



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**CULTIVO DE *Chenopodium quinoa* Willd IRRIGADA COM ÁGUA CINZA
FILTRADA E ÁGUA POTÁVEL SOB O USO DE CONDICIONADORES.**

RECIFE
PERNAMBUCO - BRASIL

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**CULTIVO DE *Chenopodium quinoa* Willd IRRIGADA COM ÁGUA CINZA
FILTRADA E ÁGUA POTÁVEL SOB O USO DE CONDICIONADORES.**

JOANA SUELÂNIA DA SILVA LIMA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador (a): Luiz Guilherme Medeiros Pessoa

RECIFE
PERNAMBUCO - BRASIL

2021

Joana Suelânia da Silva Lima

**CULTIVO DE *Chenopodium quinoa* Willd IRRIGADA COM ÁGUA CINZA
FILTRADA E ÁGUA POTÁVEL SOB O USO DE CONDICIONADORES.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA em 17 de dezembro de 2021

Prof. Dr. Genival Barros Júnior
(UFRPE/UASt)

Prof. Dra. Maria Betânia Galvão dos S. Freire
(DEPA/UFRPE)

Prof. Dr. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa
(Orientador)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

L732c Lima, Joana Suelânia da Silva
Cultivo de *Chenopodium quinoa* Willd irrigada com água cinza filtrada e água potável
sob o uso de condicionadores / Joana Suelânia da Silva Lima. – 2021.
76 f. : il.

Orientador: Luiz Guilherme Medeiros Pessoa.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, BR-PE, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Águas residuais de irrigação. 2. Salinidade. 3. Fitorremediação I. Pessoa,
Luiz Guilherme Medeiros, orient. II. Título

CDD 628

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter me dado força e coragem para prosseguir. Aos meus pais Suseane Rodrigues e João Batista, por todo apoio, incentivo, motivação e amor incondicional, por nunca terem medido esforços para que eu chegasse até aqui. Ao meu amado noivo Otavio Augusto, por ter sido companheiro em todos os momentos, me motivando sempre, sem questionar ou duvidar das minhas escolhas.

Dedico

Insanidade é continuar fazendo as mesmas coisas e esperar resultados diferentes.

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar sou grata a Deus, por colocar em meu caminho pessoas maravilhosas, que me apoiaram em todas as fases do projeto, por ter sido meu alicerce nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais Suseane Rodrigues e João Batista, por todo apoio, crença em meu potencial e amor incondicional. Sem vocês eu não teria chegado a lugar nenhum, minha base e fortaleza.

Ao meu noivo, Otavio Augusto, por estar sempre ao meu lado, me apoiando em todos os momentos de dificuldade, pela compreensão nos momentos de ausência, por todo amor e cuidado.

Aos meus irmãos Juliana e Vitor, por sempre torcerem para que eu conseguisse atingir meus objetivos.

A minha avó materna Maria Do Carmo, pelo amor, ajuda e motivação para enfrentar toda essa caminhada.

A minha segunda mãe, Adeilza Lins por todo apoio, crença em meu potencial e todo amor e carinho.

Ao meu orientador Prof. Luiz Guilherme Medeiros Pessoa, pela confiança em mim depositada, paciência, companheirismo, ensinamentos transmitidos e parceria durante todo tempo de pesquisa.

Ao Prof. Genival Barros, pela amizade e acolhimento. Um exemplo de profissional e ser humano fantástico.

Aos meus queridos coorientadores, Ramon Cantalice e Eduardo Soares por ter cedido gentilmente o equipamento IRGA para as leituras fisiológicas e por todas as sugestões.

A minha grande amiga Laiany Tássila, pelos conselhos, amizade, motivação e toda ajuda prestada, tanto no meio profissional quanto no pessoal. Sem sombra de dúvidas sua parceria foi fundamental para execução deste trabalho. Uma amizade que levarei para a vida.

Ao parceiro, Luiz Felipi, e toda equipe do NUPSSE (Núcleo de Pesquisa em Solos do Semiárido), por toda dedicação no tempo de pesquisa.

Ao meu amigo José Ralison Inácio, que mesmo tendo tantas ocupações sempre se disponibilizou a me ajudar nas leituras de campo, manutenção da estrutura e por todos os momentos de descontração.

As minhas grandes amigas Janiele Matos e Edineide Barros (da Faculdade para a vida), embora distantes fisicamente se mostraram presentes em todos os momentos, me apoiando, incentivando, dando boas risadas e me alimentando, vocês são as melhores que eu poderia ter.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade e por abrir portas através do conhecimento.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE-UAST), por disponibilizar toda estrutura física e funcionários durante a condução do experimento.

Ao senhor Welinton Fernandes Vieira, analista da Embrapa cerrados, por toda atenção prestada e por nos ter fornecido as sementes para o experimento.

A Embrapa cerrados por desenvolver trabalhos que visam o socioeconômico, por ter fornecido as sementes para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos funcionários, Isaias, Eliel, Geraldo e Cláudio, por estarem disponíveis para auxiliar na manutenção do experimento.

A todos professores da Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFRPE, por todos conhecimentos repassados.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de mestrado.

A banca avaliadora, pela disponibilidade e todas contribuições prestadas a este trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta etapa tão importante da minha vida; peço que me perdoem se não citei todos aqui, mas saibam que levarei todos em meu coração, com imenso carinho e gratidão.

A todos aqueles que acreditam em mim, meu muito OBRIGADA!

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xv
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO	18
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1. Água de reúso como alternativa para o semiárido.....	20
2.2. Salinização dos solos pela água de irrigação	22
2.3. Condicionadores de solo como atenuadores do estresse salino em plantas	25
2.4. <i>Chenopodium quinoa</i> Willd como alternativa para agricultura bioessalina	27
2.5. Extração de sais por culturas tolerantes.....	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1. Localização da área de ensaio.....	30
3.2. Características do solo.....	31
3.3. Caracterização das águas utilizadas para a irrigação.....	31
3.4. Caracterização do fertilizante organomineral	332
3.5. Montagem do experimento	33
3.6. Parâmetros avaliados	34
3.6.1. Parâmetros biométricos	34
3.6.2. Parâmetros fotossintéticos	34
3.6.3. Análises de plantas	34
3.6.4. Análises do solo	35
3.7. Análise dos dados	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Propriedades químicas do solo.....	36
4.2. Crescimento da planta.....	41
4.3. Status nutricional da quinoa	50
4.4. Fisiologia da quinoa.....	57
4.5. Extração e alocação de íons tóxicos na planta.....	63
5. CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Valores médios ($n = 4$) de pH (a) e CE_{es} (b) do solo após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 36

Figura 2: Valores médios ($n = 5$) de porcentagem de sódio trocável (PST %) do solo após 70 dias do transplântio, em função das águas de irrigação, água potável e água cinza, respectivamente. Letras maiúsculas representam diferença de águas e letras minúsculas apresentam diferença de condicionadores. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 38

Figura 3: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ solúvel (a), K^+ solúvel (b) e Cl^- solúvel (c) do solo após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre os condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 39

Figura 4: Valores médios ($n = 4$) da altura da planta em cm (a) e diâmetro do caule em mm (b). DAT – dias após a aplicação dos tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica (MO). Letras maiúsculas representam a diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 42

Figura 5: Valores médios ($n = 4$) de massa fresca das raízes (a), hastes (b), folhas (c) e panícula (d) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha, 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações do fertilizante organomineral, 3 aplicações do

fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 45

Figura 6: Valores médios ($n = 4$) de massa seca das raízes (a), hastes (b), folhas (c) e panícula (d) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplantio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha, 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 47

Figura 7: Valores médios ($n = 4$) de massa fresca total, em função da água de irrigação (a), massa fresca total, em função dos condicionadores aplicados (b), massa seca total, em função da água de irrigação (c), massa fresca total, em função dos condicionadores aplicados (d), biomassa relativa, em função da água de irrigação (e) e biomassa relativa em função dos condicionadores aplicados (f) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplantio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 49

Figura 8: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ nas raízes (a), K^+ nas raízes (b), Cl^- nas raízes (c) e K^+/Na^+ nas raízes (d) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplantio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 52

Figura 9: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ nas hastes (a), K^+ nas hastes (b), Cl^- nas hastes (c) e K^+/Na^+ nas hastes (d) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplantio, em função

dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 53

Figura 10: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ nas folhas (a), K^+ nas folhas (b), Cl^- nas folhas (c) e k^+/Na^+ nas folhas (d) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 55

Figura 11: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ na panícula (a), K^+ na panícula (b), Cl^- na panícula (c) e k^+/Na^+ na panícula (d) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 57

Figura 12: Valores médios ($n = 4$) de assimilação líquida de CO_2 de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.59

Figura 13: Valores médios ($n = 4$) de condutância estomatal de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação.

Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.60

Figura 14: Valores médios ($n = 4$) da concentração intercelular de CO_2 de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.61

Figura 15: Valores médios ($n = 4$) de transpiração de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.62

Figura 16: Valores médios ($n = 4$) da eficiência do uso da água de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 63

Figura 17: Alocação de sódio, em função da água de irrigação (a); do cloreto, em função da água de irrigação (b); do sódio, em função dos condicionadores aplicados (c) e do cloreto, em

função dos condicionadores aplicados (d), de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 64

Figura 18: Potencial de fitorremediação do sódio (a) e do cloreto (b) de plantas de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função das águas de irrigação e dos condicionadores testados. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre os condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação de solos afetados por sais	23
Tabela 2: Caracterização física e química da camada superficial (0-20cm) do solo antes do cultivo da <i>Chenopodium Quinoa Willd</i>	31
Tabela 3: Caracterização química da água potável (AP) e da água cinza (AC) utilizadas na irrigação da quinoa durante todo experimento	31
Tabela 4: Caracterização química do fertilizante organomineral	32

RESUMO

O abandono de áreas no Semiárido brasileiro tem-se tornado uma prática constante, devido a degradação dos solos, uma das causas é a salinização. Os solos do Semiárido apresentam naturalmente uma tendência a salinização, devido ao clima da região. O manejo inadequado desses solos principalmente pelo uso de águas salinas, intensifica e acelera o processo de salinização, de forma que, sem que haja uma intervenção, esses solos tendem a se tornarem inviáveis para a produção agrícola. Diante deste quadro de impactos socioambientais, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas que visem a mitigação pelo uso de águas salinas nos solos do semiárido, promovendo a remoção do excesso de sais do solo, dentre elas incluem-se a introdução de plantas tolerante. Desta maneira, a presente dissertação objetivou avaliar o desempenho da *Chenopodium quinoa* Willd, irrigada com água cinza filtrada e água potável, atrelado ao uso de condicionadores de solo, em mitigar os efeitos da salinização na planta e no solo. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 2 x 5 e quatro repetições, sendo o primeiro fator as águas de irrigação (água potável e água cinza filtrada) e o segundo os condicionadores avaliados. A água cinza filtrada utilizada foi captada em uma residência rural, que possui um sistema de tratamento físico para reúso de água cinza (RAC), com a água potável proveniente do abastecimento da Universidade. Para isso, foi utilizada amostras de solo coletadas na camada superficial (0-20 cm) de um Cambissolo Flúvico, peneirado e uniformizado para a montagem do experimento e para as análises de caracterizações químicas e físicas. O solo foi acondicionado em vasos de polietileno com 15 kg de solo, onde receberam os condicionadores e suas respectivas águas de irrigação: T1: testemunha (sem condicionador de solo), T2: 1 aplicação do fertilizante organomineral, T3: 2 aplicações do fertilizante organomineral, T4: 3 aplicações do fertilizante organomineral, T5: matéria orgânica. A irrigação foi realizada em turno de rega de 72 horas, aplicando-se uma lâmina de irrigação equivalente a 85% da capacidade de campo. A dose do fertilizante organomineral foi de 20 ml vaso⁻¹ a cada aplicação, e para a matéria orgânica foi incorporada ao solo 160 g vaso⁻¹. Quinzenalmente foram avaliados os parâmetros biométricos e fotossintéticos das plantas. Aos 70 dias após o transplântio das mudas, estas foram coletadas e fracionadas em raízes, hastes, folhas e panícula para obtenção de suas massas frescas, secas e totais; alocação de biomassa relativa, sódio, cloreto e potássio nas partes vegetais; além da medida de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), pH, determinação dos teores de sódio, potássio e cloreto, e cálculo da porcentagem de sódio trocável no solo após o experimento. Foram também determinadas, a alocação de sódio e cloreto e o potencial de fitorremediação. Para as condições em que a cultura foi submetida, foi constatado que a quinoa teve uma excelente adaptação, independente da água de irrigação, não interferindo em seu desenvolvimento. O tratamento com 3 aplicações do fertilizante organomineral, proporcionou a planta melhores condições quando irrigada com água cinza filtrada. No entanto a quinoa não apresentou boa eficiência na remoção dos sais do solo, a medida em que o solo foi sendo irrigado os valores da CEes, PST, e os teores de sódio, cloro e potássio, foram aumentando. O uso desta cultura associada a irrigação com água cinza filtrada deve ser realizado com cuidado, uma vez que, a quinoa não se mostra como boa extratora de sais.

Palavras-chaves: Água residuária de irrigação, Salinidade, Fitorremediação.

ABSTRACT

The abandonment of areas in the Brazilian semiarid has become a constant practice due to soil degradation and one of the causes is salinization. The soils from semi-arid naturally tend to salinize, due to the region's climate. The inadequate management of these soils, mainly through the use of saline water, intensifies and accelerates the salinization process, so that, without intervention, these soils tend to become unviable for agricultural production. In the face this framework of socio-environmental impacts, it is necessary to develop techniques aimed at mitigating the use saline water in semi-arid soils, promoting the removal the excess salts from the soil, including the introduction tolerant plants. That way, the present dissertation aimed to evaluate the performance of *Chenopodium quinoa* Willd irrigated with filtered gray water and drinking water, linked to the use of soil conditioners, in mitigating the effects of salinization in the plant and in the soil. The experiment was carried out in a completely randomized design, in a 2 x 5 factorial arrangement and four replications, the first factor being the irrigation water (drinking water and filtered gray water) and the second the evaluated conditioners. The filtered gray water used was collected in a rural residence, which has a physical treatment system for gray water reuse (RAC), with drinking water from the University supply. For this, were used soil samples collected in the superficial layer (0-20 cm) of a Fluvic Cambisol, sieved and standardized for the setup of the experiment and for the analysis of chemical and physical characterizations. The soil was placed in polyethylene pots with 15 kg of soil, where they received the conditioners and their respective irrigation water: T1: control (without soil conditioner), T2: 1 application of organo-mineral fertilizer, T3: 2 applications of organo-mineral fertilizer, T4: 3 applications of organo-mineral fertilizer, T5: organic matter. Irrigation was performed in a 72 hours irrigation shift, applying an irrigation depth equivalent to 85% of field capacity. The dose of organo-mineral fertilizer was 20 ml pot⁻¹ at each application, and for the organic matter 160 g pot⁻¹ was incorporated into the soil. Biweekly, the biometric and photosynthetic parameters of the plants were evaluated. At 70 days after transplanting the seedlings, they were collected and fractionated into roots, stems, leaves and panicle to obtain their fresh, dry and total masses; allocation of relative biomass, sodium, chloride and potassium in plant parts; in addition to the measurement of electrical conductivity of the saturation extract (ECes), pH, determination of sodium, potassium chloride contents, and calculation of the percentage of exchangeable sodium in the soil after the experiment. Sodium and chloride allocation and phytoremediation potential were also determined. For the conditions in which the culture was submitted, it was found that quinoa had an excellent adaptation, regardless of the irrigation water, not interfering with its development. The treatment with 3 applications of the organo-mineral fertilizer, provided the plant better conditions when irrigated with filtered gray water. However, quinoa did not show good efficiency in removing salts from the soil, as the soil was irrigated, the values of ECes, PST, and the levels of sodium, chlorine and potassium increased. The use of this culture associated with irrigation with filtered gray water must be carried out with care, since quinoa does not prove to be a good salt extractor.

Keywords: Irrigation wastewater, Salinity, Phytoremediation.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural, indispensável para a manutenção da vida na terra, e de fundamental importância para o bem-estar social e desenvolvimento socioeconômico. O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial, atrelados ao uso irracional desse recurso, tem aumentado consideravelmente a demanda por água doce no mundo. À medida que a demanda por água potável aumenta, cresce na mesma proporção a geração de efluentes, que são descartados no meio ambiente.

Em regiões áridas e semiáridas a água é o fator limitante para o desenvolvimento socioeconômico. Essas localidades apresentam características intrínsecas, como, forte insolação, temperatura bastante elevada e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto espaço de tempo, resultando em reservas de água insuficientes em seus mananciais.

A região Nordeste abriga a maior parte do Semiárido brasileiro, que é caracterizado por um balanço hídrico negativo. No Brasil, a região semiárida representa 13,25% do território nacional, onde se incluem atualmente 1.262 municípios, numa área de 1.128.697 Km², e 27.870.241 habitantes, distribuídos em 9 estados do nordeste e mais o norte de Minas Gerais (IBGE, 2017). A escassez hídrica limita o desenvolvimento socioeconômico, sendo crucial a busca por alternativas que visem a mitigação dos efeitos deletérios da falta de água, em regiões áridas e semiáridas. Tendo em vista, a garantia da sustentabilidade da produção agrária, o uso de água residuária para irrigação, está aumentando consideravelmente, uma vez que é um recurso válido e de grande abundância, quando comparado com a água potável disponível para esta finalidade.

O reúso das águas secundárias é uma maneira de diminuir os impactos ambientais no meio ambiente, principalmente no solo e nos cursos d'água, além da disponibilidade de água para a irrigação de culturas forrageiras. Essa água possibilitará o desenvolvimento da região e também um aporte de nutrientes para as plantas. O uso desses efluentes tratados ou parcialmente tratados vem ganhando espaço nos últimos anos como forma de mitigar a escassez de água em áreas semiáridas. Esse tipo de água contém uma grande quantidade de sais, que podem ser acumulados ao longo do tempo de irrigação, acarretando danos severos para a maioria das culturas, através das modificações nas propriedades físico-hídricas do solo e consequências severas na porosidade, permeabilidade, capacidade de infiltração e retenção de água. As águas residuárias contém uma grande quantidade de matéria orgânica e

inorgânica, que modificam sua característica química, sendo de extrema importância a consideração de alguns fatores antes de sua utilização, como, tempo de irrigação, características da região e cultura a ser adotada e caracterização química da água.

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), pertence à família Amaranthaceae, subfamília Chenopodioideae, tem origem na região dos Andes e uma cultura milenar. As plantas apresentam grande variabilidade genética e relativa tolerância a estresses abióticos, como altas temperaturas, déficit hídrico, salinidade e acidez. Essa espécie dispõe de características importantes para o cultivo e diversificação da agricultura brasileira, principalmente na região Nordeste. A planta é bastante conhecida pelo seu alto valor nutricional, no entanto, está sendo difundida como cultura tolerante a estresses abióticos.

Diante de todos problemas que limitam o desenvolvimento socioeconômicos das regiões semiáridas, o déficit hídrico é o principal fator restritivo. As limitações anseiam por novas tecnologias e alternativas, como, o uso de condicionadores de solos, culturas tolerantes e águas de reúso, que, utilizadas em conjunto podem favorecer o desenvolvimento das regiões, sendo este o motivo precursor para o desenvolvimento da presente pesquisa. A irrigação com água cinza, atrelada ao uso de condicionadores e cultivo da quinoa, uma planta resistente a adversidades climáticas, possibilitará o desenvolvimento de áreas agricultáveis, diminuição dos impactos ambientais provocados pelo descarte dessas águas, além de fornecer ao agricultor um alimento altamente nutritivo, tanto para o sustento de sua família, quanto para uso em forragem animal. Além de ser uma alternativa potencial de renda, fortalecendo a agricultura da região semiárida.

Em função do exposto, o presente trabalho teve como objetivo geral, avaliar o potencial do uso de condicionadores de solo, atrelados a irrigação com água cinza filtrada, em favorecer o desenvolvimento de *Chenopodium quinoa* Willd, investigando-se uma alternativa viável para irrigação, além de uma cultura tolerante ao meio salino, promovendo o desenvolvimento da agricultura bioessalina no Semiárido de Pernambuco. Como objetivos específicos: verificar as alterações nas propriedades do solo submetido à irrigação com água potável e água cinza, atrelados à condicionadores de solo e cultivo da quinoa; avaliar o crescimento da quinoa sendo irrigada com duas águas distintas e sob aplicação de condicionadores de solo; avaliar as respostas fotossintéticas da quinoa irrigada com água potável e água cinza filtrada sob aplicação de condicionadores de solo; verificar a capacidade da quinoa em desenvolvimento em meio à água cinza e sob aplicação de condicionadores; comparar a capacidade da quinoa em desenvolver-se em meio salino, com o auxílio de

atenuadores de solo, possibilitando novas alternativas para o desenvolvimento da agricultura no semiárido Pernambucano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Água de reúso como alternativa para o semiárido

Os recursos hídricos foram usados por décadas descontroladamente, tendo como base a crença de que, seria um recurso inesgotável (FERREIRA et al., 2019). Embora a maior parte da superfície terrestre esteja coberta por água, 97% está represada em mares e oceanos, sendo desta maneira, inútil para o consumo humano (BARACUHY et al., 2015). De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2009) dos 3% de água doce restantes, 2,5% está represados em geleiras, sendo apenas 0,5% de toda essa água disponível para todos os usos da humanidade. A maior porção desta reserva está armazenada em aquíferos, lagos naturais, rios e represas. A água doce e potável não está ficando escassa apenas em quantidade, mas também em qualidade, sendo imprescindível uma gestão para o uso desse recurso (ALVES et al., 2015; CAVALCANTE, 2017).

Desta maneira, fica claro que a água doce existente no planeta é bastante escassa. O Brasil é um país privilegiado, detém 12% da água doce mundial, no entanto 70% está concentrado na Amazônia. O Nordeste brasileiro é a região mais afetada pela escassez de água, tendo como fator limitador o clima que não favorece a precipitação de chuvas periódicas (ARMADA & LIMA, 2017).

A competição pelo uso da água para as diversas atividades, depende muito do desenvolvimento do país. No Brasil, 82% da água é destinada à irrigação, 10% para indústria e 8% para uso doméstico, e essas variações oscilam muito de país para país. Sendo assim, a irrigação é a maior consumidora de água, exigindo fontes abundantes e com qualidade (MEDEIROS et al., 2010; CHANAKYA & KHUNTIA, 2014).

Do volume gerado de águas residuárias domésticas, as águas cinzas correspondem 67% desse total, excluindo as águas provenientes dos vasos sanitários, que são classificadas como águas negras. Em geral as águas cinza são compostas por 30% de fração orgânica e de 9 à 20% de nutrientes, e quando adequadamente manejadas, são uma excelente fonte nutricional

para as plantas, essas águas quando descartadas sem o devido tratamento, causam poluição, alterações e desequilíbrio ao meio ambiente e a saúde humana, através de doenças de veiculação hídrica (FOUNTOULAKIS et al., 2016).

