



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

BRUNO GOULART DE AZEVEDO SOUZA

**DESSALINIZAÇÃO E USO INTEGRADO DO REJEITO SALINO PARA
PRODUÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR**

MOSSORÓ

2022

BRUNO GOULART DE AZEVEDO SOUZA

**DESSALINIZAÇÃO E USO INTEGRADO DO REJEITO SALINO PARA
PRODUÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Conservação do Solo e Água

Orientador: Prof. Dr. Nildo da Silva Dias

MOSSORÓ

2022

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

S719d Souza, Bruno Goulart de Azevedo.
DESSALINIZAÇÃO E USO INTEGRADO DO
REJEITO SALINO PARA PRODUÇÃO NA
AGRICULTURA FAMILIAR /
Bruno Goulart de Azevedo Souza. - 2022.
38 f. : il.
Orientador: Nildo da Silva Dias.
Dissertação (Mestrado) -
Universidade Federal Rural do Semi-
árido, Programa de
Pós-graduação em Fitotecnia, 2022.
1. Efluente Piscicultura. 2.
Agricultura Familiar. 3.
Sustentabilidade. I. Dias, Nildo da
Silva, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BRUNO GOULART DE AZEVEDO SOUZA

**DESSALINIZAÇÃO E USO INTEGRADO DO REJEITO SALINO PARA
PRODUÇÃO NA AGRICULTURA FAMILIAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Conservação do Solo e Água

Defendida em: 15 / 02 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Nildo da Silva Dias

Prof. Dr. Nildo da Silva Dias (UFERSA)
Presidente

Maria Alejandra Moreno Pizani

Prof^a. Dra. Maria Alejandra Moreno Pizani (PECEGE)
Membro Examinador

Marcirio de Lemos

Dr. Marcirio de Lemos (CTV)
Membro Examinador

Flávio de Oliveira Basílio

Dr. Flávio de Oliveira Basílio (IDEMA)
Membro Examinador

Dedico este trabalho a minha avó paterna Margarida de Jesus Carvalho e ao meu avô materno Evaldo Soares de Azevedo pelo amor e ensinamentos repassados (In Memoriam).

Dedico este trabalho a minha filha Leticia Alves Goulart, a minha esposa Gabriela Alves de Souza Goulart, aos meus pais Eunice Regina de Azevedo Souza e João Goulart Carvalho de Souza, ao meu irmão João Victor Goulart de Azevedo Souza, e aos amigos pelo carinho e apoio (presentes).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por me dar a capacidade de adquirir conhecimento e estar sempre me ajudando nos momentos mais difíceis.

Agradeço a minha esposa Gabriela Alves por total apoio ao longo do mestrado, e por ter me dado a benção de ser pai de Letícia.

Agradeço aos meus pais Eunice Regina e João Goulart pelo amor e total apoio em minha vida.

Ao meu irmão João Victor, por todo amor, atenção e apoio.

A minha família, a minha avó Maria de Lourdes, meu tio Joaquim Inácio de Azevedo que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste sonho.

Agradeço aos amigos e colegas, Val, Nickson, Italo, Giliard, Jeferson, Professor Aurélio, Professor Eduardo e Professora Patrícia que conheci ao longo do curso e ajudaram no meu aprendizado e formação.

Agradeço ao professor Dr. Nildo Dias pela orientação, amizade e ensinamentos repassados durante esse período, que foi indispensável para a construção deste trabalho, sem o seu apoio e por acreditar em mim nada disso seria possível.

Aos membros da banca por aceitarem participar e pela contribuição para com este trabalho.

Agradeço aos amigos Adriano Gabriel e Modesto Neto, pelo total apoio e amizade nesse período.

Agradeço a Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade de conclusão de um curso de pós-graduação.

Agradeço à CAPES pelo auxílio financeiro e concessão de bolsa de estudo/pesquisa durante minha formação.

A todos que estão comigo, estamos juntos sempre, **MUITO OBRIGADO!**

O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem, mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir.

