. DE Q. **Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais**. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, p. 319-336, 2016a.

MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N. Salinidade em ambiente protegido. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, p. 113-122, 2016b.

MELO, H. F.; SOUZA, E. R. DE; ALMEIDA, B. G. DE; FREIRE, M. B. G. S.; MAIA, F. E. Growth, biomass production and ions accumulation in atriplex nummularia lindl grown under abiotic stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n2p144-151>.

MELO, H. F.; SOUZA, E. R.; ALMEIDA, B. G.; MULAS, M. Water potential in soil and Atriplex nummularia (phytoremediator halophyte) under drought and salt stresses. **International Journal of Phytoremediation**, v. 20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1374334>.

MELO, H. F.; SOUZA E. R.; CUNHA J. C. Fluorescência de clorofila a e pigmentos fotossintéticos em *Atriplex nummularia* sob estresses abióticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p232-237>.

MIRANDA, M. F. A.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, A. G.; FREIRE, F. J.; PESSOA, G. M. Improvement of degraded physical attributes of a saline-sodic soil as influenced by phytoremediation and soil conditioners. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1419195>.

MONTEIRO D. R.; MELO H. F.; LINS C. M. T.; DOURADO P. R. M.; SANTOS H. R. B.; SOUZA E. R. Chlorophyll a fluorescence in saccharine sorghum irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, 2018. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v22n10p673-678](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n10p673-678).

MOURA, E. S. R.; COSME, C. R.; LEITE, T. S.; DIAS, N. S.; FERNANDES, C. S.; NETO, O. N. S.; SOUSA JÚNIOR, F. S.; REBOUÇAS, T. C. Phytoextraction of salts by Atriplex Nummularia Lindl. irrigated with reject brine under varying water availability. **International Journal of Phytoremediation**, v. 21, 2019. DOI: [10.1080/15226514.2019.1583633](https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1583633).

MUNNS, R.; DAY, D. A.; FRICKE, W.; WATT, M.; ARSOVA, B.; BARKLA, B. J.; BOSE, J.; BYRT, C.; CHEN, Z. H.; FOSTER, K. J.; GILLIHAM, M.; HENDERSON, S. W.; JENKINS, C. L. D.; KRONZUCKER, H. J.; MIKLAVCIC, S. J.; PLETT, D.; ROY, S. J.; SHABALA, S.; SHELDEN, M. C.; TYERMAN, S. D. Energy costs of salt tolerance in crop plants. **New Phytologist**, v.225, 2020a. DOI: 10.1111/nph.15864

MUNNS, R.; PASSIOURA, J. B.; COLMER, T. D.; BYRT, C. S. Osmotic adjustment and energy limitations to plant growth in saline soil. **New Phytologist**, 225, 2020b. DOI: 10.1111/nph.15862.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mecanismos de tolerância à salinidade. **Annu Rev Plant Biology**, 59:651–81, 2008.

NABATI, J.; KAFI, M.; MEHRJERDI, M. Z. Efeito da salinidade e aplicação de silício nas características fotossintéticas do sorgo (*Sorghum bicolor* L.). **International Journal of Agricultural Sciences**, 3:483-492, 2013.

NEGACZ, K.; MALEK, Z.; DE VOS, A.; VELLINGA, P. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. **Journal of Arid Environments**, v.203, 104775, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104775>.

NIKALJE, G. C.; KUMAR, J.; NIKAM, T. D.; SUPRASANNA, P. FT-IR profiling reveals differential response of roots and leaves to salt stress in a halophyte *Sesuvium portulacastrum* (L.). **Biotechnology Reports**, v. 23, e00352, 2019. DOI: 10.1016/j.btre.2019.e00352.

OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G.; REIS, F. O.; FAGUNDES, J. L.; GAGLIARDI, P. R.; OLIVEIRA, L. F. M. Ecophysiological and biochemical responses of saltbush subjected to salinity. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4638719>.

OLIVEIRA, A. S. L.; SOUZA, E. S.; PESSOA, L. G. M.; FERREIRA-SILVA, S. L.; SOUZA, R. M. S.; ANTONINO, A. C. S. Growth and photosynthetic efficiency of *Atriplex nummularia* under different soil moisture and saline tailings. **Revista Caatinga**, v. 32, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n222rc>.

PAULINO, M. K. S. S.; SOUZA, E. R.; MELO, H. F.; LINS, C. M. T.; DOURADO, P. R. M.; LEAL, L. Y. C.; MONTEIRO, D. R.; REGO JUNIOR, F. E. A.; SANTOS, C. U. C. S. Influence of vesicular trichomes of *Atriplex nummularia* on photosynthesis, osmotic adjustment, cell wall elasticity and enzymatic activity. **Plant Physiology and Biochemistry**. v.155, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.036>.

PRIBYL, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**. v.156, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.02.003>.

QADIR, M.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D.; SAHRAWAT, K. L. (2007) Phytoremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils. **Advances in Agronomy**, v. 96, p. 197–247, 2007.

RAMOS, J.; LOPEZ, M. J.; BENLLOCH, M. Effect of NaCl and KCl salts on the growth and solute accumulation of the halophyte *Atriplex nummularia*. *Plant and Soil*, v.259, 2004 DOI: 10.1023/B:PLSO.0000020953.50331.a5.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. **Origem e classificação dos solos afetados por sais**. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016.

SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S. L.; PAIVA, E. P.; MOREIRA, R. C. L.; SILVA, L. A. Water salinity, nitrogen and phosphorus on photochemical efficiency and growth of west indian cherry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, 2018 DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p158-163.