A escassez hídrica verificada em alguns estados brasileiros, predominantemente na Região Nordeste, configura um dado alarmante principalmente pelo fato de que a demanda por água é crescente no Brasil. Para que o desenvolvimento socioeconômico seja possível em regiões áridas e semiáridas, se faz necessário a busca por alternativas que solucionem ou minimizem os impactos negativos pela escassez hídrica nessas localidades. Fatores climáticos ou aspectos relacionados com o crescente consumo de água, poluição dos corpos hídricos, desmatamento e má gestão do recurso, são as principais causas de escassez do recurso. Além disso, o Nordeste brasileiro tem um longo histórico relacionado com as secas e vulnerabilidade socioambiental, devido principalmente por faltas de políticas públicas eficientes (BARBOSA, 2019a).

A agricultura irrigada vem se tornando, nos últimos anos, umas das atividades mais importantes do Brasil. A irrigação e a drenagem dos campos irrigados são atividades que permitem compensar os efeitos negativos da má distribuição, espacial e temporal, das águas de precipitação (HESPANHOL, 2008; MIGUEL et al., 2013; CUNHA, 2018, EREL et al., 2019).

Em regiões áridas e semiáridas, a água é o fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola (HESPANHOL, 2008). Uma estratégia potencial para a racionalização desse bem natural indispensável, é o reúso da água para utilização em atividades que não exijam a utilização de água potável, como, para a irrigação agrícola (SCHAER-BARBOSA et al., 2014; LUCENA et al., 2018; BARBOSA et al., 2019b).

Águas residuais são provenientes das atividades humanas, vulgarmente denominada como esgoto, tendo origem doméstica ou industrial. As águas residuárias provenientes das atividades domésticas são divididas em dois grupos principais: águas negras, que são provenientes de vasos sanitários; e águas cinzas, que são coletadas das banheiras, chuveiros, pia da cozinha, lavatórios e máquina de lavar (DUARTE et al., 2017). As águas cinzas contém compostos decorrentes do uso de produtos químicos e orgânicos para as atividades de higienização, tais como banhos, lavagens de roupas ou limpeza em geral (LI et al., 2016).

O uso de águas cinzas, não fornecem apenas segurança hídrica para as culturas, mas também, fornece uma ciclagem de nutrientes. Esse efluente contém cargas de nitrogênio,

fósforo, muitos micronutrientes e matéria orgânica que são capazes de substituir os fertilizantes convencionais no cultivo de vegetais, proporcionando um ganho econômico e ambiental (MARINHO et al., 2013; FEITOSA, 2016).

Segundo Li et al. (2009), o volume de água cinza gerado diariamente, por uma pessoa varia de 90 a 120 L, alguns fatores podem influenciar nesse volume, como, estilo de vida, idade e sexo, costume e hábitos, instalações hidráulicas e disponibilidade hídrica. Todavia, esse volume de água residuária pode ser de 20 a 30 L por pessoa/dia, em comunidades de baixa renda e com escassez hídrica, ou que utilizem a captação de águas pluviais.

A água de reúso pode ter diversas finalidades, sendo para fins potáveis e não potáveis. Esses efluentes podem ser utilizados na limpeza de áreas interna e externa, para descarga de vasos sanitários, irrigação de jardins, chafarizes, aquicultura e irrigação agrícola. O reúso de água para a irrigação é o tipo mais utilizado de reaproveitamento do recurso hídrico (RABÊLO, 2011).

Para a regulamentação do reúso dos efluentes, é necessário sanear e regulamentar uma prática já existente. Para o Semiárido brasileiro que convive com rios intermitentes, significa a sustentabilidade dessas comunidades. A aceitação desse insumo para irrigação pelos agricultores, depende do acesso à informação, assim como, da percepção dos problemas limitantes relacionados à seca (SCHAER-BARBOSA et al., 2014).

2.2. Salinização dos solos pela água de irrigação

A agricultura irrigada desempenha um importante papel na ampliação de áreas agrícolas, possibilitando o desenvolvimento de várias regiões do globo terrestre, especialmente as regiões áridas e semiáridas (ANDRADE et al., 2009). A água utilizada na irrigação nessas regiões apresenta em grande parte alto teor de sais, tanto em águas superficiais quanto subterrâneas como nos açudes de pequeno e médio porte (superficiais) e poços (água subterrâneas) (MEDEIROS et al., 2003). Desta maneira, a prática de irrigação com água salina, associada ao regime irregular de chuvas e as condições climáticas tendem a aumentar consideravelmente os teores de sais solúveis e sódio trocável nos solos e nas águas de regiões áridas e semiáridas (BARROS et al., 2005; BARROS et al., 2009, PESSOA et al., 2010; DIAS et al., 2016). A avaliação da salinidade pode ser realizada através da relação entre a condutividade elétrica no extrato de saturação do solo (CE_{es}) e a porcentagem de sódio

trocável (PST) (RICHARDS, 1954). A Tabela 1 a seguir demonstra a classificação dos solos segundo esses parâmetros.

Tabela 1: Classificação de solos afetado por sais

Tipo de solo	C.E. (dS m⁻¹)	PST %
Normal	<4	<15
Salino	≥4	<15
Salino-sódico	≥4	≥15
sódico	<4	≥15

Fonte: Richards, 1954.

Os parâmetros para determinação da qualidade da água cinza, ainda são bastante discutidos, pois sua qualidade depende da finalidade à que ela será destinada. Como no Brasil ainda não existe um padrão de qualidade para cada tipo de uso, é necessário que haja uma caracterização físico-química dessa água (RAPOPORT, 2004). O Brasil possui apenas normas técnicas que auxiliam no tratamento e reúso dos efluentes, no entanto, sem caráter de lei (OLIVEIRA, 2019). A irrigação agrícola com água recuperada é uma tecnologia alternativa para minimizar os impactos negativos da seca em regiões áridas e semiáridas (CIRELLI et al., 2012), no entanto, a utilização de águas recuperadas, apresentam consequências positivas e negativas, o que irá depender da qualidade desse efluente (LYU & CHEN, 2016).

A utilização de águas cinzas para suprir as necessidades da irrigação no Semiárido brasileiro é inquestionável (CUNHA, 2018), no entanto, esse tipo de efluente contém compostos potencialmente perigosos, como sais e metais pesados, que ao longo do tempo, podem ser acumulados e reduzir as funções dos solos irrigados (TOZE, 2006; RABÊLO, 2011; CHEN et al., 2013). Questões acerca da segurança da água de irrigação passaram a ser evidenciadas, devido, aos níveis de salinidade em que prejudica a maior parte das culturas (TOZE, 2006; CHEN, 2013; CHEN, 2015).

Os impactos provocados pela irrigação com água de reúso, variam de acordo com a caracterização da água (maiores ou menores concentrações de sais) e o processo de tratamento, práticas da irrigação, propriedades do solo (estrutura, composição mineralógica, conteúdo de matéria orgânica e concentrações de nutrientes), características e tolerância da cultura à salinidade (capacidade e remover os sais), condições climáticas da região (índices pluviométricos) e práticas de manejo utilizadas (drenagem adequada, lavagem dos sais, práticas conservacionistas) (TOZE, 2006; CHEN et al., 2015). As águas cinzas possuem em sua composição resíduos de alimentos, óleos e gorduras, resíduos corporais, materiais de

limpeza de utensílios domésticos, lavagem de roupas e materiais de higienização pessoal (FEITOSA et al., 2011).

Os microrganismos do solo atuam na remoção da carga poluidora, enquanto a vegetação absorve os nutrientes presentes na água cinza, evitando concentrações excessivas dos elementos. O manejo inadequado do solo, atrelado ao excesso de carga poluidora, sobrecarrega o solo, e todas as substâncias presentes na água recuperada serão acumulados ao longo do tempo (KARLEN et al., 2003). O solo, portanto, deve passar por processos físicos, químicos e biológicos para a remoção da carga poluidora. Esses processos tem início no momento em que o efluente chega ao solo e prossegue durante a percolação do resíduo (CORAUCCI FILHO et al., 2003).

As águas cinzas apresentam características físicas que podem afetar o meio ambiente em que é utilizada, influenciando os valores de pH, oxigênio dissolvido e sólidos suspensos, no entanto, o elemento presente na água de irrigação reciclada de maior peso, é a salinidade (TOZE, 2006).

O nível de salinidade presente nas águas recuperadas é invariavelmente superior do que na água de abastecimento. Essa água contém um aumento em escala de Na^+ , Cl^- , e HCO_3^- representando riscos para os solos e plantas. Esses íons não são facilmente removidos durante o tratamento de águas residuárias convencional (CHEN et al., 2013).

A salinidade representada na forma de sódio pode afetar diretamente as propriedades do solo através do fenômeno de dispersão (HALLIWELL et al., 2001), interferindo diretamente na permeabilidade do solo (TOZE, 2006), com a diminuição da condutividade hidráulica (OSTER & SHAINBERG, 2001).

Vários estudos acerca do acúmulo de sais, provenientes da irrigação com água residuária ao longo do tempo, vem sendo ampliados. Em longo prazo, as águas residuárias irão aumentar a salinidade dos solos (FERREIRA, 2008). No entanto, é difícil estabelecer um prazo para que esses solos sejam contaminados a ponto de comprometer o desenvolvimento das culturas, uma vez que, depende de sua tipologia e principalmente da cultura adotada, como já foi discutido anteriormente. Se faz necessário combinar o uso de águas residuárias com práticas de controle da salinização e o primeiro passo é controlar a entrada de sais via água de irrigação (CARR, 2004; DIAS et al., 2016).

2.3. Condicionadores de solo como atenuadores do estresse salino em plantas

Para que as culturas possam sobreviver e reproduzir, necessitam de luz, ar, água, temperatura adequada e de uma série de elementos minerais, que são os nutrientes. Esse conjunto de elementos possibilitam que as plantas possam desenvolver-se perfeitamente em meio nutritivo (ALCARDE, 2007). Existem várias alternativas para remediação dos efeitos negativos em solos salino-sódicos, que podem ser alocadas em três grupos: biorremediação vegetativa com halófitas, lixiviação ou adição de produtos químicos e alterações orgânicas (SUN et al., 2020).

Na correção dos solos salino-sódicos e sódicos podem ser utilizados vários corretivos como é o caso do gesso, enxofre, sulfato de alumínio, cloreto de cálcio, fertilizantes organominerais e matéria orgânica (BARROS et al., 2009; SOUSA et al., 2012; VASCONCELOS et al., 2013; ARAÚJO et al., 2017). O desenvolvimento de novos produtos para a correção e fertilização dos solos constitui uma espécie de inovação estratégica para o Brasil, já que 75% dos fertilizantes são importados (CORRÊA et al., 2018).

A utilização da matéria orgânica aumenta a fertilidade do solo e sua capacidade de fornecer nutrientes para as plantas, especialmente o nitrogênio (SANTOS et al., 2016). Estudos comprovam que a utilização de adubo de origem orgânica, animal ou vegetal (esterco de curral, casca de arroz e vinhaça) associada a lavagem dos solos salinos, melhoram os aspectos produtivos dos solos, promovendo a diminuição da CE_{es} , PST e pH (GOMES et al., 2000; FREIRE & FREIRE, 2007). A adição de adubo orgânico é capaz de promover alterações no solo, podendo mitigar os impactos do estresse salino da água de irrigação na produção agrícola (BEZERRA, 2017).

A matéria orgânica não é considerada um corretivo químico, mas favorece melhorias químicas, físicas e biológicas em solos afetados por sais, favorecendo a fertilidade do solo. Esse composto promove a liberação de CO_2 e estimula a oxidação biológica e a atividade microbiana resultando na diminuição da CE_{es} , PST e aumentando a dinâmica da água no solo (SOUSA, 2017). A matéria orgânica é responsável tanto pela retenção como pela disponibilidade de nutrientes para a solução do solo, especialmente o N, P e S através do processo de mineralização (MIRANDA et al., 2011). Essa fonte de nutrientes é bastante utilizada no Semiárido, em virtude de seus efeitos positivos sobre as características físicas dos solos salinizados, e também pelo fato de serem de baixo custo de aquisição pelos agricultores. Estes compostos auxiliam na recuperação da estrutura e porosidade de tais solos, além de

disponibilizar nutrientes que podem favorecer o crescimento das plantas cultivadas em condições de estresse salino (SANTOS et al., 2016).

As substâncias húmicas são formadas a partir da decomposição de resíduos vegetais e animais, que podem ser utilizados como insumos alternativos para o manejo de diversas culturas e podem ser divididas nas seguintes frações, de acordo com as solubilidades em diferentes valores de pH: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas. Geralmente a fração humina é obtida por precipitação em meio alcalino. Os ácidos fúlvicos são solúveis tanto em meio ácido quanto em meio alcalino, enquanto os ácidos húmicos sofrem precipitação quando em meio ácido. As propriedades químicas, físicas e microbiológicas podem garantir um incremento na produtividade, promovendo benefícios para a estrutura química e física do solo e para o metabolismo da planta (CARON et al. 2015).

A utilização de ácidos húmicos tem um papel importante na promoção do crescimento das plantas atuando como bioestimulante na proteção da cultura contra o estresse salino (LI, et al., 2016; SAIDIMORADI et al., 2019). Sua aplicação causa alterações no metabolismo primário e secundário da planta ligada ao estresse abiótico, levando a melhoria do crescimento da planta e aumento da resistência contra o estresse abiótico (CANELLAS et al., 2015). Ácido fúlvico é uma classe de polímero orgânico natural que pode ser extraído do húmus encontrado em sedimentos, solo ou ambientes aquáticos, constituindo-se de uma fração da matéria orgânica do solo (ARAÚJO, 2019).

Fertilizantes organominerais é o produto resultante da combinação de fertilizantes orgânicos e minerais. De acordo com as especificações devem conter em sua composição: C orgânico mínimo total de 8%, teor de umidade máximo de 25%, CTC mínima de 20 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ e conteúdo mínimo de 10% para a soma de N, P_2O_5 e K_2O (MORAIS & GATIBONI, 2015). Os fertilizantes podem apresentar-se na forma líquida ou sólida, e os diferentes resíduos utilizados na fabricação, visam atender as demandas nutricionais das culturas em diferentes tipos de solos (MORAIS & GATIBONI, 2015).

A utilização de fertilizantes líquidos, via água de irrigação, apresenta diversas vantagens como: a) melhor aproveitamento dos equipamentos de irrigação; b) economia de mão-de-obra; c) distribuição uniforme e localizada dos fertilizantes; d) aplicação de adubo em qualquer fase de desenvolvimento da cultura; e) eficiência do uso e economia de fertilizantes; f) redução da compactação do solo e dos danos mecânicos à cultura; g) controle da

profundidade de aplicação; h) possibilidade de aplicação de micronutrientes (FERNANDES et al., 2007).

Embora cada um dos condicionadores apresente suas vantagens e desvantagens isoladamente, fazer o consórcio de condicionadores com técnicas que buscam a mitigação dos efeitos negativos da salinidade no solo e nas plantas é essencial, uma vez que, os resultados podem ser promissores, em relação ao crescimento da cultura e propriedades do solo (SUN et al., 2020).

2.4. *Chenopodium quinoa* Willd como alternativa para agricultura bioessalina

A salinização dos solos é um dos principais problemas em áreas irrigadas, uma vez que, a maior parte das plantas são glicófitas, e, portanto, altamente sensíveis a níveis altos de salinidade (TIMM, 2012). As plantas que conseguem suportar altos níveis salinos sem afetar seu crescimento são denominadas de halófitas (ESTEVES & SUZUKI, 2008). Plantas halófitas são bastante promissoras para regiões áridas e semiáridas.

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) pertence à família das *Amaranthaceae* é originária da região andina, local onde foi domesticada e cultivada há milhares de anos pela população que ali vive (BONAMIGO, 2019). A família das *Amaranthaceae* é um grupo de plantas que compreende o maior número de gêneros halófitos (es decir, “amantes do sal”) (ADOLF et al., 2013). A quinoa é um pseudocereal, cultivado principalmente na Argentina, Chile, Bolívia, Equador, Colômbia e Peru, mas que está ganhando o mundo por apresentar alto valor nutricional, além de adaptar-se aos mais variados solos e condições climáticas (SPEHAR & SANTOS, 2002). De acordo com Spehar & Santos (2001), por ser um alimento equilibrado pode complementar a alimentação humana e animal, utilizando-se a planta inteira, apresentando vantagens nutricionais sobre a soja e o milho.

A quinoa é uma granífera, considerada uma halófita opcional, onde algumas variedades têm capacidade de suportar níveis de salinidade presentes na água do mar, com uma condutividade elétrica (CE) de 50 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (BIONDI et al., 2014). Apesar da quinoa suportar altos teores salinos a mesma contém outras características importantes, como a de suportar grandes períodos de seca severa, geadas, além de seu alto poder nutricional (RUIZ et al., 2016). A cultivar BRS Piabiru é a primeira recomendada para o Brasil (SPEHAR, 2006). A área plantada, ainda que pequena, tem potencial de crescer, para atender à demanda

brasileira, hoje suprida pelo produto importado. Preços atrativos fazem aumentar o interesse de produtores, pesquisadores e indústria alimentícia (KASPCHAK, 2015).

O crescente aumento de áreas salinas demanda abordagens que buscam a sustentabilidade. Desta maneira, uma opção viável para essas áreas é o cultivo de culturas halófitas como a quinoa (YANG et al., 2018). Plantas que pertencem ao grupo das halófitas são capazes de adaptar-se, minimizando os efeitos nocivos da salinidade sobre a colheita, crescimento e produção das culturas (CAI & GAO, 2020). Essas espécies não são apenas capazes de sobreviver em meio salino, mas também de se beneficiar da irrigação, sendo uma cultura ideal para o desenvolvimento dessas regiões (LQBAL et al., 2019).

Segundo Jojoa (2018), a quinoa cultivada em solos salinos alcançam de 1 a 1,50 m com caule principal bem desenvolvido, alto conteúdo de saponina, frutos com as bordas afiadas, adaptadas a solos salinos e de pH elevado (7,5 a 8) e com precipitação de 300 mm. Os grãos, em geral, são amargos, com elevada percentagem de proteínas. Seu período vegetativo dura aproximadamente entre 154 e 170 dias.

A quinoa é uma cultura que apresenta grande variabilidade genética, possui uma excelente adaptação a diversos sistemas ecológicos, tolerando climas quentes e secos, como no deserto. A planta apresenta boa adaptação em locais onde a umidade fica em torno de 40 a 80% numa temperatura ideal em torno de 15 a 20°C, tolerando temperaturas entre 4 a 39°C; apresenta boa produtividade com precipitações entre 100 a 2000 mm (BONAMIGO et al., 2019).

A planta possui alta tolerância a variados estresses abióticos, o que permite seu cultivo em diversas regiões do planeta (SPEHAR et al., 2011). No entanto, antes de seu cultivo é importante verificar se a espécie escolhida está adaptada ao clima da região em que será inserida. Como ainda é uma cultura relativamente nova no Brasil, recomenda-se começar com poucas sementes e depois multiplicar. No comércio encontra-se sementes originárias dos Andes e do Chile, que são adaptadas para o cultivo nessas regiões (COSTA JÚNIOR, 2017). Os primeiros estudos com a quinoa no Brasil estão sendo desenvolvidos pela Embrapa Cerrado e Universidade de Brasília, buscando cultivares que sejam adaptadas à região Semiárida brasileira (SPEHAR et al., 2011).

2.5. Extração de sais por culturas tolerantes

O aumento de áreas degradadas pela salinidade e, ou, sodicidade de solos tem ocorrido no Brasil e por todo o mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas. As técnicas utilizadas para a recuperação dessas áreas, implicam na utilização de corretivos e aplicação de grande lâmina de água para lixiviação, dificultando o processo (PEQUENO et al., 2014). A implantação de espécies de plantas que sejam capazes, não apenas de tolerar a salinidade, como também de produzir biomassa suficiente para extrair quantidades consideráveis dos sais do solo é uma estratégia que está sendo amplamente estudada (FREIRE et al., 2010; SILVA et al., 2016; RICARDO, 2019).

A fitorremediação consiste no uso de plantas que auxiliam na melhoria da qualidade ambiental. O emprego de vegetação halófitas para a extração de sais, através da absorção e acúmulo dos sais nos tecidos vegetais, é denominada de fitoextração, de acordo com Qadir et al. (2007), esses autores afirmam que a fitoextração é uma estratégia eficiente de recuperação de solos salino-sódicos, com performance comparável à utilização de corretivos químicos.

Para que o processo de fitoextração em solo salino-sódico seja eficiente, é recomendável que a espécie cultivada seja hiperacumuladora de sais (especialmente NaCl) e produza grande quantidade de biomassa para que a extração de sais seja satisfatória (SOUZA et al., 2011). Culturas halófitas são capazes de acumular ou extrair íons de forma seletiva, controlando a entrada de íons pelas raízes e transporte para as folhas (parte aérea), possibilitando a remoção dos sais com a colheita das plantas (LEAL et al., 2008), além do acúmulo de íons a nível celular em seus vacúolos, e estrutural pelas folhas; síntese de osmólitos; alterações nas vias fotossintéticas; modificações nas estruturas das membranas; indução de hormônios e de enzimas (PEDROTTI et al., 2015).

O período para recuperação dos solos através da fitoextração, pode ser relativamente longo, quando comparado com outras técnicas. No entanto, Qadir et al. (2007), descrevem os benefícios da técnica como sendo: elimina o alto custo com corretivos químicos; possibilita o uso de produtos fornecidos pela espécie cultivada; melhora a estabilidade dos agregados do solo e a criação de macroporos, o que otimiza as propriedades hidráulicas do solo e a proliferação das raízes; promove maior disponibilidade de nutrientes; possibilita a recuperação do solo em profundidades maiores; e após a fitorremediação e no próprio processo, o solo pode aumentar o sequestro de carbono, tendo implicações ambientais

positivas. Além de ser uma solução viável para pequenos agricultores que, normalmente, dispõem de poucos recursos financeiros.

No Brasil estudos voltados para as halófitas vem ganhando espaço, com a *Atriplex numulária* (COSTA & BONILLA, 2016). Recentemente, tem havido um interesse crescente na introdução da quinoa (*Quinoa chenopodium* Willd) como uma alternativa à prova de intempéries, safras resistentes ao sal e à seca (ALY et al., 2018). Em sua adaptação ao cultivo no Brasil, a quinoa tem apresentado grande tolerância ao estresse (seca, acidez do solo, baixas temperaturas), elevados rendimentos de grãos e de biomassa (SPEHAR, 2006). São inúmeras as espécies halófitas, sendo de fundamental importância avaliar a quantidade de sais que podem ser extraídos, a produção de biomassa vegetal e seu potencial como alimento forrageiro.

O emprego de técnicas de fitorremediação apresenta-se como um método bastante promissor para regiões áridas e semiáridas brasileiras, sendo um método de remediação para solos contaminados com custo razoável, técnica ambientalmente segura e de maior aceitação pelos agricultores. Estudos voltados para as halófitas, representa um enorme potencial biotecnológico e econômico intenso para a produção de alimentos (para alimentação humana e animal) e substâncias bioativas (BARRETO, 2020).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. localização da área de ensaio

O presente trabalho foi realizado no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco / Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST, no município de Serra Talhada – PE (altitude: 429 metros, latitude: 7° 56' 15'' S e longitude: 38° 18' 45'' O) semiárido Pernambucano. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BShw' semiárido, quente e seco, registrando-se durante os meses do experimento (fevereiro, março e abril) uma temperatura média alta de 30,9° C e média baixa de 22,6°C, segundo o Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). O período chuvoso é concentrado entre os meses de dezembro e maio, com 85% da média anual (ALVARES et al., 2013).

3.2. Características do solo

O solo utilizado no experimento foi um Cambissolo Flúvico, o qual foi coletado na área experimental do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) no referido município, na camada superficial (0-20 cm). Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2 mm para as caracterizações químicas e físicas, e em malha de 4 mm para a montagem de todo experimento. A Tabela 1 apresenta as características iniciais do solo.

Tabela 2: Caracterização física e química da camada superficial (0-20cm) do solo antes do cultivo da *Chenopodium Quinoa Willd.*

Camada	Areia	Silte	Argila	pH	CEes	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	PST	Ds
Cm	g kg ⁻¹		H ₂ O	dS m ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹					%	g cm ⁻³	
0-20	827,91	77,63	94,45	6,53	0,49	0,17	0,15	2,53	1,08	4,55	3,04	1,34

pH: Potencial hidrogeniônico; CEes: Condutividade elétrica do extrato de saturação; CTC: Capacidade de troca de cátions; PST: Percentagem de sódio trocável; Ds: Densidade do solo.

3.3. Caracterização das águas utilizadas para a irrigação

Foram utilizadas duas águas para a irrigação: a primeira, água potável, proveniente do abastecimento das torneiras da Universidade, mesma água que é distribuída na rede de abastecimento urbano para toda a cidade; a segunda, água cinza filtrada, coletada em uma residência, localizada na comunidade rural de Lagoa da Favela, município de Flores-Pernambuco. A caracterização química das águas está descrita na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização química da água potável (AP) e da água cinza (AC) utilizadas na irrigação da quinoa durante todo experimento.

Componentes	AP	AC	Componentes	AP	AC
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	0,64	6,46	Cloro (mmol _c L ⁻¹)	0,60	10,47
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	0,48	1,87	Cobre (mg L ⁻¹)	0,04	0,02
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	0,32	7,79	Ferro (mg L ⁻¹)	0,08	4,29
Potássio (mmol _c L ⁻¹)	0,07	1,39	Manganês (mg L ⁻¹)	0,03	0,03
Carbonato (mmol _c L ⁻¹)	0,00	0,00	Zinco (mg L ⁻¹)	0,05	<LQ

Bicarbonato (mmol_c L⁻¹)	0,40	7,69	pH	7,2	7,08
Sulfatos (mmol_c L⁻¹)	0,04	0,74	CE dS m⁻¹	0,20	2,19
RAS¹ (mmol_c L⁻¹)^{0,5}	0,27	3,82	Classificação da água*	C1S1	C3S1

*Classificação da água quanto ao risco de salinização e sodificação proposta por Richards (1954); ¹Razão de Adsorção de Sódio; <LQ – menor que o limite de quantificação.

A água cinza filtrada foi coletada em uma das residências que contém um Sistema de Reúso de Água Cinza (RAC), destinado a irrigação de sistemas agroflorestais. O RAC foi confeccionado para captar a água proveniente da pia da cozinha, da lavagem de roupas, da pia do banheiro e do chuveiro. O sistema de captação da água, é composto por uma caixa de retenção de gordura, um tanque de filtragem (formado por uma camada superficial de carvão vegetal, seguidas por uma camada de brita grossa, areia grossa, areia fina e brita fina, respectivamente) (MARTINS JUNIOR & MARTINS, 2016) onde sua função é reter as partículas maiores da própria gordura, restos de sabão e orgânicos, que não foram retidas na caixa de gordura, e por último, um tanque tranquilizador, onde é realizada a captação da água utilizada para irrigação.

3.4. Caracterização do fertilizante organomineral

O fertilizante organomineral de classe A, foi adquirido da empresa Agro Comercial Wiser LTDA. O produto “Pronto Solo Wiser” é comercializado para aplicação direta ou via fertirrigação, a descrição da composição do produto está descrita na Tabela 4. Com uma densidade de 1,29 g/mL e pH de 2,9, os nutrientes são solúveis em água.

Tabela 4: Caracterização química do fertilizante organomineral “Pronto Solo Wiser”

Componentes (Solúvel em água)	Concentração (%)	Concentração (g/L)
C	18,0	232,2
N - Total	1,5	19,35
P₂O₅	1,0	12,9
K₂O	1,4	18,06
Ca	2,4	30,96
Mg	0,3	3,87
Ácidos Húmicos	2,3	29,67
Ácidos Fúlvicos	26,0	335,4

*C: carbono; N: nitrogênio; P₂O₅: óxido de fósforo; K₂O: óxido de potássio; Ca: cálcio e Mg: magnésio.

Fonte: Agro Comercial Wiser LTDA, 2021.

O produto é prescrito pelo fabricante como, melhorador do equilíbrio do pH e incrementador da CTC, além de potencializa a atividade microbiana; nessa perspectiva recupera solos salinos; otimiza o aproveitamento dos nutrientes do solo e aumenta a retenção da água. Ainda segundo fabricante também traz benefícios para as plantas, agindo como desintoxicante natural, aumentando o teor de açúcares nos frutos e proporcionando maior desenvolvimento radicular.

3.5. Montagem do experimento

O experimento consistiu em um arranjo fatorial de 2 x 5, sendo duas águas para irrigação e cinco condicionadores de solo: testemunha (sem adição de condicionador de solo), uma aplicação de fertilizante organomineral, duas aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organominerail e matéria orgânica. As águas para irrigação é uma água potável e a outra é classificada como água cinza, e cada tratamento contou com quatro repetições, desta maneira, contabilizou-se 40 unidades experimentais. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado.

O solo coletado foi seco ao ar, destorroado e peneirado, em seguida foi acondicionado em vasos de polietileno contendo 15 kg de solo. As sementes utilizadas para a produção das mudas foram cedidas pela Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados de Brasília, sendo transplantadas para os vasos após 20 dias da germinação.

A dose do fertilizante organomineral foi definida em 20 mL vaso⁻¹, sendo cada aplicação correspondente a 20 mL vaso⁻¹ e para a matéria orgânica foi incorporada ao solo 160 g vaso⁻¹, equivalente a 30 t ha⁻¹. Com relação a matéria orgânica, utilizou-se composto orgânico à base de esterco bovino. Essas determinações foram calculadas com base na indicação nutricional para a cultura da quinoa.

A matéria orgânica foi incorporada ao solo, antes de ser acondicionado no vaso, que em seguida, receberam o volume de 3,2 L de água, o necessário para levá-los a capacidade de campo. Esse volume foi previamente estabelecido, determinada por diferença de massa de um vaso com solo seco, que foi saturado por capilaridade, e a massa do solo úmido após cessada por completo a drenagem natural. Os vasos foram mantidos a uma umidade correspondente à 85% da capacidade de campo. A irrigação foi realizada em um turno de rega de 72 horas.

Os vasos devidamente montados, receberam o volume de 3,2 L levando-os à capacidade de campo, em seguida foram submetidos ao cultivo da quinoa. Após 5 dias de aclimatação, foi realizada a primeira aplicação do fertilizante organomineral, a segunda e terceira aplicação forma realizadas com intervalos de 15 dias entre uma aplicação e outra.

3.6. Parâmetros avaliados

Após o início da aplicação dos tratamentos (DAT) o experimento foi conduzido por 70 dias. Quinzenalmente, foram realizadas medidas biométricas e fotossintéticas, ao final do experimento foram realizadas análises laboratoriais de solo e planta.

3.6.1. Parâmetros biométricos

Os parâmetros biométricos foram determinados quinzenalmente, medindo-se a altura da planta com o auxílio de uma trena e o diâmetro do caule com o auxílio de um paquímetro.

3.6.2. Parâmetros fotossintéticos

Os parâmetros fotossintéticos foram realizados quinzenalmente, sendo determinadas as trocas gasosas a nível foliar (assimilação líquida de CO₂, condutância estomática, concentração intercelular de CO₂ e transpiração). Para estas determinações utilizou-se um Analisador Portátil de Gás a Infravermelho (IRGA), modelo Licor 6400XT, operando com luz artificial de 1000 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Com a coleta dos dados foi possível a determinação da eficiência instantânea do uso da água (assimilação líquida de CO₂/transpiração).

3.6.3. Análises de plantas

Passados os 70 dias do transplântio, as plantas foram coletadas rente ao solo, para a determinação da massa fresca e posteriormente da massa seca da parte aérea, em seguida todo o solo do vaso foi destorreado e passado em peneira de 4 mm para a retenção das raízes, todo material retido foi lavado em água corrente em abundância. Com todas as partes da planta separadas, as mesmas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa à 65°C até atingir peso constante, determinando-se a massa seca de todos os componentes da planta (DETMANN et al., 2012).

Toda matéria seca, da parte aérea e raízes foram trituradas, em um moedor manual do tipo B-3, para a obtenção das farinhas, para posteriores determinações dos teores de sódio (Na⁺), potássio (K⁺) e cloro (Cl⁻), nas raízes, hastes, folhas e panícula da quinoa.

Para a determinação dos teores do sódio e potássio, foram pesadas amostras (50 mg) da matéria seca dos tecidos vegetais e submetidas a extração por incubação em tubos de ensaio com tampas rosqueáveis, contendo 10 mL de água ultra-pura e fervidos em banho maria a 100°C por 1 hora. Os extratos foram filtrados em papel filtro e algodão, em seguida utilizados nas leituras de Na⁺ e K⁺ em fotômetro de emissão de chama (MALAVOLTA et al., 1989).

O teor de cloreto (Cl⁻) foi determinado de acordo com Malavolta et al., (1989). Amostras (100 mg) de matéria seca foram submetidas a agitação, contendo 25 mL de água ultra-pura por 10 minutos. Os extratos foram filtrados e coletados 10 ml para a titulação em nitrato de prata (AgNO₃), utilizando o cromato de potássio (K₂CrO₄ 5%) como indicador.

3.6.4. Análises do solo

Para a avaliação dos atributos químicos do solo, as amostras foram secas ao ar e submetidas às análises dos elementos solúveis, por meio do preparo da pasta de saturação, pelo método descrito por Richard (1954). No extrato da pasta de saturação, foram medidos a condutividade elétrica (CE a 25°C) e determinados os cátions solúveis Na⁺ e K⁺ por fotometria de emissão de chama; e o ânion Cl⁻ por volumetria.

No solo foi medido o pH em água, onde uma amostra (10 g) de solo foi dissolvida em 25 mL de água destilada, agitada por 30 segundo e deixada descansar por 30 minutos, para então realizar a leitura. O cátion trocável, Na⁺ foi extraído em solução de acetato de amônio 1 mol L⁻¹ e determinado em fotometria de chama.

Com base nos resultados das análises foi possível calcular a porcentagem de sódio trocável (PST), conforme descrito por Richard (1954):

$$PST = \frac{Na_{trac}}{CTC} \times 100$$

e para o cálculo da biomassa relativa foi utilizada a equação a seguir:

$$BR = \frac{MFT}{T_c} \times 100$$

sendo MFT massa fresca total e T_c tratamento controle.

3.7. Análise dos dados

Os dados foram submetidos a uma verificação e constatação da distribuição normal e homecedasticidade, premissas da análise de variância. Posteriormente os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) com as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com o auxílio do software SISVAR para análises estatísticas, versão 5.6 (FERREIRA, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades químicas do solo

Aos 70 dias do transplântio, os solos irrigados com água potável apresentaram pH inferior em relação aos solos irrigados com água cinza filtrada (Figura 1A). Houve um aumento de 13% no pH dos solos irrigados com água cinza em relação aos solos irrigados com água potável. No entanto, todos os tratamentos estão dentro a faixa ótima de pH (entre 6,5 e 8,5) ideal para a nutrição de plantas conforme Risi & Galwey (1991).

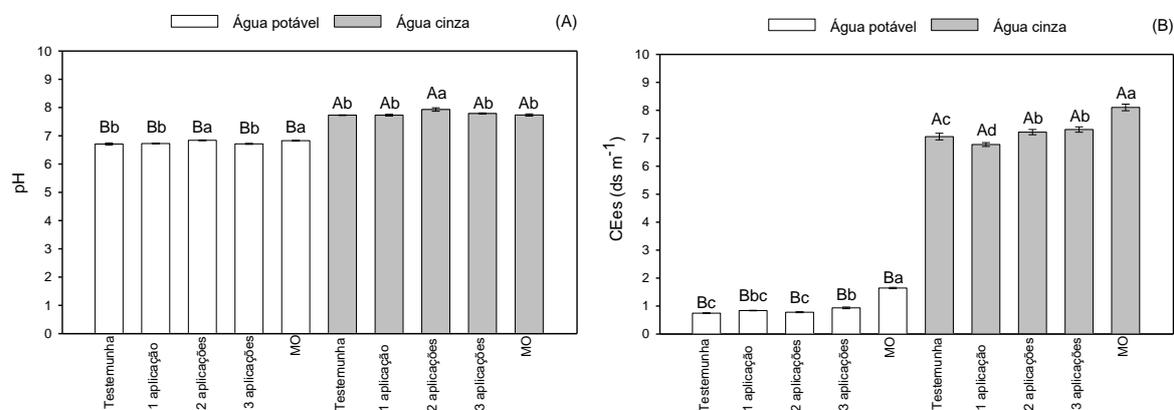


Figura 1: Valores médios ($n = 4$) de pH (A) e CE_{es} (B) do solo após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os solos que foram irrigados com água potável apresentaram uma condutividade elétrica dentro da normalidade, apesar de terem apresentado um aumento na condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação (CE_{es}) (Figura 1B), em relação a caracterização inicial do solo. Sendo o maior valor de 1,7 dS m⁻¹ para o tratamento que recebeu matéria

orgânica, os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si, dentre a mesma água de irrigação. O tratamento matéria orgânica irrigado com água potável apresentou um acréscimo de 100% em relação à média da CE_{es} dos demais tratamentos, dentre a mesma água de irrigação.

A irrigação com água cinza promoveu para todos os tratamentos o aumento da CE_{es} (Figura 1B) que por ter sido maior que 4 dS m^{-1} é classificado como salino (RIBEIRO et al., 2009). A água cinza de irrigação, classificada como C3S1 (Tabela 2) (alto risco de salinidade e baixo risco de sodicidade, respectivamente), promoveu o acúmulo de sais no solo ao longo do tempo de irrigação, sem que haja uma drenagem adequada esse efeito será acumulativo.

O maior valor de CE_{es} pôde ser observada no tratamento que recebeu matéria orgânica como condicionador, em ambas as águas de irrigação. O tratamento matéria orgânica, irrigado com água cinza, obteve um acréscimo de 13% na CE_{es} com relação aos demais condicionadores e testemunha, seguido pelos tratamentos 3 e 2 aplicações do fertilizante organomineral respectivamente. O aumento da CE_{es} é notório quando comparadas as águas de irrigação. A água cinza apresenta um acréscimo de 736,4% em relação a água potável.

Embora o aumento da salinidade do solo tenha sido considerável, a cultura da quinoa não apresentou indícios de estresse salino, possivelmente o acúmulo de sais foi sendo distribuído ao longo do ciclo da cultura (SILVA et al., 2018), além de sua considerável tolerância a salinidade. A matéria orgânica desempenha uma função primordial no solo, pois possibilita melhorias de estrutura e aeração, retenção de umidade, incorporação de nutrientes como nitrogênio, enxofre e outros, além do aumento do tamponamento do solo (BARROS, 2013). Algozaibi et al. (2015) obtiveram melhores resultados para o rendimento da quinoa quando os níveis de CE_{es} em torno de 8 dS m^{-1} , sem nenhum prejuízo a cultura. Todavia, a irrigação contínua com água cinza, irá promover ao longo do tempo o acúmulo de sais no solo. A utilização desse tipo de água para a irrigação das culturas pode ser considerada como um manejo sustentável, desde que haja chuvas suficientes na região para promover a lixiviação sazonal dos sais (EREL et al., 2019). Os solos eram irrigados à 85% da capacidade de campo, não havendo a possibilidade de lixiviar esses sais, acarretando o acúmulo gradativo ao longo do experimento.

Para o solo irrigado com água potável, houve um aumento na PST de 14 vezes maior, com relação a PST inicial do solo (Tabela 2), no entanto, permanece dentro da faixa permitida para solos sem problemas de sodicidade. Com base nos dados para classificação dos solos

halomórficos, os solos que receberam água cinza na irrigação passaram a ser salino-sódico apresentando uma PST superior à 15% e CE_{es} superior à 4 dS m^{-1} , como mostra a Figura 2. A média dos tratamentos com irrigação com água cinza, apresentaram ao final do experimento uma PST maior 87 vezes, com relação a PST inicial do solo. O valor exato da PST para solos sódicos e não sódicos, ainda não segue um padrão universal, 15% é a faixa limite para a determinação de efeitos graves sobre as propriedades físicas dos solos (RIBEIRO, 2010).

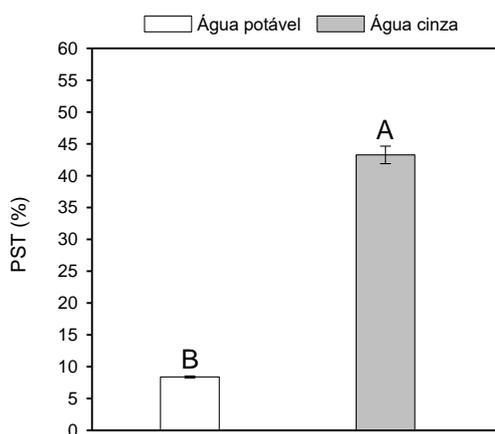


Figura 2: Valores médios ($n = 5$) de porcentagem de sódio trocável (PST %) do solo após 70 dias do transplante, em função das águas de irrigação, água potável e água cinza, respectivamente. Letras maiúsculas representam diferença de águas. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao avaliar os teores de Na^+ solúvel, os tratamentos que foram irrigados com água potável não apresentaram diferença entre a testemunha e os tratamentos que receberam fertilizante organomineral como condicionador (Figura 3A), independentemente da quantidade de aplicações. No entanto, houve diferença entre o tratamento que recebeu matéria orgânica como condicionador, concentrando o dobro da quantidade de sódio, presente nos demais tratamentos.

Com relação aos tratamentos irrigados com água cinza, os valores de Na^+ solúvel tiveram um acréscimo de 15 vezes superior aos tratamentos irrigados com água potável. Assim como nos tratamentos com água potável, o tratamento que obteve maior média foi o tratamento que recebeu matéria orgânica como condicionador, obtendo um acréscimo de 11% com relação aos outros tratamentos, inclusive a testemunha. Independente da água de irrigação, houve o acúmulo do íon sódio no solo, para todos os tratamentos incluindo a testemunha, quando comparados aos valores encontrados na caracterização inicial do solo. Portanto, indica que a presença dos condicionadores não foi capaz de inibir o acúmulo desse íon no solo, causado pela água de irrigação ao longo do experimento.

A Figura 3A representa o acúmulo de Na^+ no solo, para ambas as águas de irrigação o tratamento matéria orgânica obteve os maiores valores para esses elementos, indicando que esse condicionador não proporcionou a absorção de Na^+ pela planta, concentrando esse elemento no solo. A presença de sais no solo pode comprometer o desenvolvimento da cultura através de dois processos: redução da absorção de água e elevada concentração de íons no fluxo transpiratório (PEDROTTI et al., 2015).

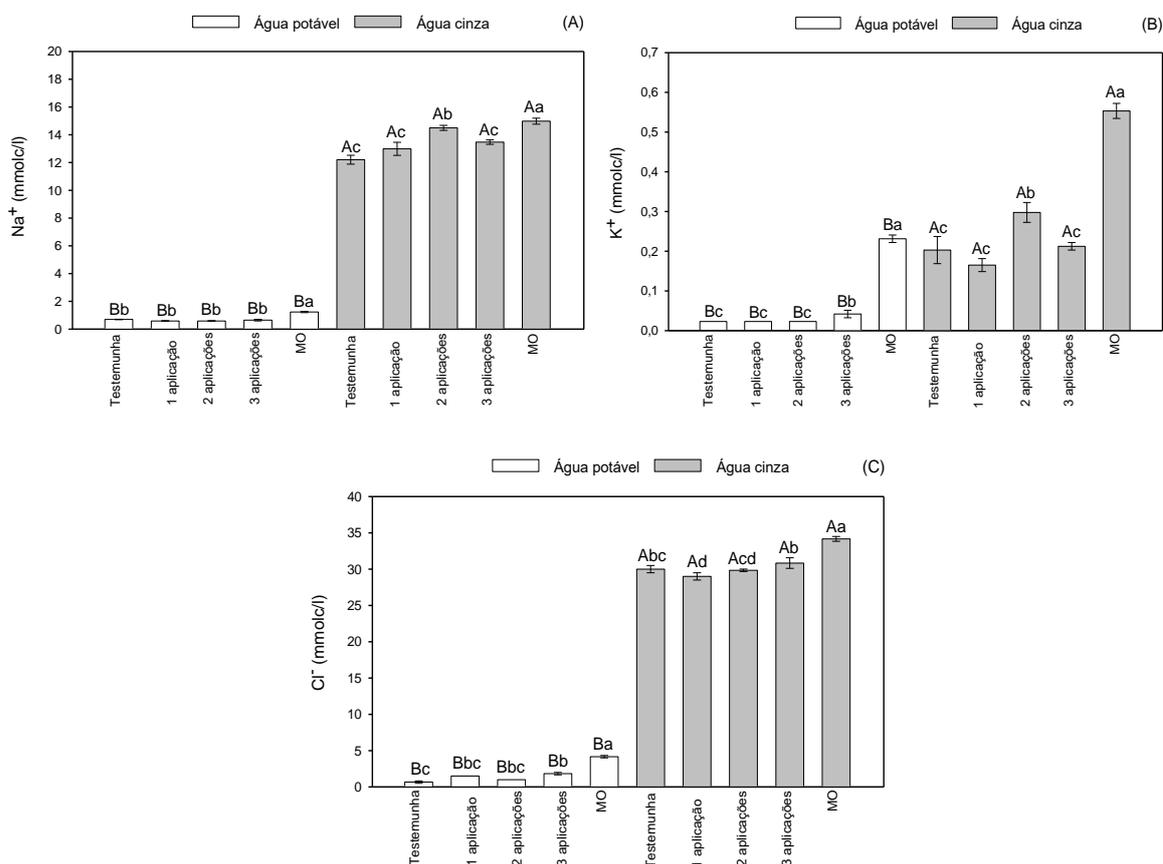


Figura 3: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ solúvel (A), K^+ solúvel (B) e Cl^- solúvel (C) do solo após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre os condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Figura 3B, o acréscimo do teor de potássio para o tratamento matéria orgânica, irrigado com água potável, apresentando um aumento de 551% em relação aos demais tratamentos irrigados com a mesma água, seguido pelo tratamento de 3 aplicações do fertilizante organomineral, obtendo um acréscimo de 45% em relação aos tratamentos testemunha, 1 e 2 aplicações do fertilizante. Embora, os demais tratamentos (testemunha, 1 e 2 aplicações do fertilizante organomineral) tenham obtido um acréscimo no teor do elemento, não houve diferenças significativas entre eles.