SANTOS, M. A.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; DA ROCHA, A. T.; DE LUCENA, P. G.; LADISLAU, C. M. P.; DE MELO, H. F. Reclamation of Saline Soil under Association between *Atriplex nummularia* L. and Glycophytes Plants. **Agriculture**, v.12, 1124, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12081124>.

SANTOS, R. V.; CAVALCANTE, L. F.; VITAL, A. F. M.; LACERDA, C. F.; SOUZA, E. R.; LIMA, G. S. **Interação salinidade-fertilidade do solo**. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, p. 277-294, 2016.

SANTOS, M. A.; FREIRE M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G. LINS, C. M. T. SILVA, E. M. Dynamics of ions in saline-sodic soil under phytoremediation with *Atriplex nummularia* and gypsum applications. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, 2013a. DOI: 10.1590/S1415-43662013000400007.

SANTOS, R. D.; GONÇALVES, L. C.; NEVES, A. L. A.; PEREIRA, L. G. R. Forrageiras halófitas na alimentação de ruminantes. **Bahia Agrícola**, v. 9, n. 2, p. 98-103, 2013b. DOI: [https://www.researchgate.net/publication/340000233\\_Forageiras\\_halofitas\\_na\\_alimentacao\\_de\\_ruminantes](https://www.researchgate.net/publication/340000233_Forageiras_halofitas_na_alimentacao_de_ruminantes).

SHIN, Y. K.; BHANDARI, S. R.; JO, J. S.; SONG, J. W.; LEE, J. G. Effect of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, phytochemical contents, and antioxidant activities in lettuce seedlings. **Horticulturae**, v.7,238, 2021a. DOI: 10.3390/horticulturae7080238.

SHIN, Y. K.; JO, J. S.; CHO, M-C.; YANG, E-Y.; AHN, Y. K.; LEE, J. G. Application of chlorophyll fluorescence parameters to diagnose salinity tolerance in the seedling of tomato genetic resources. **Journal of Bio-Environment Control**, v.30, 2021b. DOI: <https://doi.org/10.12791/KSBEC.2021.30.2.165>.

SILVA, Y. J. A. B.; SILVA, Y. J. A. B.; FREIRE, M. B. G. S.; LOPES, E. A. P. L.; SANTOS, M. A. *Atriplex nummularia* Lindl. As alternative for improving salt-affected soils conditions in semiarid environments: A field experiment. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 76, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392016000300012>.

SOUZA, A. A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUZA, E. R. Mineral composition, chlorophyll fluorescence and zinc biofortification in *Vigna unguiculata* fertilized with bulk and nanoparticulate zinc oxides. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 43, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03333-y>.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; RUIZ, H. A., LINS, C. T. Biomass, anatomical changes and osmotic potential in *Atriplex nummularia* Lindl. cultivated in sodic saline soil under water stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 82, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.03.007>.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; MELO, D. V. M.; MONTENEGRO, A.A.A. Management of *Atriplex nummularia* Lindl. in a salt affect-ed soil in a semi-arid region of Brazil. *Int. J. International Journal of Phytoremediation*, v.16, 2014. DOI: [10.1080/15226514.2012.759529](https://doi.org/10.1080/15226514.2012.759529).

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C W. A.; MONTENEGRO, A A. A.; FREIRE, F. J. MELO, H. F. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000500007>.

TAUFIQ, A.; WIJANARKO, A.; KRISTIONO, A. Nitrogen and phosphorus fertilization for groundnut in saline soil. **Journal of degraded and mining lands management**, v.5, 2018. DOI: [10.15243/jdmlm.2018.054.1307](https://doi.org/10.15243/jdmlm.2018.054.1307).

TSAI, Y. C.; CHEN, K. C.; CHENG, T. S. Chlorophyll fluorescence analysis in diverse rice varieties reveals the positive correlation between the seedlings salt tolerance and photosynthetic efficiency. **BMC Plant Biology**, v.19, 403, 2019. DOI: [10.1186/s12870-019-1983-8](https://doi.org/10.1186/s12870-019-1983-8).

USSL Staff – United States Salinity Laboratory. Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils. In: Richards, L. A. (ed). 1st ed. US Government Printing Office: Washington, DC, 1954.

XIE, W.; YANG, J.; GAO, S.; YAO, R.; WANG, X. The Effect and Influence Mechanism of Soil Salinity on Phosphorus Availability in Coastal Salt-Affected Soils. **Water**, v.14, 2804, 2022. DOI: [10.3390/w14182804](https://doi.org/10.3390/w14182804).

WANG, Y.; DENG, D.; LIU Y.; NIU, Z.; LI, Y. Identifying change in spatial accumulation of soil salinity in an inland river watershed, China. **Science of the Total Environment**, v.621, 2018. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.11.222](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.222).

WARIS, M.; DIN, S. U.; SIDHU, A. R.; ATIF, S.; NAEEM, A.; RAHMAN, S. The Comparison of Microwave Single Extraction and Sequential Extraction Method for the Fractionation Analysis of Arsenic and Mercury in Saline Sodic Soil. **Research & Reviews: Journal of Ecology**, v.11, (2022). DOI: 10.37628/RRJoE.

ZHAO, H.; LIANG, H.; CHU, Y.; SUN, C.; WEI, N.; YANG, M.; ZHENG, C. Effects of Salt Stress on Chlorophyll Fluorescence and the Antioxidant System in *Ginkgo biloba* L. **Hortscience**, v.54, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14432-19>.