Para os tratamentos que foram irrigados com água cinza ocorreu o acúmulo do teor deste íon (K^+) no solo, para todos os tratamentos, inclusive a testemunha, em comparação aos tratamentos irrigados com água potável (Figura 3B), embora os tratamentos irrigados com água cinza tenham um acúmulo maior, ainda são valores bem baixos para a disponibilidade desse elemento para as plantas. Em solos que apresentam um teor maior de areia, esse efeito é de suma importância, já que o potássio é um elemento extremamente lixiviável, comprometendo sua disponibilidade para as plantas, elevados níveis de salinidade interfere na absorção dos nutrientes pelas plantas, especialmente K^+ (RAIJ 2011).

As plantas absorvem o potássio na forma de K^+ solúvel e é nessa mesma forma iônica que este elemento se encontra nas águas. Sua importância tem relação com a sua utilização na nutrição das culturas via água de irrigação, quando o potássio se faz presente (SILVA et al., 2016). Souza et al., (2018), obtiveram melhores resultados para os teores de potássio em seu experimento com sorgo, no momento em que houve a associação da matéria orgânica e da água salina utilizada para irrigação, concluindo que a adição da matéria orgânica evitou que o teor do íon potássio diminuísse quando foi sendo incrementado os níveis de salinidade.

Com relação ao teor de Cl^- (Figura 3C) foi observado o mesmo comportamento que os íons anteriormente descritos (Na^+ e K^+). O tratamento matéria orgânica irrigado com água potável, obteve um acréscimo de 235% com relação à média dos demais tratamento dentro da mesma água de irrigação.

Os solos irrigados com água cinza obtiveram um acréscimo de 1681% com relação aos solos irrigados com água potável, sendo evidente a diferença entre as águas de irrigação. Para os tratamentos irrigados com água cinza, o tratamento matéria orgânica sobressaiu em 14% com relação aos demais tratamentos, dentre os solos irrigados água cinza.

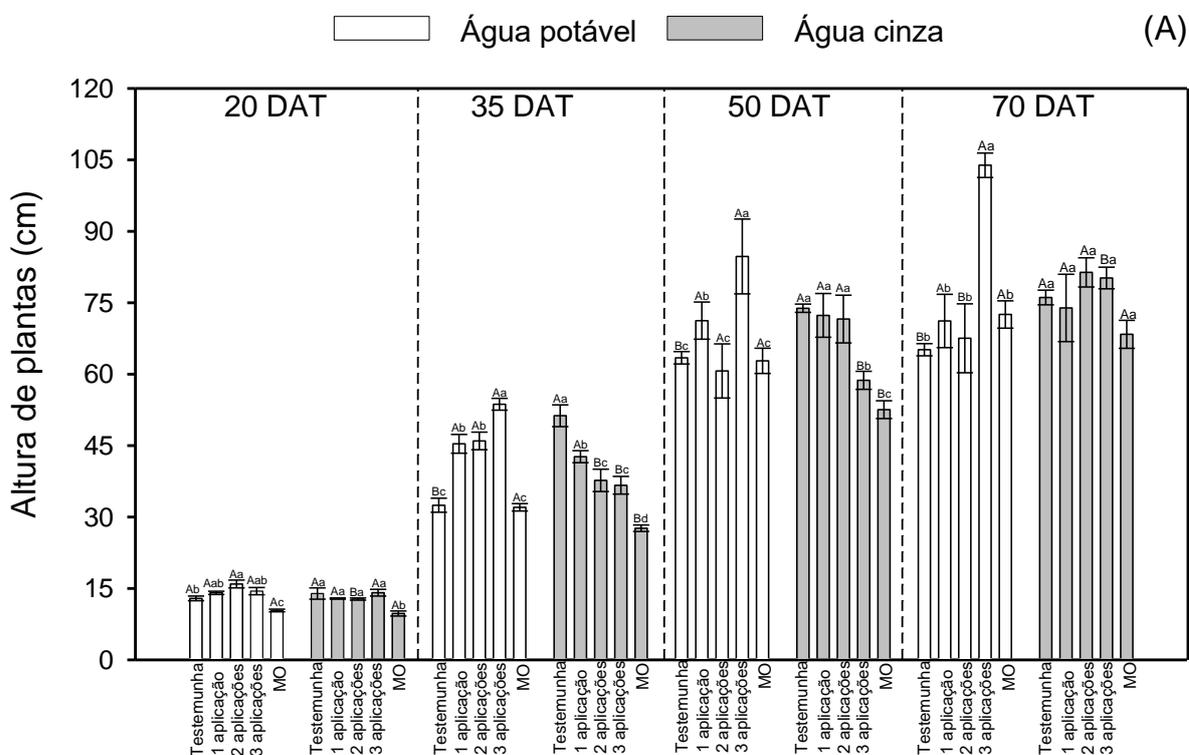
O teor de sais, especialmente Na^+ e Cl^- interferem na assimilação, transporte e distribuição limitada dos nutrientes minerais das culturas (KEUTGEN & PAWELZIK, 2009). Os efeitos desses íons estão relacionados ao efeito osmótico, o que induz condição de estresse hídrico às plantas e ao efeito tóxico direto, principalmente sobre os sistemas enzimáticos e de membrana (CRUZ et al., 2006).

De acordo com as Figuras 3 (A, B e C), todos os tratamentos irrigados com água cinza obtiveram valores superiores para Na^+ , K^+ e Cl^- , com relação aos tratamentos irrigados com água potável. A medida em que o experimento foi sendo irrigado com água cinza, houve o acúmulo dos elementos no solo, no entanto, para as duas águas de irrigação houve um

destaque para o tratamento matéria orgânica, sobressaindo em ambas as águas de irrigação e em relação aos demais condicionadores, para os elementos avaliados na Figura 3, destacando-se por obter o maior valor de íons acumulados no solo. Destacando que os valores de Na^+ e Cl^- são superiores aos valores de K^+ , sendo preciso um cuidado especial com esse solo para que não haja desequilíbrio nutricional.

4.2. Crescimento da planta

As análises biométricas (altura da planta e diâmetro do caule) foram realizadas nos instantes 20, 35, 50 e 70 DAT (Figura 4), sendo que no instante 20 DAT as plantas já tinham recebido a primeira aplicação do fertilizante, no instante 35 DAT as plantas já tinham recebido a segunda aplicação do fertilizante e no instante 50 DAT as plantas já tinham recebido a terceira aplicação do fertilizante. Podendo notar que houve diferença significativa na altura das plantas no instante 20 DAT (Figura 4A) apenas para o condicionador matéria orgânica, em ambas as águas de irrigação, havendo uma interferência no crescimento de 27,5%, quando comparada a média dos demais tratamentos que não apresentaram diferença significativa entre os demais condicionadores e testemunha, esse comportamento foi observado para as duas águas de irrigação.



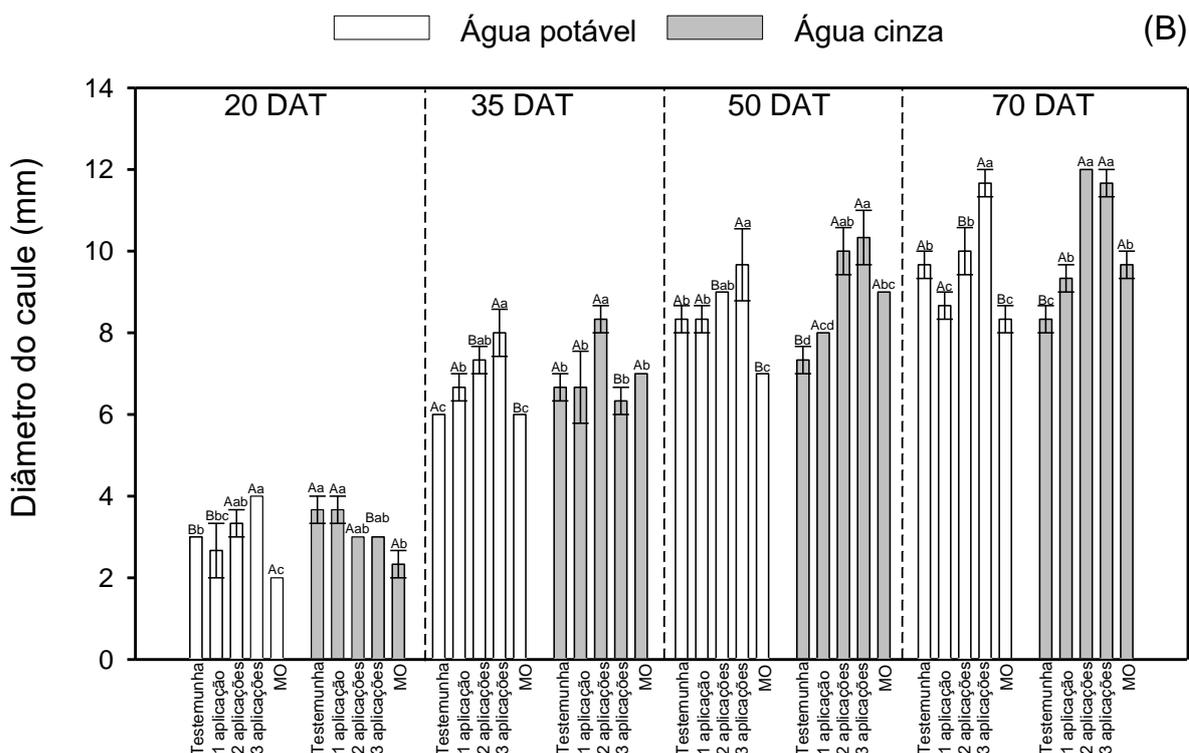


Figura 4: Valores médios ($n = 4$) da altura da planta em cm (A) e diâmetro do caule em mm (B). DAT – dias após o transplante: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica (MO). Letras maiúsculas representam a diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a Figura 4A, no momento 70 DAT do experimento, os tratamentos, testemunha, 1 e 2 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, irrigados com água potável não apresentaram diferença significativa entre si. No entanto, para o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, irrigado com a mesma água, obteve a maior média de crescimento, com 103,9 cm de altura. O tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral obteve uma vantagem de 33,5% em relação aos demais tratamentos dentro a água potável de irrigação. Com relação aos tratamentos que foram irrigados com água cinza, os mesmos não apresentaram diferença significativa entre os condicionadores. Comparando as águas de irrigação, apenas o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, irrigado com água potável apresentou vantagem quanto ao mesmo tratamento irrigado com água cinza, com um acréscimo de 22,7%.

Os fertilizantes organominerais enquadram-se nas categorias de ativantes biológicos, estimulantes e reguladores de crescimento, fontes de nutrientes minerais de baixa concentração, condicionadores e agentes umectantes. Agem melhorando e estimulando a flora microbiana em volta do sistema radicular, facilita a liberação dos nutrientes, aumenta a

retenção de água, a aeração, a retenção de nutrientes, o estado da agregação do solo e, principalmente, a formação de quelatos naturais influenciando diretamente na nutrição da planta (SOUZA & RESENDE, 2014).

Fazendo um comparativo das duas últimas avaliações de crescimento 50 DAT e 70 DAT (Figura 4A) é possível notar o quanto os condicionadores e as águas de irrigação influenciaram no crescimento da cultura. Para os tratamentos irrigados com água potável, testemunha, 1, 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, houve um crescimento de 2,7; 0,5; 10; 12,9 e 13,4% respectivamente.

Para os tratamentos irrigados com água cinza, testemunha, 1, 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica apresentaram um crescimento de 3,4; 2,2; 12; 26,8 e 23,2% respectivamente. Todos os tratamentos irrigados com água cinza obtiveram melhor desempenho para todos os condicionadores com relação aos mesmos tratamentos irrigados com água potável. O tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral foi o que proporcionou o melhor desempenho, seguido pelo tratamento matéria orgânica, ambos irrigados com água cinza, demonstrando a eficiência dos condicionadores em atenuar o estresse salino causado pela água de irrigação na cultura da quinoa.

Algozaibi et al. (2015) em seu experimento de campo, irrigando a quinoa com água salina em diferentes concentrações, encontrou seu melhor crescimento quando a cultura foi submetida ao nível salino de 8 dS m^{-1} , este mesmo valor de CE foi encontrado no solo ao final do experimento (Figura 1B).

Avaliando o diâmetro do caule da quinoa no estágio final aos 70 DAT (Figura 4B), observou-se que o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral irrigado com água potável, apresentou a maior média de crescimento com 11,7 mm, seguido pelo tratamento testemunha e 2 aplicações do fertilizante organomineral. Com menores médias os tratamentos 1 aplicação do fertilizante e matéria orgânica, não diferindo entre si, para a água potável de irrigação. Comparando as médias de crescimento das duas últimas biometrias, os tratamentos irrigados com água potável, testemunha, 1, 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, obtiveram um crescimento de 14,4; 4,6; 10; 14,5 e 15,7% respectivamente. Analisando os tratamentos irrigados com água cinza para o mesmo momento 70 DAT, os tratamentos 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral obtiveram as maiores médias, seguindo pelos tratamentos 1 aplicação do fertilizante e matéria orgânica, o tratamento testemunha obteve a menor média de crescimento. Fazendo o comparativo das duas últimas

avaliações para os tratamentos testemunha, 1, 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, apresentaram um crescimento de 12; 14; 16,7; 12 e 7,2% respectivamente.

Levando em conta as águas de irrigação ao longo do experimento, as plantas nos tratamentos que receberam água cinza, obtiveram maior desempenho, de uma média geral de 4,3 %, em relação aos tratamentos irrigados com água potável. Oliveira (2019), em seu experimento avaliou o crescimento das culturas do mamão e do maracujá em um sistema de produção familiar, irrigado com água cinza, obtendo médias maiores para o diâmetro do caule, para os tratamentos que receberam irrigação com água cinza, em relação aos tratamentos irrigados com água potável. No estágio final do experimento 70 DAT (Figura 4B), observa-se o desenvolvimento maior para os tratamentos irrigados com água cinza, com exceção apenas da testemunha, que para irrigação com água potável obteve média maior, demonstrando a eficiência dos condicionadores na nutrição das plantas. Essa nutrição possibilita as plantas melhor suporte dos efeitos provocados pela salinidade da água cinza de irrigação. A adição de um bioestimulante como ácido fúlvico, irá reduzir os efeitos adversos da salinidade nas plantas, melhorando suas propriedades fisiológicas e bioquímicas (ELRYS et al., 2020).

As plantas foram colhidas e devidamente separadas (raízes, caule, folhas e panícula), cada fração da planta foi pesada e obtida o peso fresco. Avaliando os vasos irrigados com água potável, o tratamento que obteve maior média de peso fresco para as raízes (Figura 5A), foi o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, apresentando um acréscimo no desenvolvimento de 36,7% com relação aos demais tratamentos que não diferiram entre si. Com base nas águas de irrigação, não houve diferença significativa entre as águas, apenas diferença entre os condicionadores dentro de cada água de irrigação. Para as plantas irrigadas com água cinza, o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral obteve maior média para o peso fresco das raízes, com peso superior em 32,3% em relação à média do peso dos demais condicionadores, seguido pelos tratamentos 1 e 2 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, sem apresentar diferença entre si estatisticamente, e com menor média tem-se a testemunha, com 41% de desvantagem com relação ao tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral.

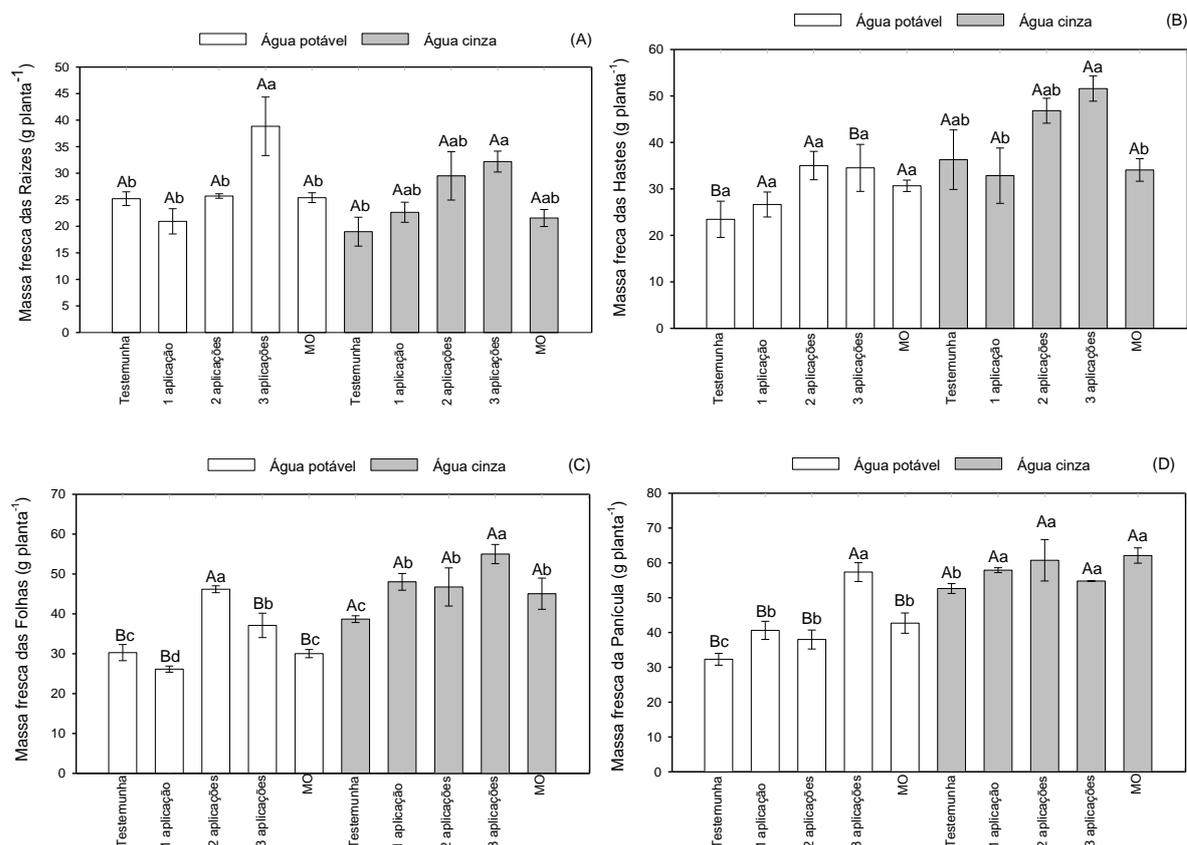


Figura 5: Valores médios ($n = 4$) de massa fresca das raízes (A), hastes (B), folhas (C) e panícula (D) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha, 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a massa fresca das hastes (Figura 5B), os condicionadores não apresentaram diferença significativa dentre cada água de irrigação. No entanto, os tratamentos testemunha e 3 aplicações do fertilizante organomineral apresentaram diferença significativa entre as águas de irrigação. Para esses tratamentos irrigados com água cinza, apresentam diferença de peso correspondente a 35,3 e 33,1% com relação aos mesmos tratamentos irrigados com água potável. Para os solos irrigados com água cinza, o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, apresentou a maior média de peso, um acréscimo de 29% em relação aos demais condicionadores, irrigados com a mesma água.

A aplicação do ácido fúlvico auxilia positivamente a estrutura física e química do solo, assim como incrementam a biomassa do sistema radicular e da parte aérea (CARON et al., 2015). O crescimento radicular foi sendo estimulado através das aplicações do fertilizante organomineral, na qual, associados a água cinza de irrigação houve o maior crescimento das raízes. Esses dados corroboram com os obtidos por Borcioni et al. (2016), em seu

experimento com alface americana obtiveram para a variável massa fresca das raízes maiores valores à medida em que era adicionado doses de ácido fúlvico.

A aplicação de substâncias húmicas nas plantas, promove o crescimento radicular, que influencia processos de absorção de nutrientes e conseqüentemente, a produtividade na parte aérea.

Com relação a massa fresca das folhas, as plantas irrigadas com água cinza sobressaíram em relação aos tratamentos irrigados com água potável (Figura 5C), apresentando vantagem em todos os tratamentos, testemunha, 1, 3 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, obtendo um acréscimo de 17,4; 45,6; 1,2; 32,5 e 32,6% respectivamente. Mostrando que além da influência dos condicionadores, a água de irrigação também interfere positivamente na massa fresca da cultura. Em experimento realizado em casa de vegetação observou-se que a aplicação do ácido fúlvico nas mudas afetou o crescimento inicial das plantas de alface, alterando a massa fresca e seca das folhas e raízes, bem como o comprimento e volume radicular (BORCIONI, 2016).

Na Figura 5D, os dados representam a massa fresca da panícula, para os tratamentos irrigados com água potável, o maior valor foi representado pelo tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, com 57,34 g planta⁻¹, seguido pelos tratamentos 1 e 2 aplicações do fertilizante e matéria, com 40,62; 37,98 e 42,68 g planta⁻¹, não diferindo entre si, e com menor peso a testemunha com 32,67 g planta⁻¹.

Avaliando os tratamentos irrigados com água cinza, os melhores desempenho foram os tratamentos 1, 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, com 57,89; 60,74; 54,77 e 62,09 g planta⁻¹ respectivamente, não diferem entre si, e com menor média a testemunha com 52,62 g planta⁻¹. Os melhores resultados para a massa fresca da panícula, foram para os tratamentos que receberam o fertilizante organomineral e matéria orgânica, apresentando menor média a testemunha. O ácido fúlvico estimula o crescimento radicular, o que pode interferir em maior produção ao final do ciclo devido ao maior volume de solo explorado (AGUIAR et al., 2009). Comparando a eficiência das águas de irrigação, a água cinza obteve um acréscimo de 26% com relação aos tratamentos irrigados com água potável.

Para a massa seca das raízes (Figura 6A), com relação a água potável de irrigação, verificou-se que o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral foi o que mais acumulou massa seca nas raízes, já os demais tratamentos não apresentaram diferença estatística. O tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, irrigado com água

potável, obteve maior acúmulo de massa seca das raízes, em relação ao mesmo tratamento irrigado com água cinza, demonstrando o melhor desempenho do fertilizante em meio não salino. Para os tratamentos testemunha, 1 e 2 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, não apresentaram diferenças de água nem de condicionadores.

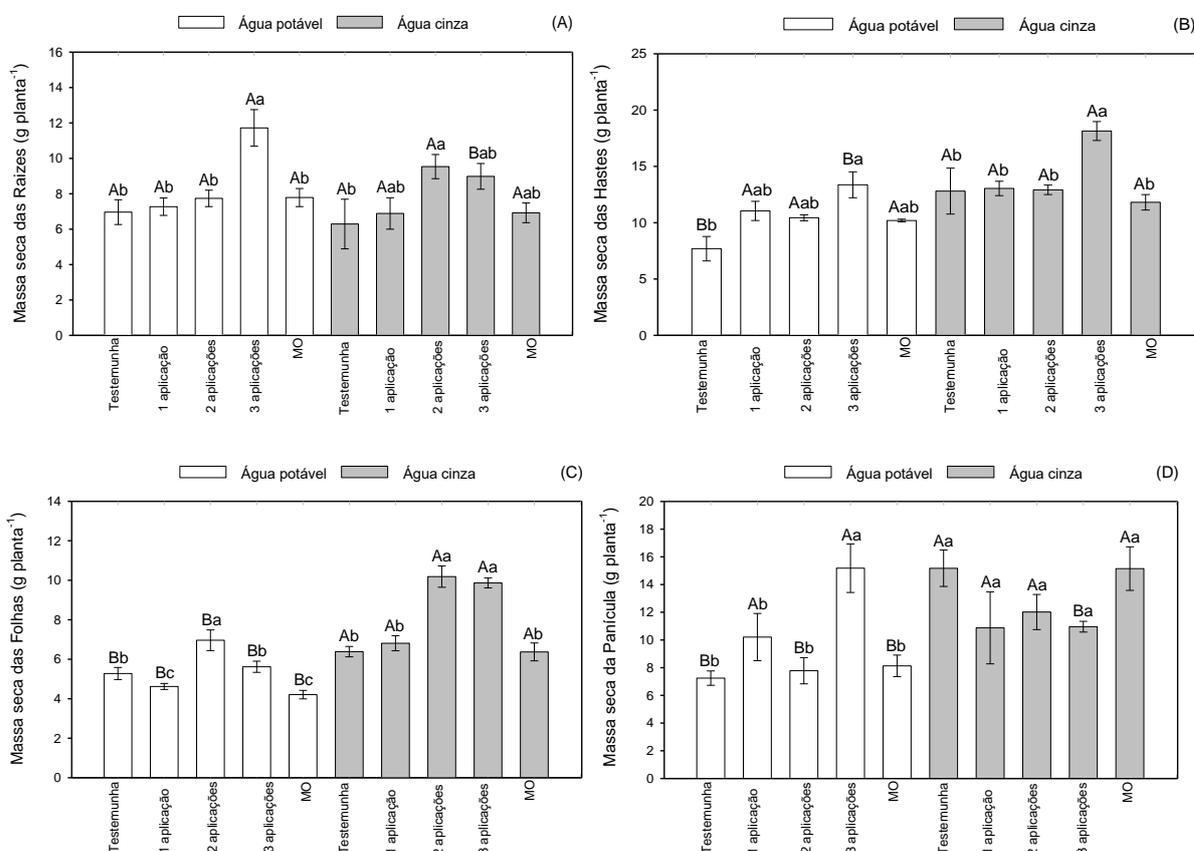


Figura 6: Valores médios ($n = 4$) de massa seca das raízes (A), hastes (B), folhas (C) e panícula (D) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha, 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A massa seca das hastes (Figura 6B), sofreu influência das aplicações do fertilizante organomineral e da água de irrigação. O tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral obteve o maior valor médio para ambas as águas de irrigação, no entanto o tratamento irrigado com água cinza, obteve valor maior, correspondente a 18 e 13 $g\ planta^{-1}$ respectivamente. Quanto aos tratamentos testemunha, 1 e 2 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, para ambas as águas de irrigação não apresentaram diferença significativa. Os dados corroboram com os apresentados por Sousa et al., (2020), em seu trabalho com melanciaira, em que foi verificado o maior acúmulo de massa seca das

raízes e das hastes, submetidos a uma salinidade $3,6 \text{ dS m}^{-1}$ associado a um bioestimulante viusid-agro.

Avaliando a massa seca das folhas (Figura 6C), observa-se que os tratamentos 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral, irrigados com água cinza, apresentaram valores médios maiores para o acúmulo de massa seca das folhas, com $10,2$ e $9,9 \text{ g planta}^{-1}$ respectivamente. Os demais tratamentos não diferiram entre si, dentre a mesma água de irrigação. O tratamento 2 aplicações do fertilizante organomineral, irrigado com água potável, apresentou o maior valor médio para essa água.

Com relação a produção da massa seca da panícula (Figura 6D), o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, irrigado com água potável, obteve a maior média entre seus condicionadores e entre o mesmo tratamento irrigado com água cinza, com $15,2 \text{ g planta}^{-1}$. Os demais tratamentos não diferiram entre si. Os tratamentos irrigados com água cinza não apresentaram diferença estatisticamente com relação aos condicionadores e testemunha, no entanto os tratamentos obtiveram valores médios superiores para a água de irrigação, com exceção do tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, que para água potável foi maior.

A massa fresca total, massa seca total e biomassa relativa, estão apresentadas em relação as águas de irrigação e os condicionadores aplicados (Figura 7). Observando a massa fresca total em relação as águas de irrigação (Figura 7A), os tratamentos irrigados com água cinza acumularam maior massa fresca, em relação a irrigação com água potável, apresentando valores médios de 133 e $185 \text{ g planta}^{-1}$. A água cinza superou a água potável em 28% . Avaliando a massa fresca total com relação aos condicionadores aplicados (Figura 7B) e a testemunha, o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, obteve o melhor desempenho com valores médios de $180,7 \text{ g planta}^{-1}$, seguido pelos tratamentos, 2 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica, com 164 e $148,8 \text{ g planta}^{-1}$.

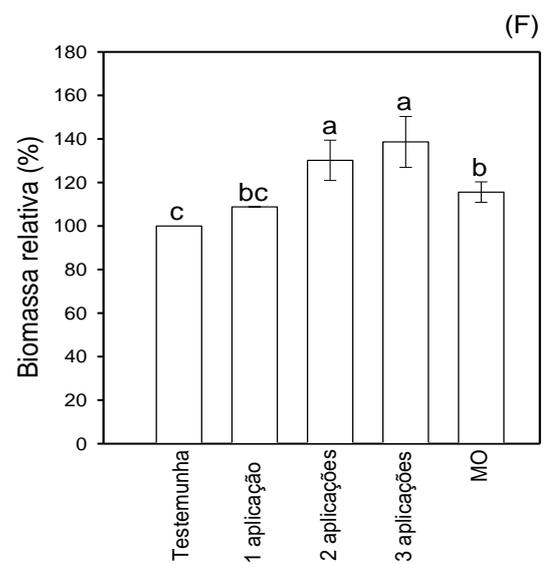
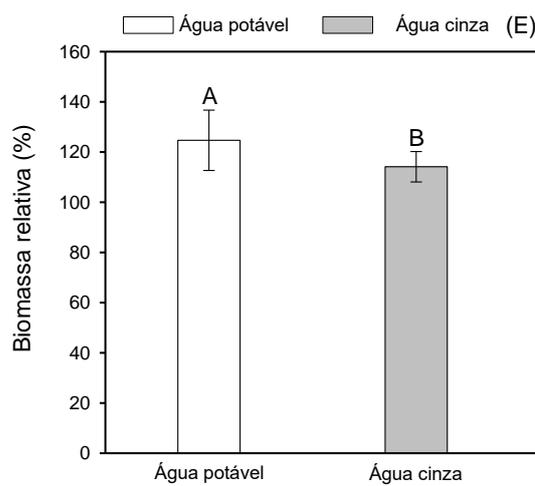
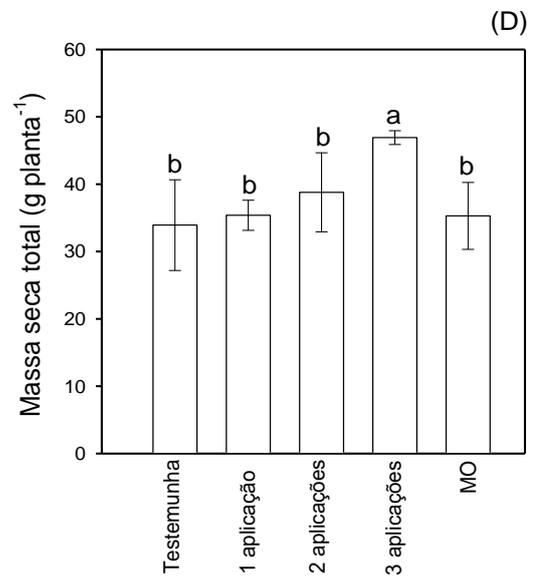
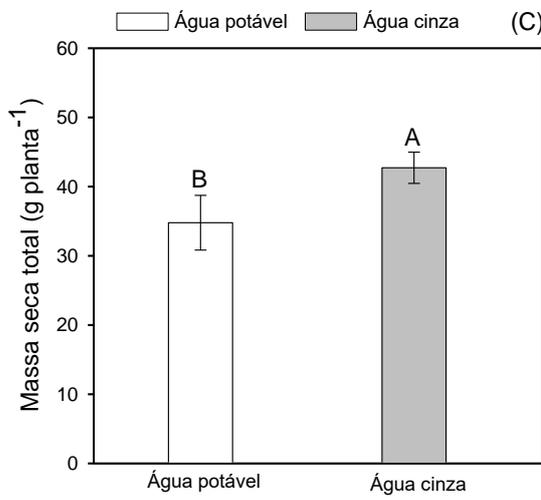
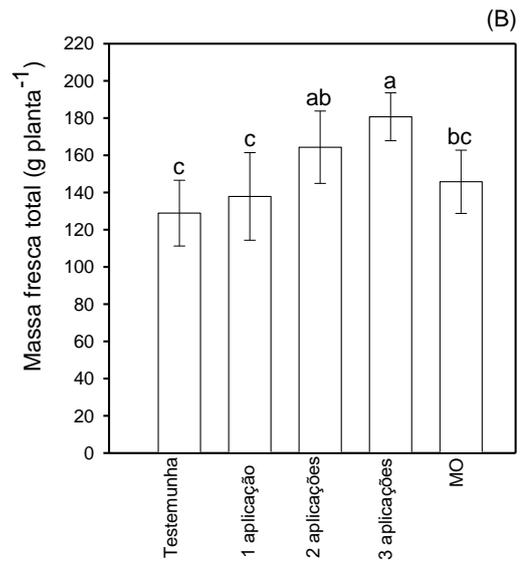
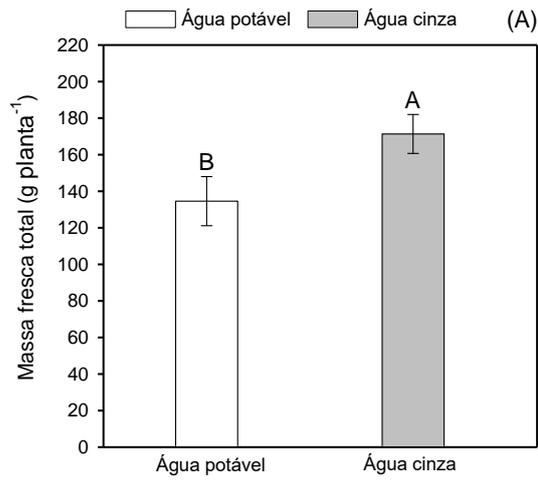


Figura 7: Valores médios ($n = 4$) de massa fresca total, em função da água de irrigação (A), massa fresca total, em função dos condicionadores aplicados (B), massa seca total, em função da água de irrigação (C), massa seca total, em função dos condicionadores aplicados (D), biomassa relativa, em função da água de irrigação (E) e biomassa relativa em função dos condicionadores aplicados (F) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplântio. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 7C observa-se os dados obtidos para a massa seca total em relação às águas de irrigação. A massa seca total, tanto para a água potável, quanto para a água cinza, decresceu em 74,9% para ambas as águas, em relação a massa fresca. A massa seca comportou-se semelhante a massa fresca, os tratamentos irrigados com água cinza sobressaindo em 19,7% em relação aos tratamentos irrigados com água potável.

Considerando a massa seca com relação aos condicionadores (Figura 7D), o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral, apresentou o maior acúmulo de massa seca, com 46,9 g planta⁻¹, os demais tratamentos não diferiram entre si. Esse dado coincide com o encontrado por Corrêa et al. (2018), constatando em seu experimento que a utilização do fertilizante organomineral fluido possibilita maior efeito residual na produção de matéria seca.

Desta maneira (Figura 7E), observa-se que os tratamentos irrigados com água potável obtiveram um acúmulo maior de biomassa em 10%, com relação aos tratamentos irrigados com água cinza. Na Figura 7F, considerando o acúmulo de biomassa relativa com relação aos condicionadores aplicados, os tratamentos 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral obtiveram as maiores médias, em 30,2 e 38,6% respectivamente, seguidos pelos tratamentos, matéria orgânica e 1 aplicação do fertilizante organomineral, com 15,6 e 8,8% respectivamente. Os dados demonstram o quanto a quantidade de aplicações do fertilizante e da matéria orgânica influenciam no desenvolvimento e acúmulo de biomassa relativa na cultura da quinoa. Esses dados corroboram com os encontrados por Zhang et al. (2021), em seu estudo com tomate e moderadas aplicações de ácido fúlvico foi constatado que esse elemento incrementou a biomassa total em 40,8% no máximo.

4.3. Status nutricional da quinoa

Independentemente do condicionador ou água de irrigação, as plantas da quinoa não apresentaram sintomas de toxidez por sódio ou cloro, como por exemplo, o aparecimento de

clorose e queima das bordas das folhas mais velhas, mesmo nos tratamentos com maior concentração desses elementos. A aplicação de ácido fúlvico pode aumentar a estabilidade da membrana celular, mantendo a absorção de água sob estresse osmótico, captação de potássio, síntese de proteína e hormônios e alongamento das células da raiz (ASLAM et al., 2016), que atuam como antioxidantes não enzimáticos contra o estresse salino (SAIDIMORADI et al., 2019).

Avaliando os elementos por partes da planta, pode-se observar na Figura 8A que houve um acúmulo maior de Na^+ nas raízes dos tratamentos irrigados com água cinza. Os tratamentos irrigados com água cinza superaram os tratamentos irrigados com água potável em 30,6%. Embora tenha ocorrido o aumento do íon Na^+ para as plantas irrigadas com água cinza, as plantas do tratamento testemunha obtendo um acréscimo de 42% com relação aos demais condicionadores. Os tratamentos que receberam fertilizante organomineral e matéria orgânica foram capazes de reduzir a concentração de Na^+ nas raízes. Esses dados corroboram com os encontrados por Saidimoradi et al. (2019), a concentração de Na^+ na raiz aumentou após a exposição ao estresse de NaCl , mas a suplementação da solução nutritiva com ácido húmico reduziu a concentração de Na^+ .

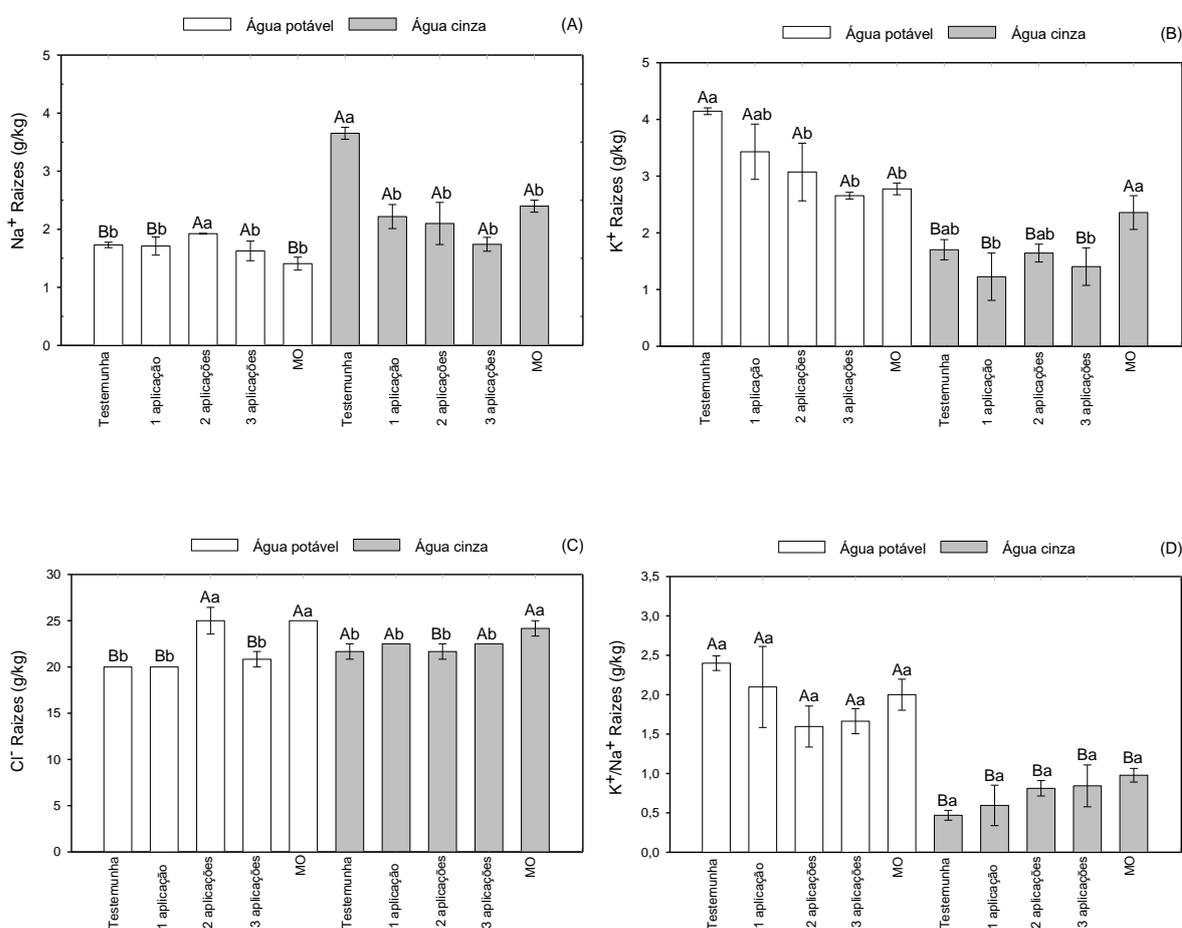


Figura 8: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ nas raízes (A), K^+ nas raízes (B), Cl^- nas raízes (C) e K^+/Na^+ nas raízes (D) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando o teor de K^+ (Figura 8B) nas raízes, a concentração foi maior nos tratamentos irrigados com água potável, superando em 89,7% os tratamentos irrigados com água cinza. Dentre os solos irrigados com água potável, o tratamento testemunha apresentou maior acúmulo, com $4,2 \text{ g kg}^{-1}$, com relação aos condicionadores irrigados com a mesma água. O tratamento matéria orgânica irrigado com água cinza obteve a maior média, com $2,36 \text{ g kg}^{-1}$, em relação aos tratamentos irrigados com a mesma água. O aumento da concentração de NaCl na água de irrigação, ao elevar os teores de Na^+ nas raízes, inibe a absorção de nutrientes, ocasionando redução nos teores de N , K^+ e Mg^{2+} (COSTA et al., 2008). Elrys et al. (2020), obtiveram maior captação de K^+ , nos tratamentos que receberam ácido fúlvico na pulverização foliar sob irrigação com água da torneira, com uma redução da eficiência com o aumento da salinidade.

A fração das raízes concentraram o menor teor de Cl (Figura 8C) em comparação as demais frações vegetais. Segundo Willadino & Camara (2010), as raízes tendem a manter convenientemente constantes os níveis de Na^+ e Cl^- ao longo do tempo de exposição ao estresse, por meio da exportação desses íons para o solo ou parte aérea.

Na Figura 8D, é avaliado a relação K^+/Na^+ nas raízes, o excesso de salinidade nos solos, principalmente em regiões áridas e semiáridas, atrelado a irrigação com água salina, aumentam a concentração de sódio, a qual reduz a absorção de potássio. O antagonismo entre K e Na , sugere uma competição entre íons pelos sítios de absorção no plasmalema, ou um possível aumento do fluxo de K das raízes no meio de desenvolvimento, em função de distúrbios na integridade das membranas (SCHOSSLER, et al., 2012).

A Figura 9A demonstra o teor de Na^+ concentrado nas hastes, avaliando os tratamentos com relação às águas de irrigação, pode-se notar um aumento de 159,4% para os tratamentos irrigados com água cinza. Para a água potável, o tratamento testemunha obteve o menor acúmulo de Na^+ com $0,34 \text{ g kg}^{-1}$ e para a água cinza o tratamento matéria orgânica obteve o menor valor com $0,9 \text{ g kg}^{-1}$. O maior teor de Na^+ foi encontrado nas hastes, o aumento da salinidade tem ocasionado a redução do desenvolvimento vegetal, geralmente é atribuído à

redução de nutrientes, especialmente o K^+ , que para essa parte vegetal obteve um dos menores acúmulos.

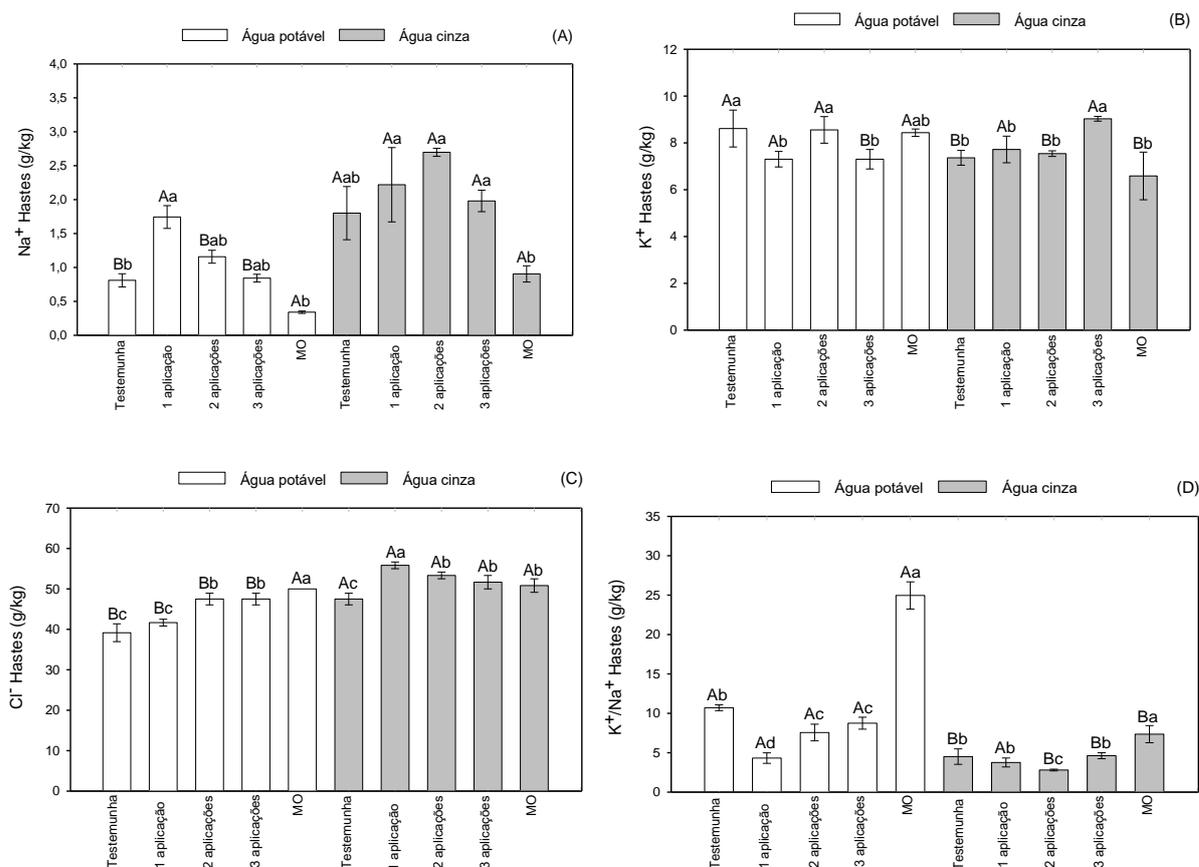


Figura 9: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ nas hastes (A), K^+ nas hastes (B), Cl^- nas hastes (C) e k^+/Na^+ nas hastes (D) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o teor de K^+ nas hastes (Figura 9B), os tratamentos testemunha e matéria orgânica, irrigados com água potável obtiveram valores médios maiores, com relação aos mesmos tratamentos irrigados com água cinza, apresentando $8,61$ e $8,43 \text{ g kg}^{-1}$ para água potável e $7,36$ e $6,59 \text{ g kg}^{-1}$ para água cinza, respectivamente. Comparando as águas de irrigação para este elemento, os tratamentos irrigados com água potável sobressaíram em $4,9\%$ com relação aos tratamentos irrigados com água cinza. Schossle et al. (2012) afirmam que uma das respostas da planta à aplicação de $NaCl$ é o aumento nas concentrações de Na e Cl e, conseqüentemente, redução nos níveis de K nos diversos órgãos da planta.

A Figura 10, demonstra os teores de Na^+ , K^+ , Cl^- e a relação K^+/Na^+ nas folhas da quinoa, com o teor de Na^+ (Figura 10A), todos os tratamentos irrigados com água cinza

obtiveram valores maiores que os mesmos tratamentos irrigados com água potável. Os tratamentos irrigados com água cinza sobressaíram em 345% os tratamentos irrigados com água potável.

Para os solos irrigados com água cinza (Figura 10A) o tratamento testemunha obteve o maior acúmulo desse elemento $1,11 \text{ g kg}^{-1}$, os tratamentos 3 aplicações do fertilizante organomineral e matéria orgânica obtiveram os menores valores, comparados aos demais tratamentos, ambos com $0,5 \text{ g kg}^{-1}$. Para os solos irrigados com água potável, o tratamento matéria orgânica obteve a menor média de acúmulo, com $0,07 \text{ g kg}^{-1}$. De acordo com Elrys et al. (2020), em seu experimento com trigo, em condições salinas, associado a combinações de bioestimulantes, verificaram uma melhoria na estrutura das folhas. As mudanças nos parâmetros foliares foram atribuídas à capacidade dessas aplicações em aliviar o efeito do estresse a salinidade da água.

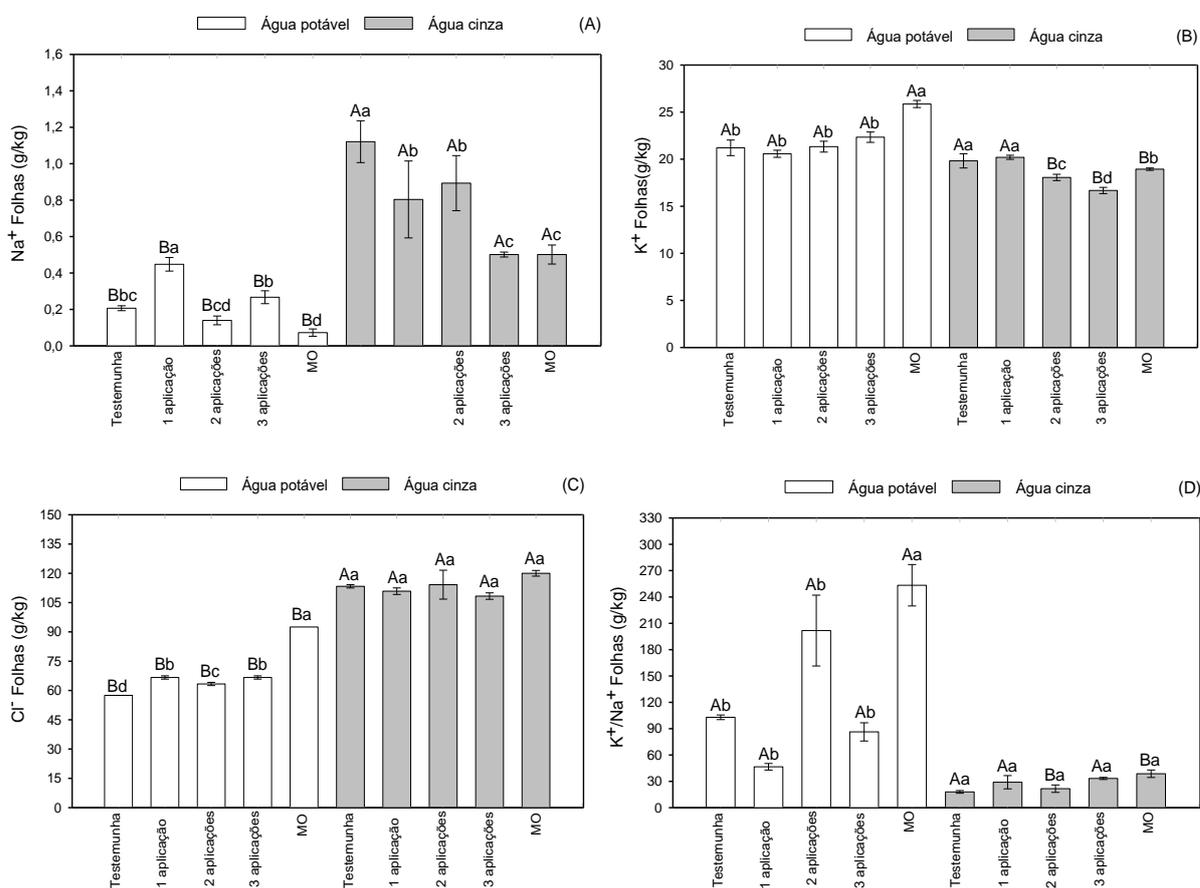


Figura 10: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ nas folhas (A), K^+ nas folhas (B), Cl^- nas folhas (C) e k^+/Na^+ nas folhas (D) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplantio, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Figura 10B, demonstra os teores de K^+ nas folhas, analisando os tratamentos irrigados com água potável, verificou-se que para todos os tratamentos obtiveram valores médios maiores, com relação aos tratamentos irrigados com água cinza, apresentando 22,26 e 18,87 $g\ kg^{-1}$ respectivamente. Para os solos irrigados com água potável o tratamento matéria orgânica destacou-se no acúmulo desse elemento, com 25,85 $g\ kg^{-1}$, já os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa estatisticamente. Farias et al. (2009) verificaram reduções nos teores de K^+ nas raízes e folhas de *Gliricídia* em solução nutritiva contendo NaCl, e indicaram que há uma possível inibição competitiva desse nutriente com a adição de NaCl na solução nutritiva. Essa fração vegetal concentrou o maior teor desse elemento, sendo que, o íon K atua diretamente na abertura e fechamento dos estômatos. Esse controle sobre a abertura dos estomática esta ligada diretamente à absorção de água, devido à diferença de potencial hídrico que é causada pela perda de água, além de atuar na fotossíntese e translocação dos sintetizados, influenciando na síntese da rubisco, principal enzima responsável pela fixação de carbono (WILLADINO & CAMARA, 2010).

O Cl^- das folhas (Figura 10C), demonstra, para todos os tratamentos irrigados com água cinza, os maiores valores acumulados, com relação aos mesmos tratamentos irrigados com água potável, superando em 38,8%, representando 113,3 e 69,3 $g\ kg^{-1}$ respectivamente. Embora os solos irrigados com água cinza tenham sobressaído, os tratamentos não diferiram entre si estatisticamente. O tratamento matéria orgânica para a água potável de irrigação apresentou o maior valor acumulado, com 92,5 $g\ kg^{-1}$. As folhas são mais vulneráveis ao Na^+ e Cl^- , principalmente o Cl^- , do que as raízes, simplesmente pelo fato de acumularem maiores concentrações desses íons, uma vez que são transportados pela corrente transpiratória no xilema e se acumulam nas folhas quando a água é transpirada (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Com relação ao K^+/Na^+ nas folhas (Figura 10D), os tratamentos irrigados com água potável obtiveram valores maiores, com relação aos mesmos tratamentos irrigados com água cinza, sobressaindo em 79,6%. O tratamento matéria orgânica irrigado com água potável, sobressaiu em relação aos demais tratamentos, 253,3 $g\ kg^{-1}$, para os demais tratamentos não houve diferença significativa. Para os solos irrigados com água cinza não houve diferença entre os tratamentos, apenas entre as águas, como foi relatado anteriormente. O aumento da salinidade da água de irrigação, aumentou os teores de Na^+ e reduziu os teores de K^+ nos limbos foliares (SOUSA et al., 2010). Segundo os autores, o desequilíbrio na absorção iônica, em decorrência do aumento dos valores da relação Na^+/K^+ , reduziu a seletividade dos íons de

K^+ nas raízes, devido à perda da integridade das membranas sob condições de salinidade (WILLADINO & CAMARA, 2010).

Observando a Figura 11A, a qual demonstra o teor de Na^+ na panícula, verifica-se que os tratamentos irrigados com água potável não diferiram entre os tratamentos irrigados com água cinza, em termos de água de irrigação, apresentando 0,1 e 0,13 $g\ kg^{-1}$ respectivamente. Para as plantas irrigadas com água cinza, os tratamentos testemunha e 3 aplicações do fertilizante organomineral apresentaram maiores médias, seguido pelo tratamento matéria orgânica, com 0,28; 0,16 e 0,11 $g\ kg^{-1}$ respectivamente.

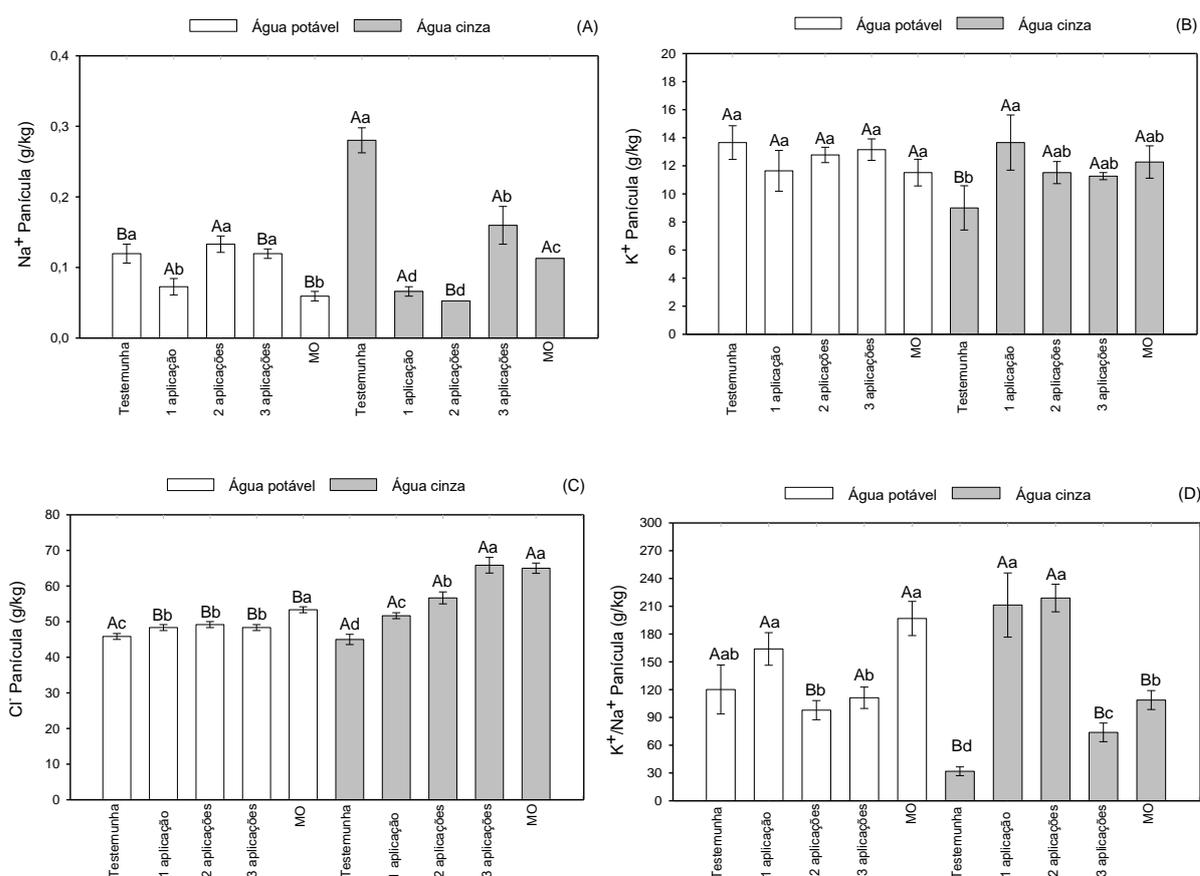


Figura 11: Valores médios ($n = 4$) de Na^+ na panícula (a), K^+ na panícula (b), Cl^- na panícula (c) e K^+/Na^+ na panícula (d) de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que se diz respeito ao K^+ na panícula (Figura 11B), para os solos irrigados com água potável não apresentaram diferença entre os condicionadores, obteve média geral maior com relação aos tratamentos irrigados com água cinza, com 12,55 e 11,54 $g\ kg^{-1}$ respectivamente. Analisando os tratamentos irrigados com água cinza, o tratamento

testemunha obteve o menor acúmulo desse elemento, tanto em relação aos demais condicionadores, quanto em relação ao mesmo tratamento irrigado com água potável, com 9 e 13,65 g kg⁻¹ respectivamente. Para os demais tratamentos irrigados com água cinza, não apresentaram diferença significativa entre seus condicionadores. A aplicação do potássio em altas doses pode influenciar na produção na fase vegetativa, não tendo grande interferência na produção de grãos.

O teor de Cl⁻ na panícula (Figura 11C), para os solos irrigados com água potável, o tratamento matéria orgânica apresentou o maior acúmulo, em relação aos demais condicionadores, seguido pelos tratamentos 3 aplicações do fertilizante organomineral, 2 aplicações do fertilizante organomineral e 1 aplicação do fertilizante organomineral, com 58,33; 48,33; 49,17 e 48,33 g kg⁻¹ respectivamente. Para os vasos irrigados com água cinza, o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral obteve o maior valor, seguido pelos tratamentos, matéria orgânica, 2 aplicações do fertilizante organomineral e 1 aplicação do fertilizante organomineral, com 65,83; 65; 56,67 e 51,67 g kg⁻¹ respectivamente. Avaliando as águas de irrigação, os tratamentos irrigados com água cinza apresentaram valores maiores, com relação aos tratamentos irrigados com água potável, com 56,07 e 49,99 g kg⁻¹ respectivamente.

A Figura 11D demonstra a relação de K⁺/Na⁺ quanto maior a quantidade de Na⁺ menor será o resultado dessa relação. Para os solos irrigados com água cinza, o tratamento testemunha obteve o menor valor, os melhores resultados foram obtidos pelos tratamentos 2 aplicações do fertilizante organomineral e 1 aplicação do fertilizante organomineral, com 31,85; 218,93 e 211,32 g kg⁻¹ respectivamente. Para os solos irrigados com água potável, o tratamento matéria orgânica apresentou a maior média 196,79 g kg⁻¹. Comparando as águas de irrigação, houve um acréscimo de 6,55% para os tratamentos irrigados com água potável, para a água potável 137,98 g kg⁻¹ e para a água cinza 128,94 g kg⁻¹.

4.4. Fisiologia da quinoa

A Figura 12 descreve a assimilação líquida de CO₂ nos instantes 20, 35, 50 e 70 DAT após o início do tratamento. No momento 20 DAT, houve diferença de águas apenas para o tratamento matéria orgânica, em que para a água cinza de irrigação obteve média maior, com 39,97 e 32,57 μmol m⁻² s⁻¹ respectivamente. Analisando, os condicionadores para a água

potável o tratamento matéria orgânica obteve o menor desempenho, já para os solos irrigados com água cinza o tratamento 1 aplicação do fertilizante organomineral obteve a menor média entre seus condicionadores, correspondente a 32,57 e 37,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente.

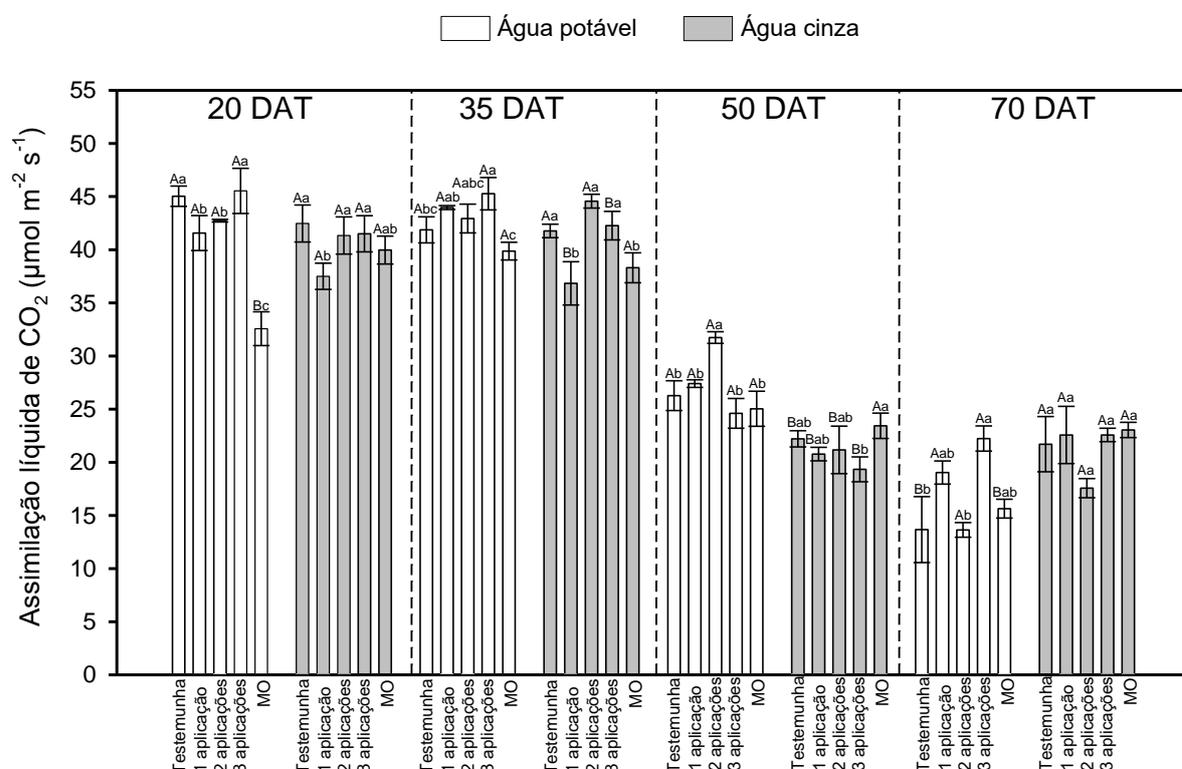


Figura 12: Valores médios ($n = 4$) de assimilação líquida de CO_2 de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No momento 35 DAT (Figura 12), os tratamentos mantiveram-se constantes, ocuparam as mesmas posições que a avaliação anterior. No entanto, houve um acréscimo considerável para o tratamento matéria orgânica irrigado com água potável, no qual aumentou 18,3% a assimilação líquida de CO_2 , com relação a avaliação anterior.

Na última avaliação da assimilação líquida de CO_2 (Figura 12), no instante 70 DAT, houve uma drástica redução para ambas as águas de irrigação, apresentando para a água potável uma redução de 58,8% e para a água cinza de 48,5%. O tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral irrigado com água potável obteve a maior média 22,2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto para os tratamentos irrigados com água cinza não apresentaram diferença significativa entre si. Em estudos Norby et al. (2002), constataram que, plantas cultivadas em alto nível de CO_2 existe um estímulo inicial da fotossíntese, mas este pode ser perdido ou diminuído. Esta redução da capacidade fotossintética da folha é denominada de regulação

negativa e pode limitar o potencial das plantas de mitigar os efeitos danosos do excesso de CO₂ na atmosfera.

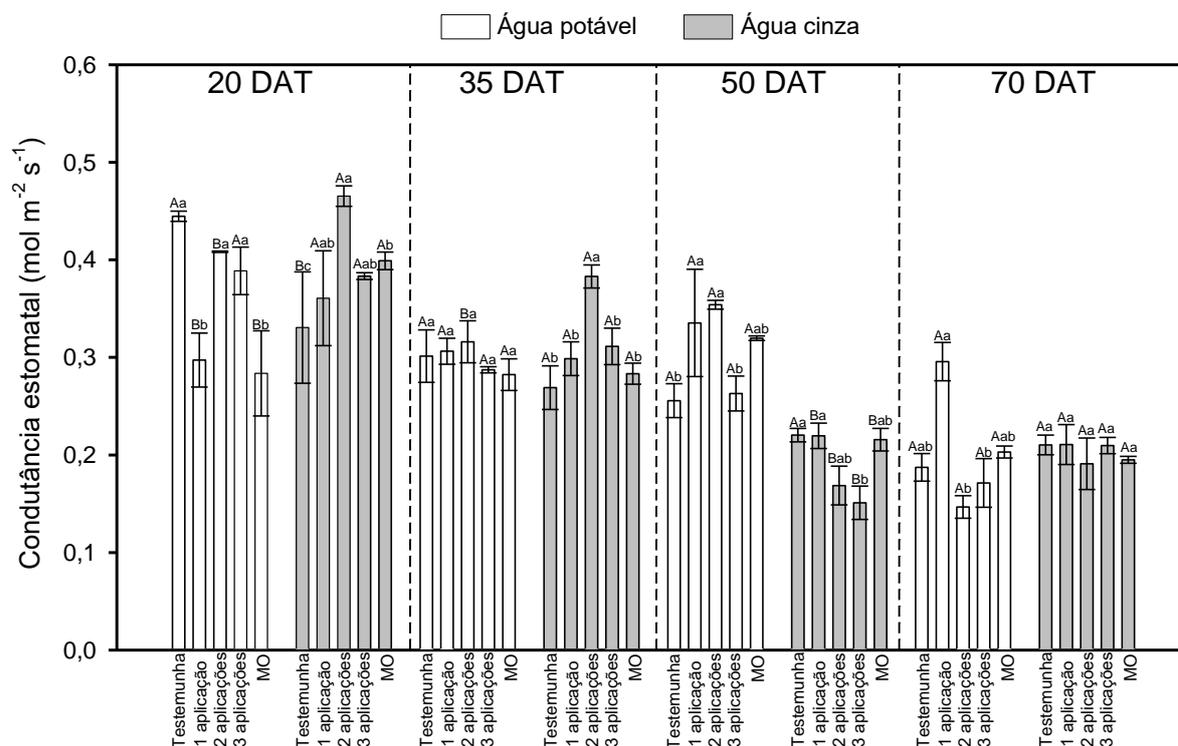


Figura 13: Valores médios ($n = 4$) de condutância estomatal de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A condutância estática, estima a regulação da abertura dos estômatos. Os estômatos desempenham um papel central na absorção de carbono e perda de água pelas plantas (CHAVES, 2016). Analisando a Figura 13 em relação a Condutância estomática da planta, no momento 20 DAT houve diferença significativa entre as águas de irrigação, a água cinza apresentando melhores resultados, com exceção do tratamento testemunha, que para o mesmo tratamento irrigado com água potável obteve melhores resultados. No instante 35 DAT as águas de irrigação não apresentaram diferença significativa, no entanto o tratamento 2 aplicações do fertilizante organomineral apresentou melhores resultados com relação aos demais tratamentos irrigados com água cinza. Aos 70 DAT as águas de irrigação não apresentaram diferença significativa.

As respostas das variáveis expressas nas Figuras 12 e 13 demonstram que apesar da elevação do nível salino, a planta quinoa não apresentou grandes variações com relação as águas de irrigação, esse tipo de comportamento sugere a adaptação da planta ao aumento da salinidade, sendo capaz de manter seus estômatos abertos, promovendo uma assimilação

fotossintética favorável, mesmo no nível mais elevado, onde há limitação na absorção de água. A primeira resposta da planta ao estresse hídrico induzido pela salinidade geralmente é o fechamento estomático (CHAVES et al., 2003).

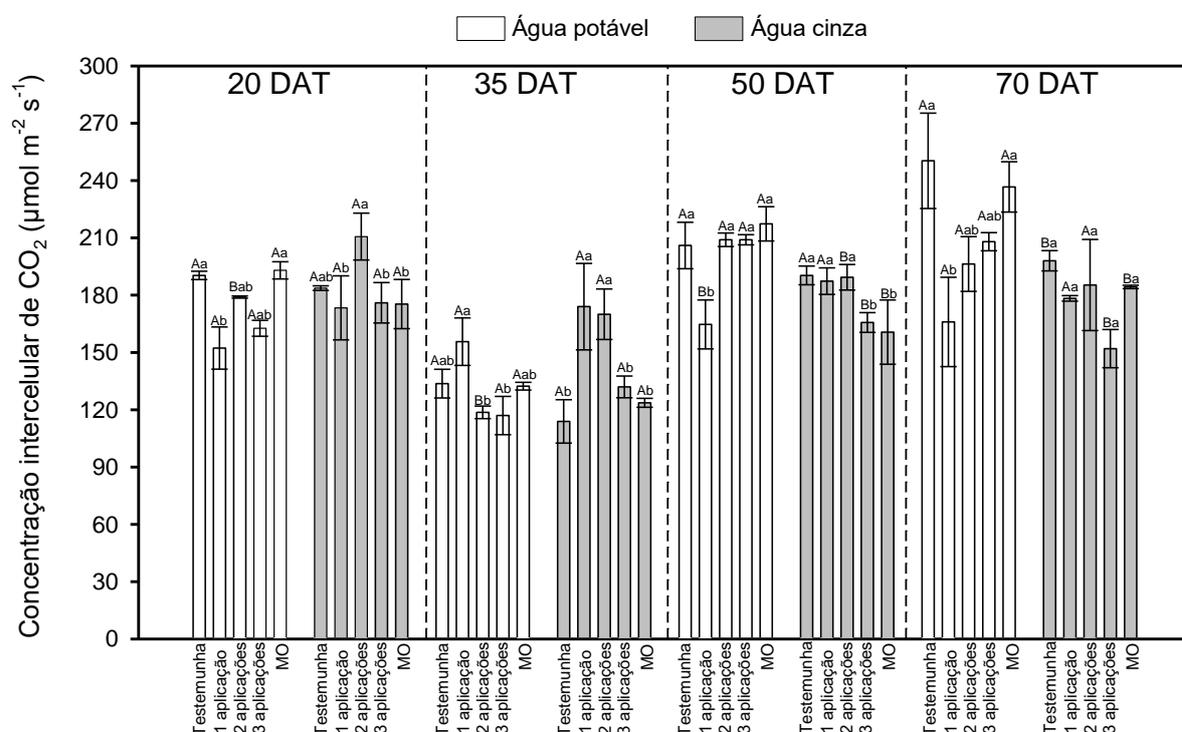


Figura 14: Valores médios ($n = 4$) da concentração intercelular de CO_2 de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando a Figura 14, a qual retrata as respostas da concentração intercelular de CO_2 , é possível notar o aumento da CI, em ambas as águas de irrigação, assim como, em todos os tratamentos. No entanto, a CI para os tratamentos irrigados com água cinza foi inferior, demonstrando que devido ao aumento da salinidade os tratamentos tiveram maior dificuldade na fixação de CO_2 , possivelmente devido às limitações na síntese de Rubisco causada por deficiência de ATP (MASHILO et al., 2017). Com o aumento do estresse salino, as reações bioquímicas também são afetadas (MACHADO et al., 2009).

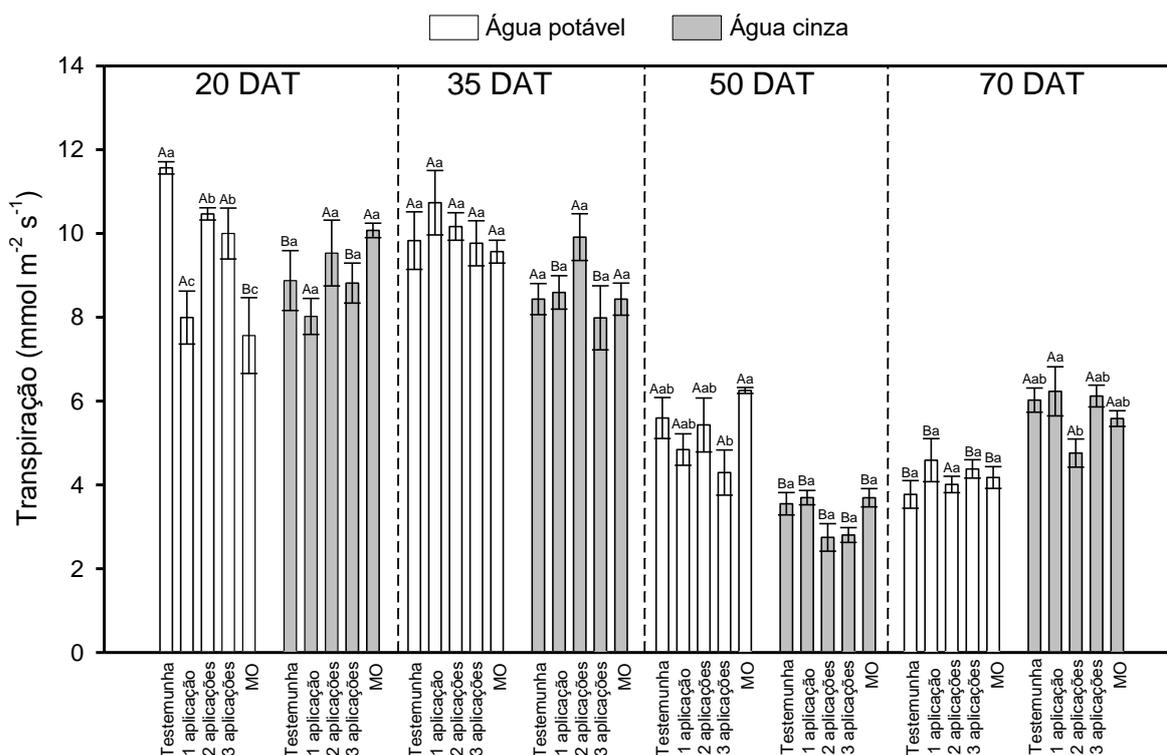


Figura 15: Valores médios ($n = 4$) de transpiração de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Figura 15 avalia a transpiração da planta, sendo possível notar a diminuição significativa dessa variável, quando comparadas as análises da primeira e da última avaliação. Para a água potável houve uma redução de 56,2% e para a água cinza houve uma redução de 36,64%. Sob altas concentrações salinas, as plantas controlam sua abertura estomática (redução do gs) afim de limitar o transporte de sais, resultando em uma redução da transpiração e da assimilação líquida de CO₂, a partir disso uma serie de efeitos começam a influenciar o metabolismo da planta (CHAVES et al., 2016). Todas essas alterações metabólicas dependem da intensidade do estresse e da quantidade dos eventos estressantes (BARROS, et al., 2018).

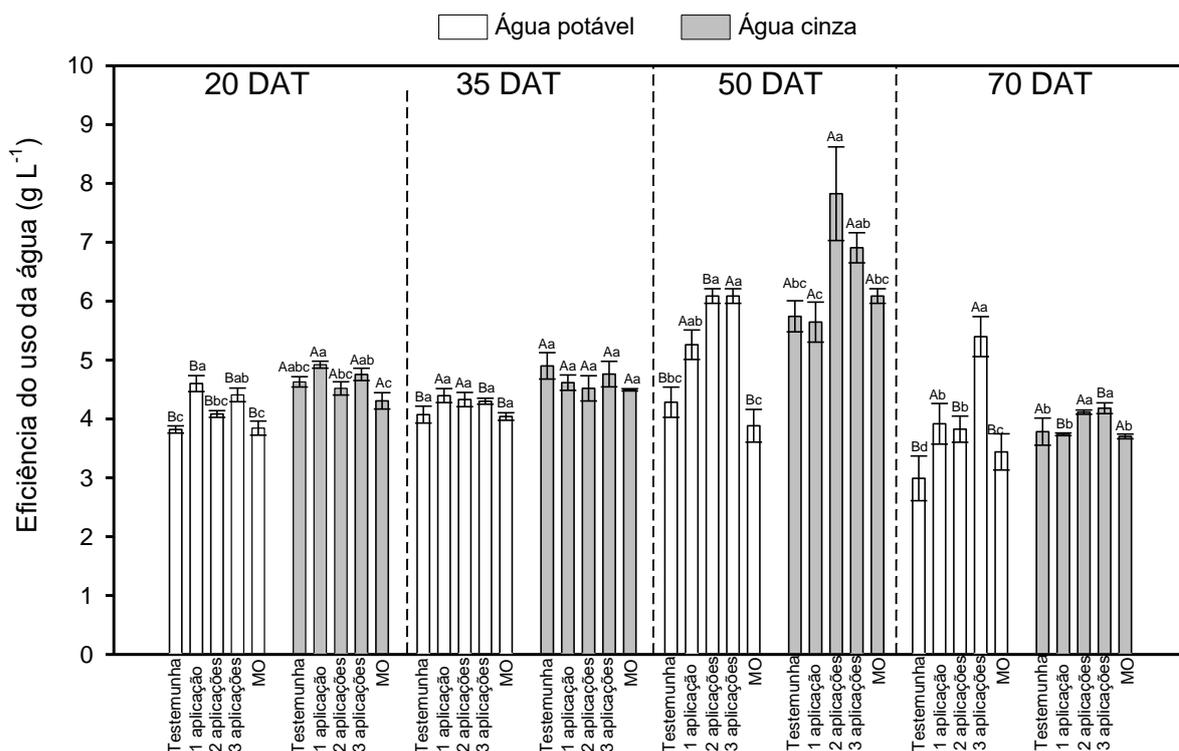


Figura 16: Valores médios ($n = 4$) da eficiência do uso da água de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função dos condicionadores aplicados e da água de irrigação. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre condicionadores testados. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento da eficiência do uso da água na cultura é definido como a razão entre a assimilação líquida de CO_2 e a transpiração, sendo um ponto chave para a economia de água para os períodos cruciais do desenvolvimento da planta (MEDINA & GILBERT, 2016). A Figura 16 avalia a eficiência do uso da água, nos instantes 20 e 35 DAT a água cinza obteve vantagem de 9,7% em relação a água potável, no entanto, a última avaliação, aos 70 DAT, não demonstra diferença significativa entre as águas.

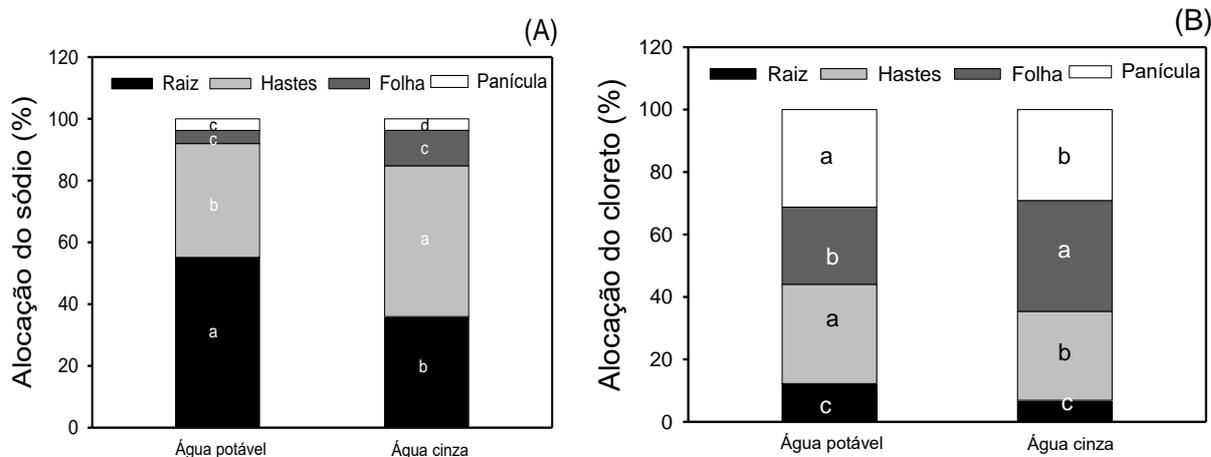
Com relação aos condicionadores o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral apresentou o melhor desempenho ao longo do experimento, superando os demais tratamentos em 9,2%. A água cinza de irrigação, assim como, o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral apresentaram melhores resultados para essa variável. As plantas irrigadas com água cinza, mantiveram a assimilação líquida de CO_2 sem aumentar a sua transpiração, isso contribuiu para uma maior eficiência no uso da água (SILVA, 2019). Os nutrientes dissolvidos na água cinza (Tabela 3) auxiliaram para manutenção da assimilação líquida de CO_2 , promovendo uma melhor eficiência no uso da água.

A equação para obtenção da eficiência do uso da água deve ser equacionada em termos de equilíbrio entre a economia de água e a penalidade no rendimento da cultura (BLUM, 2005).

4.5. Extração e alocação de íons tóxicos na planta

Todas as águas de irrigação contêm sais dissolvidos. Esses sais podem se concentrar na zona das raízes na mesma medida em que a água, mas pouco do sal, é absorvida pela planta (WILSON et al., 2002). Sem lixiviação ou drenagem adequada para remoção desses sais, haverá o aumento da salinidade na zona das raízes a cada irrigação, conseqüentemente uma parte dessa salinidade será translocada para a parte aérea da planta.

A biomassa de cada fração das plantas (raiz, hastes, folhas e panícula) foram avaliadas com relação a água de irrigação e aos condicionadores testados, para a concentração de Na^+ e Cl^- (Figura 17). Ao avaliar os teores de Na^+ por frações da planta, em relação a água de irrigação (Figura 17A), para a água potável, a maior concentração desse elemento encontra-se na zona das raízes, seguido pelas hastes, folhas e panícula, cada fração representa em percentagem respectivamente, 55,12; 36,88; 4,24 e 3,76%. Para a água cinza, as hastes apresentaram maior concentração desse elemento, seguido pela raiz, folhas e panícula, representando em percentagem respectivamente, 35,96; 48,84; 11,47 e 3,73 %. Analisando o teor de Na^+ na panícula para ambas as águas de irrigação, nota-se que esta fração concentrou a menor quantidade desse elemento.



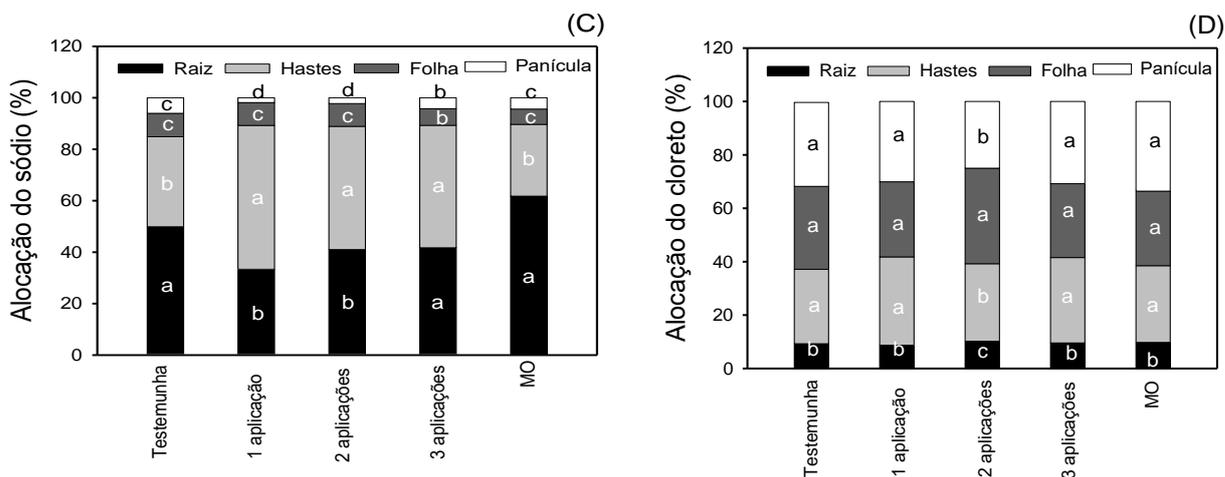


Figura 17: Alocação de sódio, em função da água de irrigação (A); do cloreto, em função da água de irrigação (B); do sódio, em função dos condicionadores aplicados (C) e do cloreto, em função dos condicionadores aplicados (D), de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplantio. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao avaliar os teores do elemento Cl⁻ por fração de planta (Figura 17B), para os tratamentos irrigados com água potável, as hastes e a panícula obtiveram os maiores valores, seguido pelas folhas e raízes, representando em termos de percentagem, 31,78; 31,22; 24,73 e 12,26% respectivamente. Com relação aos tratamentos irrigados com água cinza, a maior concentração foi identificada nas folhas, seguido pela panícula, hastes e raízes, o que representa, 35,5; 29,13; 28,46 e 6,9% respectivamente. Para ambas as águas de irrigação a menor concentração foi identificada nas raízes.

Com relação a alocação de sódio em função dos condicionadores testados (Figura 17C), para todos os tratamentos as frações folhas e panículas obtiveram os menores acúmulos desse elemento, representando em percentagem, 9,82 e 3,62% respectivamente. Os tratamentos matéria orgânica e testemunha apresentaram maior acúmulo desse elemento nas raízes. Para os tratamentos 1, 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral, o maior acúmulo foi encontrado nas hastes, seguido pelas raízes

Analisando a alocação de Cl⁻ com relação aos condicionadores testados (Figura 17D), a raiz representa a menor fração de alocação desse elemento para todos os condicionadores testados. A alocação desse elemento foi diferente apenas para o tratamento 2 aplicações do fertilizante organomineral, a fração com maior acúmulo foi as folhas, seguido pelas hastes e panícula, representando 35,76; 29,03 e 24,99% respectivamente. Para os demais tratamentos a alocação nas frações hastes, folhas e panícula não diferiram entre si.

O potencial de fitorremediação para o sódio e cloreto (Figura 18), descreve o potencial de cada condicionador em contribuir para a extração desses elementos do solo pelas plantas. A Figura 18A, descreve o comportamento de cada condicionador diante do sódio, sendo os tratamentos irrigados com água cinza superiores em relação aos mesmos tratamentos irrigados com água potável, representando, 7,46 e 3,78 k ha⁻¹ respectivamente. Avaliando as águas de irrigação, os tratamentos irrigados com água cinza superam em 49% os tratamentos irrigados com água potável. Para ambas as águas de irrigação o menor valor foi obtido pelo tratamento matéria orgânica, os demais tratamentos não diferiram entre si estatisticamente.

Os teores desses elementos extraídos pela quinoa são extremamente baixos quando comparados aos obtidos por outras halófitas, como por exemplo, a *Atriplex nummularia* Lindl. SOUZA et al. (2011), realizou um estudo acerca da fitoextração de sais pela atriplex, Com o objetivo de avaliar o potencial extrator da planta em solo salino sódico sob estresse hídrico utilizando quatro níveis de umidade na capacidade de campo em um Neossolo Flúvico Sódico salino, obteve, após 134 dias, o maior valor de teor médio em relação ao sódio na folha da planta, com um teor de 124,73 g kg⁻¹. Observou também que a remoção de Ca, Mg, Na, K e Cl pela folha + caule foi de 644,25; 757,81; 1.058,55 e 1.182,00 kg ha⁻¹ desses elementos para 35, 55, 75 e 95% da capacidade de campo, concluindo que esta espécie apresenta alta capacidade de fitoextração de sais.

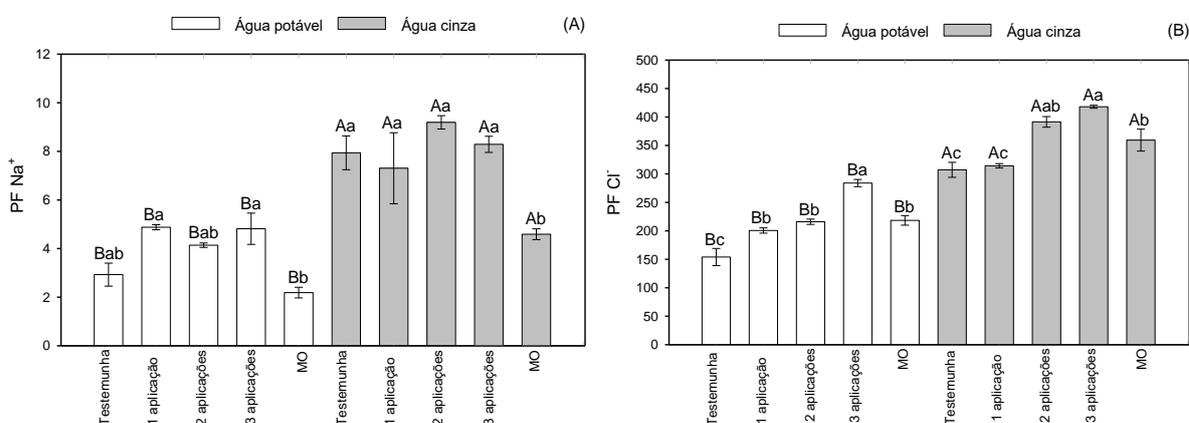


Figura 18: Potencial de fitorremediação do sódio (A) e do cloreto (B) de plantas de *Chenopodium quinoa* Willd após 70 dias do transplante, em função das águas de irrigação e dos condicionadores testados. Tratamentos: testemunha (ausência de condicionador), 1 aplicação de fertilizante organomineral, 2 aplicações de fertilizante organomineral, 3 aplicações de fertilizante organomineral e matéria orgânica. Letras maiúsculas representam diferença entre águas de irrigação e letras minúsculas apresentam diferença entre os condicionadores. Letras maiúsculas e minúsculas iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Figura 18B, descreve o potencial de fitorremediação do cloreto, os tratamentos irrigados com água cinza obtiveram valores maiores em relação aos mesmos tratamentos irrigados com água potável, o que corresponde a 363,93 e 214,57 kha⁻¹ respectivamente,

representando em percentagem uma diferença de 41%. Para ambas as águas de irrigação o tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral obteve o maior valor e o tratamento testemunha obteve o menor valor, representando para os tratamentos irrigados com água cinza, 417,98 e 283,96 k há⁻¹ e para os tratamentos irrigado com água potável 307,19 e 153,95 k ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente.

O potencial de fitorremediação para os elementos sódio e cloreto em relação aos tratamentos irrigados com água cinza foram superiores aos tratamentos irrigados com água potável, demonstrando que em meio salino a quinoa tem um potencial maior de fitorremediação. Além disso, o fertilizante organomineral aumentou a extração de sódio e cloreto do solo em 24,79 e 24,2% respectivamente.

A fitorremediação apresenta muitas vantagens, como seu baixo custo em relação as técnicas utilizadas e conservação das propriedades físicas e biológicas do solo, no entanto, apresenta algumas limitações devido as plantas requererem muito tempo para realizar a descontaminação dos solos (CARREIRO & LEITE 2017). Diante do exposto a quinoa apresenta-se como uma cultura halófito, bastante tolerante ao estresse salino, no entanto não se apresenta como uma boa extratora de sais.

5. CONCLUSÕES

A irrigação com água cinza promoveu o aumento do pH, CE_{es}, PST e dos elementos Na⁺, K⁺ e Cl⁻ do solo. Mudando a classificação do solo para salino-sódico.

A irrigação com água cinza filtrada não influencia de forma negativa o crescimento e a produção de fitomassa da quinoa.

A produção de massa fresca e seca foi favorecida pela água cinza de irrigação, sendo o tratamento de 3 aplicações do fertilizante organomineral o de maior produção.

O acúmulo de sódio e cloro nas plantas foram maiores para os tratamentos irrigados com água cinza, uma vez que, essa água contém grandes quantidades desses elementos dissolvidos que foram absorvidos pela cultura.

As plantas não apresentaram deficiência fotossintética quando irrigadas com água cinza. O tratamento 3 aplicações do fertilizante organomineral apresentou a melhor eficiência do uso da água.

A alocação de sódio e cloro obtiveram comportamentos diferentes de acordo com a água de irrigação e com cada tipo de condicionador. Para o elemento sódio, os tratamentos irrigados com água potável alocaram esse elemento na zona das raízes, já para os tratamentos irrigados com água cinza a concentração ocorreu nas hastes.

Os maiores valores de potencial de fitorremediação foram apresentados pelos tratamentos irrigados com água cinza, tanto para o sódio quanto para o cloro.

A combinação que apresentou melhor resultado para a fitorremediação foram os tratamentos de 2 e 3 aplicações do fertilizante organomineral irrigados com água cinza.

Diante dos resultados apresentados, foi possível concluir que a quinoa se desenvolveu, tanto na presença quanto na ausência dos condicionadores, com melhor desempenho quando irrigada com água cinza filtrada. Apesar de ter se adaptado seu manejo deve ser cauteloso, uma vez que não suporta níveis elevados de salinidade e não se apresenta como uma boa extratora de sais.

REFERÊNCIAS

ADOLF, V. I.; JACOBSEN, S. E.; SHABALA, S. Mechanisms of salt tolerance in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Environmental and Experimental Botany**, v.6, n.92, p. 43-54, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Fatos e tendências: água**. Brasília, DF, 2009, 36p.

AGUIAR, N. de O. et al. Distribuição da massa molecular de ácidos húmicos e promoção do crescimento radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1613- 1623, 2009.

ALCARDE, J. C. Fertilizantes. *In*: NOVAIS, R. F. *et al*, (orgs.). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: **Fertilidade do solo**. Viçosa – Minas Gerais. 1ª Ed. 2007, p.737-745.

ALGOSAIBI, A. M., et al. Effect of Irrigation Water Salinity on the Growth of Quinoa Plant Seedlings. **Journal of Agricultural Science**. Published by Canadian Center of Science and Education. Vol. 7, n. 8; p. 205, July 15, 2015.

ALVARES, C. A. *et al*. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, P. F. S. *et al*. Soil physical attributes in chemigated banana plantation with wastewater. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 6, p.998-1008, 2015.

ALY, A. A.; AL-BARAKAH, F. N.; EL-MAHROUKY, M. A. Salinity stress promote drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 48, n. 12, 2018.

ARAÚJO, M. M.; SOUSA, G. M.; RODRIGUES, L. R. C. C. Técnicas utilizadas na recuperação de solos afetados por sais. **Revista Agroecologia no Semiárido**, v. 1, n.2, p.01 - 11, Jun - Dez, 2017.

ARAÚJO, K. V. de. **Qualidade da matéria orgânica e atividade biológica das substâncias húmicas de solos de áreas do bioma cerrado com diferentes níveis de preservação**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal), Universidade Federal dos Vales Jequetinhonha e Murici – Diamantina, 2019.

ARMADA, C. A. S.; LIMA, R. L. R. Charging of water use as an important legal-economic instrument of water management in the context of the Northeast Region. **Revista Eletrônica Direito e Política**, Itajaí, v.12, n.3, 2017. ISSN 1980-7791.

ASLAM, M. *et al.* Foliar spray of selected plant growth regulators affected the biochemical and antioxidant attributes of spinach in a field experimente. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 40, p. 136-145, 2016.

BARACUHY, V. S. *et al.* Quality of Gray water treated with phytoremediation in agricultural production units. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p.187-192, 2015.

BARBOSA, M. T. **Sistemas de reúso de águas domésticas para agricultura familiar: o caso de comunidades rurais do estado do Ceará**. 2019. 185f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2019a.

BARBOSA, M. T. *et al.* Avaliação da sustentabilidade de sistemas de reúso de água cinza doméstica para agricultura familiar em comunidades rurais do Estado do Ceará. *In*: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Congresso ABES**, Manguinhos – Rio de Janeiro, 2019b.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da União, 3 ago. 2010. Seção 1, p.2-7.

BARRETO, G.C.de M. **Avaliação de desenvolvimento da *Slicornoa neei* Lag. Consorciada com palma-miúda, sorgo-do-sudão e milho**. 2020. 89f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais), Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2020.

BARROS, J. D. de S. Contribuições da matéria orgânica do solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Revista Eletrônica Polêmica**, v. 12, n. 2, 2013. ISSN: 1676-0727.

BARROS, M. de F. C. *et al.* Aplicação de gesso e calcário na recuperação de solos salino-sódicos do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 320-326, 2005.

- BARROS, M. de F. C. Influência da aplicação de gesso para correção de um solo salino-sódico cultivado com feijão caupi. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 9, n. 1, 2009.
- BARROS, V. et al. Plant Physiology and Biochemistry Arbuscular mycorrhizal fungi improve photosynthetic energy use efficiency and decrease foliar construction cost under recurrent water deficit in woody evergreen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p. 469–477, 2018.
- BEZERRA, J. D. **Crescimento, fisiologia e produção da melancia sob irrigação com águas salinas e adubação orgânica**. 120f, 2017. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2017.
- BIONDI, S. *et al.* **Estado da arte de la quinua en el mundo en 2013**. In: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Santiago, 2014
- BLUM, A. resistência à seca, eficiência no uso de água e potencial de rendimento - eles são compatíveis, dissonantes ou mutuamente exclusivos? **Australian Journal Agricultural Research**. V. 56, 2005.
- BONAMIGO, A. P.; PREVIDE, C. E.; LEDUR, K. M. **Avaliação do desempenho agrônômico da quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) em diferentes épocas de plantio no município de São Miguel do Oeste, Santa Catarina**. 2019. 39f. Trabalho de conclusão de curso (técnico) – Instituto federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC. São Miguel do Oeste, 2019.
- BORCIONI, E.; MÓGOR, Á. F.; PINTO, F. Aplicação de ácido fúlvico em mudas influenciando o crescimento radicular e produtividade de alface americana. **Revista Ciência Agropecuária**, v. 47, n. 3, p. 509-515, 2016.
- CAI, Z.; GAO, Q. Mecanismos fisiológicos e bioquímicos comparativos de tolerância ao sal em cinco cultivares contrastantes de quinoa em terras altas. **BMC Plant Biology**, v. 20, n. 70. 2020.
- CANELLAS, L. P. *et al.* Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p. 15-27, 2015.
- CAVALCANTE, G. F. F. **Implantação de sistemas de uso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em um residencial multifamiliar de pequeno porte**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017, 87 p.
- CARR, R. M. The safe use of urban wastewater in agriculture. **Water Lines**. v. 23, n. 1. 2004.
- CARREIRO, D. de A.; LEITE, J. C. A. Fitorremediação de solos salinizados no semiárido brasileiro: uma revisão de literatura. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO. 2017, São José. Livro dos anais Riquezas naturais no semiárido: degradação e uso sustentável. Campina Grande, 2017, ISSN: 2526-1860.
- CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. C. Condicionadores de solo: ácidos húmicos e fúlvicos. **Série Produtor Rural** - nº 58. Piracicaba 2015. ISSN: 1414-4530.

CHANAKYA, H. N.; KHUNTIA, H. K. Treatment of gray water using anaerobic biofilms created on synthetic and natural fibers. **Process Safety and Environmental Protection**, Oxford, v 92, n. 2, p. 186 - 192, 2014.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v. 30, p. 239-264, 2003.

CHEN, W. *et al.* Impacts of long-term reclaimed water irrigation on soil salinity accumulation in urban green land in Beijing. **Water Resources Research**. V. 49, n. 11 p. 7401-7410, 2013.

CHEN, W. *et al.* Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green áreas. **Revista Chemosphere**, v.119, p.654-661, 2015.

CIRELLI, G. L. *et al.* Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. **Agricultural Water Management**, v. 104, P. 163-170, 2012.

CORAUCCI FILHO B. *et al.* Disposição do solo. In: GONÇALVES, R. F. *et al.* (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia**. ABES, RiMa, 2003, p. 337-385.

CORRÊA, J. C. *et al.* Soil fertility and agriculture yield with the application of organomineral or mineral fertilizers in solid and fluid forms. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 05, 2018.

CORRÊA, M. M. *et al.* Wastewater reuse in irrigation: short-term effect on soil carbon and nitrogen stocks in Brazilian semi-arid region. **Revista Ambiente e Água**, v. 16, n. 1, 2021.

CRUZ, J. L. *et al.* Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v. 65, n. 2, 2006.

COSTA, D. M. A. *et al.* Conteúdo de N, P, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ no amaranto (*Amaranthus* spp) sob estresse salino e cobertura morta. **Revista Ciência Agrônômica**, v.39, p.209-216, 2008

COSTA JÚNIOR, A. F. **Qualidade fisiológica de sementes de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) produzidas em solo com diferentes tipos de adubação orgânica**. 2017, 40f. Monografia (Engenharia Agrônoma) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, 2017.

COSTA, S. B.; BONILLA, O. H. Halófitas brasileiras: formas de cultivo e uso. In: Gheyi, H. R. *et al.* (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**, Fortaleza - CE, 2016. P. 246-258.

CUNHA, M. E. da. **Monitoramento e avaliação socioambiental de sistema compacto para tratamento e uso agrícola de águas cinzas**. 2018. 88f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró – RN, 2018.

DETMANN, E. *et al.* **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 214 p.

DIAS, N. da S. *et al.* Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. *In: Gheyi, H. R. et al. (ed.). Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*, Fortaleza - CE, 2016.

DUARTE, E. C. S. *et al.* Aproveitamento da água cinza para irrigação de pequenas propriedades rurais. *In: Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade*, 2017. **Livro de Anais Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Belo Horizonte, 2017.

ELRYS, A. S. *et al.* Integrative application of licorice root extract or lipoic acid with fulvic acid improves wheat production and defenses under salt stress conditions. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 190, 2020.

EREL, R. *et al.* Long-term irrigation with reclaimed wastewater: Implications on nutrient management, soil chemistry and olive (*Olea europaea* L.) performance. **Agricultural Water Management**, v. 213, n. 1, p. 324–335, 2019.

ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia Brasiliensi**, v. 12, n. 4, p.662-679, 2008.

FARIAS, S. G. G. *et al.* Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de *Gliricídia* (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunt ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1499-1505, 2009.

FEITOSA, A. P. *et al.* Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 196-206, 2011.

FEITOSA, A. P. **Avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reúso da água no semiárido brasileiro**. 2016, 95f, Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água), Mossoró – RN, 2016.

FERNANDES, A. L. T. *et al.* Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do cafeeiro irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 159-166, 2007.

FERREIRA, D. C. **Fertirrigação do cafeeiro com esgoto doméstico – riscos de salinização e contaminação do solo**. 2008, 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – Minas Gerais, 2008.

FERREIRA, D. M. *et al.* Wastewater use in agriculture: analytical limits of sewage for impact control in Brazil. **Revista Caatinga**. V. 32, n. 4, p.1048-1059, 2019.

FREIRE, M. B. G. dos S.; SOUZA, E. R. de.; FREIRE, F. J. Fitorremediação de solos afetados por sais. *In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de. (orgs.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza – CE, 2010, p. 459-470.

FOUNTOULAKIS, M. S. *et al.* Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing. **Journal Science of the Total Environment**. V. 2, n. 57, p. 706-711, 2016.

GOMES, E. M.; GHEYI, H. R.; SILVA, E. F. de F. e. Melhorias nas propriedades químicas de um solo salino-sódico e rendimento de arroz, sob diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 355-361, 2000.

HALLIWELL, D. J., BARLOW, K. M., NASH, D. M., 2001. Uma revisão dos efeitos do sódio de águas residuais nas propriedades do solo e suas implicações para os sistemas de irrigação. **Australian Journal of Soil Research**. v. 39, n. 6, p.1259–1267, 2001.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário de 2017- Rio de Janeiro. V. 7. p. 1-108. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf acesso em 17 de maio de 2021.

IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco. Governo de Pernambuco, 2021 – Pernambuco. Disponível em: http://www.ipa.br/indice_pluv.php. Acessado em: 10/07/2021.

KARLEN, D. L. *et al.* Qualidade do solo: a fundação da humanidade para a sobrevivência, um editorial de pesquisa por profissionais da conservação. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 58, n. 4, p. 171-179, 2003.

KASPCHAK, E. **Caracterização térmica e capacidade geleificante de um isolado proteico de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa*)**. 2015, 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Pará, Curitiba, 2015.

KEUTGEN, A. J.; PAWELZIK, E. Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, p. 170-176, 2009.

LEAL, I. G. *et al.* Fitorremediação de Solo Salino Sódico por *Atriplex nummularia* e Gesso de Jazida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, 1065-1072, 2008.

LI, M. *et al.* Os efeitos do ácido fulvico na denitrificação microbiana: promoção de geração NADH, transferência de elétrons e consumption. **Environmental Biotechnology**, v. 100, p. 5607-5618, 2016.

LUCENA, R.L. *et al.* **Wastewater reuse as a way of living with drought in Brazil's semi-arid region**. Revista de Geociências do Nordeste, v. 4, n. especial, 2018.

LQBAL, S. *et al.* Yield potential and salt tolerance of quinoa on salt-degraded soils of Pakistan. **WILEY – Journal e Agronomy and Crop Science**, v.205, p. 13-21, 2019.

LYU, S.; CHEN, W. Soil quality assessment of urban green space under long-term reclaimed water irrigation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 4639-4649, 2016.

MALAVOLTA, E. *et al.* **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: PATAFOS, 1989. 210p.

- MARINHO, L. E. O. *et al.* Application of Reclaimed Wastewater in the Irrigation of Rosebushes. **Water Air Soil Pollut**, v. 9, p. 224-231, 2013.
- MARTINS JUNIOR, R.; MARTINS, M. V. L. Dimensionamento de filtro de areia para tratamento de água cinza do bloco novo do IRN. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. V.5, n.3, p.356-363, 2016.
- MEDEIROS, J. F. *et al.* Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.469-472, 2003.
- MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L. Cultivo de flores com o uso de água residuária e suplementação mineral. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n. 6, 2010.
- MEDINA, V., GILBERT M. E. Physiological trade-offs of stomatal closure under high evaporative gradients in field grown soybean. **Functional Plant Biology**, v. 43, p. 40–51, 2016.
- MIGUEL, A. de *et al.* Short-term effects of reclaimed water irrigation: *Jatropha curcas* L. cultivation. **Ecological Engineering**, v. 50, p. 44-51, 2013.
- MIRANDA, M. A. *et al.* Condicionadores químicos e orgânicos na recuperação de solo salino-sódico em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, 2011.
- MORAIS, F. A. & GATIBONI, L. C. Phosphorus availability and microbial immobilization in a Nitisol with the application of mineral and organo-mineral fertilizers. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 4, pp. 2289-2299, 2015.
- NORBY, R. J. et al. Trees responses to rising CO₂ in the field experiments: implications for the future forest. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, Ed. 6, p. 683-714, 2002.
- OLIVEIRA, H. A. **Uso da água cinza no crescimento inicial do mamoeiro e maracujazeiro em áreas de produção familiar**. 2019. 69f. Tese (Doutorado em Manejo de SOLO e Água), Mossoró - RN, 2019.
- OSTER, J. D.; SHAINBERG, I. Soil responses to sodicity and salinity: challenges and opportunities. **Australian Journal of Soil Research**, v. 39, n. 6, p. 1219-1224, 2001.
- PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 2, 2015.
- PEQUENO, O. T. B. de L.; SILVA, J. L. B. C. da; BRASILEIRO, I. M. do N. Fitoextração de sais através de estresse salino por *Atriplex numulária* em solo do semiárido paraibano. **Revista Saúde e Ciência**, v. 3, n. 3, 2014, p. 37-52.
- PESSOA, L. G. M. *et al.* Composição química e salinidade do lixiviado em dois solos cultivados com cebola irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 3, p. 406-412, 2010.

QADIR, M. *et al.* Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. **Advances in Agronomy**, v.96, p.197-247, 2007.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do dolo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 1º Edição, 2011. 420 p.

RAPOPORT, B. **Águas cinzas**: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominial. Monografia, Rio de Janeiro, p.85, 2004.

REBÊLO, M. M. P. S. **Caracterização de águas cinzas e negras de origem residencial e análise da eficiência de reator anaeróbio com chicanas**. 2011. 111 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F.de. (Orgs.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza – CE, 2010, p. 11-19.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. Químicas dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F. & ALLEONI, L. R. F. (orgs.). **Química e mineralogia do solo**: parte II – aplicações. Viçosa – Minas Gerais. 1ª Ed. 2009, p.450-484.

RICARDO, A. P. C. **Estudo da salinidade no desenvolvimento de duas espécies halófitas (*Sueada marítima* e *Inula crithmoides*)**. 65f, 2019. Dissertação (Mestrado em Hortofruticultura) – Faculdade de Ciência e tecnologia, 2019.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. USDA: Agriculture Handbook,60.

RISI, J.; GALWEY, N. W. Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*). In: A temperate environment. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge – 1991. p. 325-332.

RUIZ, K. B. *et al.* Quinoa: a model crop for understanding salt - tolerance mechanisms in halophytes. **Plant Biosystems**. V. 150, n. 2, p. 357-371, 2016.

SAIDIMORADI, D.; GHADERI, N.; JAVADI, T. Salinity stress mitigation by humic acid application in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Scientia Horticulturae**, v. 256, n. 108594, 2019.

SANTOS, R. H. D. dos. *et al.* Matéria orgânica como atenuante da salinidade da água de irrigação na cultura do milho. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 3, 2020. p. 84-93.

SANTOS, R.V. dos. *et al.* Interação salinidade-fertilidade do solo. In: GHEYI, H. R. *et al.* (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza – CE, 2ª Ed. p. 277-291, 2016.

SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Revista Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 2, p.17-32, 2014.

- SCHOSSLER, T. R., et al. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1563, 2012.
- SILVA, J. R. I. *et al.* Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Revista Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.11, n.3, p.127-139, 2018. ISSN 1984-7548.
- SILVA, J. R. I. **Respostas fotossintéticas e rendimento do milho sob adubação orgânica e irrigação com água residuária**. 2019. 81f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, PE, 2019.
- SILVA, R. L.; UCHÔA, R. L.; LUCENA, I. C. Características físico-química das águas superficiais do reservatório Angicos Quixelô para irrigação. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 10, n. 4, 2016. p. 26-31.
- SILVA, R. Z. *et al.* Fitorremediação de solos salinos em sistemas de cultivo protegido. **Revista Cultivando o Saber**, v. 9, n. 4, p. 498-505, 2016.
- SOUSA, C. A. A. de. *et al.* Use of biostimulant in the initial development of watermelon in saline soil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020.
- SOUSA, F. Q. de. *et al.* Crescimento e respostas fisiológicas de espécies arbóreas em solo salinizado tratado com corretivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 173-181, 2012.
- SOUSA, G. G. de. *et al.* Nutrição mineral e extração de nutrientes de plantas de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, Campina Grande, p. 1143-1151. 2010.
- SOUZA, E. R. de. *et al.* Fitoextração de sais pela *Atriplex numulária* Lindl. Sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, 2011.
- SOUZA, J. L. de; RESENDE, P. **Manual de horticultura orgânica**. 3. ed. Viçosa – MG, Aprenda fácil editora, 2014.
- SOUZA, R. A. de. *et al.* Acúmulo de íons no solo irrigado com água salina e aplicação de compostos orgânicos. *In*: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2018, Maceió – AL. **Livro de anais do Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**. Maceió, 2018.
- SPEHAR, C. R. *et al.* **Quinoa: uma alternativa para a diversificação agrícola e alimentar**. Embrapa Cerrados, 2007.
- SPEHAR, R. C. Adaptação da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) para incrementar a diversidade agrícola e alimentar no Brasil. **Caderno de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.23, n. 1, p. 41-62, 2006.
- SPEHAR, C. R.; ROCHA, J. E. da S.; SANTOS, R. L. de B. Desempenho agrônomico e recomendações para cultivo de quinoa (BRS SYETETUBA) no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 1, p. 145-147, 2011.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. B. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) BRS Piabiru: Alternativa para diversificar os sistemas de produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 6, p. 889-893, 2002.

SPEHAR, C. R.; SANTOS, R. L. de B. **Quinoa**: alternativa na cobertura do solo e na produção de grãos. Guia técnico do produtor rural. Ano 4, n. 34, 2001.

SUN, Y. P. *et al.* Biochar and fulvic acid amendments mitigate negative effects of coastal saline soil and improve crop yields in a three year field trial. **Scientific Reports**, v. 10, n. 8946, 2020.

TIMM, F. C. **Aspectos fisiológicos e bioquímicos de genótipos de aveia branca em resposta a salinidade**. 2012. 86f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RN, 2012.

TOZE, S. Reuse of effluent water—benefits and risks. **Agricultural Water Management**, v. 80, n. 5, p.147–159, 2006.

VASCONCELOS, R. R. A. de. *et al.* Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1318-1325, 2013.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerancia das plantas à salinidade: Aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia biosfera**, v.6, n.11, p.1-23, 2010.

WILSON, C. READ, J. J., ABO-KASSEM, E. Efeito da salinidade de sal mmisturado sobre o crescimento e as relações de íons de um quinoa e uma variedade de trigo. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 12, 2002. p. 2689-2704.

YANG. A. *et al.* Saponin seed priming improves salt tolerance in quinoa. **Wiley Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, p. 31-39, 2018.

ZHANG, P. *et al.* Dose-Dependent Application of Straw-Derived Fulvic Acid on Yield and Quality of Tomato Plants Grown in a Greenhouse. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, doi: 10.3389, 2021.