Albert Einstein

RESUMO

O semiárido brasileiro possui escassez de água, muitas vezes o acesso à água é através de poços tubulares, porém essas águas apresentam alto teor de sais. Visando a dessalinização dessas águas o governo federal criou o programa água doce para disponibilizar água potável as famílias. Entretanto, na dessalinização gera-se, além da água potável, um rejeito salino que, geralmente, não recebe qualquer tratamento ou destinação adequada. Uma pesquisa-ação visando a produção agrícola familiar utilizando rejeito da dessalinização como suporte hídrico foi desenvolvida em duas comunidades rurais do município de Mossoró/RN. A pesquisa-ação constitui-se de subsistemas integrados e sustentáveis visando o uso agrícola do rejeito dos dessalinizadores, os quais são: inicialmente, a água salina do poço é bombeada até a estação de tratamento; o rejeito gerado no processo de dessalinização é destinado para 2 viveiros de piscicultura construídos para a criação de tilápias (espécie tolerante à água salgada); o efluente da piscicultura, enriquecido em matéria orgânica, é armazenado em tanques de irrigação que, posteriormente é utilizado como suporte hídrico e nutricional no cultivo de plantas forrageiras e hortaliças orgânicas e; finalmente, a forragem produzida, com elevado teor de proteína, é fornecida para a alimentação e engorda de caprinos e/ou ovinos que, juntamente como a produção de tilápia e hortaliças garantem a soberania alimentar e nutricional das famílias e, ainda, pode incrementar a renda com a venda do excedente, fechando o sistema de produção ambientalmente sustentável. Os resultados mostram que há benefícios socioambientais do sistema de produção integrado utilizando o rejeito dos dessalinizadores, pois além de evitar a contaminação ambiental devido à disposição inadequada do rejeito, o sistema integrado garante a segurança alimentar e nutricional das famílias e, ainda a possibilidade de venda do excedente. O projeto contribui com as políticas de combate à desertificação do nordeste brasileiro e, principalmente, com a gestão e o uso sustentável das águas, podendo ser replicadas em outras localidades que dispõem de estações dessalinizadoras.

Palavras-chave: Efluente Piscicultura, Agricultura Familiar, Sustentabilidade.

ABSTRACT

The Brazilian semiarid has problems with water availability, often access to water is through tubular wells, but these waters have a high content of salts. Aiming at the desalination of these waters, the federal government created the fresh water program to make drinking water available to families. However, in desalination, in addition to drinking water, a saline waste is generated, which generally does not receive any treatment or adequate destination. An action research aimed at family agricultural production using desalination waste as a water support was developed in two rural communities in the municipality of Mossoró/RN. The action research consists of integrated and sustainable subsystems aimed at the agricultural use of the waste from desalination plants, which are: initially, the saline water from the well is pumped to the treatment plant; the waste generated in the desalination process is sent to 2 fish ponds built for the rearing of tilapia (a species tolerant to salt water); the effluent from fish farming, enriched in organic matter, is stored in irrigation tanks that are later used as water and nutritional support in the cultivation of forage plants and organic vegetables; finally, the forage produced, with a high protein content, is supplied for feeding and fattening goats and/or sheep, which, together with the production of tilapia and vegetables, guarantee the food and nutritional sovereignty of families and can also increase the income from the sale of the surplus, closing the environmentally sustainable production system. The results show that there are socio-environmental benefits of the integrated production system using the waste from desalination plants, because in addition to avoiding environmental contamination due to the inadequate disposal of the waste, the integrated system guarantees food and nutritional security for families and the possibility of selling of the surplus. The project contributes to policies to combat desertification in the Brazilian northeast and, mainly, with the management and sustainable use of water, which can be replicated in other locations that have desalination stations.

Keywords: Fish Farming Effluent , Family Farming,, Sustainability..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Localização do Assentamento Santa Elza e da comunidade rural Serra Mossoró, Mossoró, RN.	19
Figura 2	–	Esquema do sistema de tratamento de água salina e da produção agrícola integrada e sustentável utilizando rejeito salino como suporte hídrico.	20
Figura 3	–	Planta baixa do subsistema criação de tilápias, incluindo o tanque para armazenamento efluente.	22
Figura 4	–	Vista geral do subsistema criação de tilápias e subsistema produção de hortaliças irrigadas com efluente da piscicultura.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Características físico-químicas do rejeito salino no Assentamento Santa Elza e na Comunidade Serra Mossoró.....	26
Tabela 2	–	Classificação dos solos receptores do rejeito bruto quanto à salinidade em Santa Elza e Serra Mossoró antes das ações da pesquisa.	27
Tabela 3	–	Características físico-químicas e biológicas do efluente da piscicultura em Santa Elza e Serra Mossoró, Mossoró, RN.	28
Tabela 4	–	Rendimentos médios semanal das hortaliças cultivadas sob a irrigação com efluente da piscicultura.	29
Tabela 5	–	Valores nutricionais das hortaliças fertirrigadas com efluente da piscicultura.....	30
Tabela 6	–	Massa de matéria fresca (MFT) e seca total (MST), Teor de proteína bruta (PB) e composição mineral extraídos pela erva sal fertirrigado com efluente da criação de tilápias em Santa Elza e Serra Mossoró.	31
Tabela 7	–	Características físico-químicas dos solos antes da aplicação do efluente da piscicultura em Santa Elza e Serra Mossoró, Mossoró, RN.	32
Tabela 8	–	Resultado das análises físico-químicas dos solos cultivados com erva sal aos 45 e 90 DAP em Santa Elza e Serra Mossoró.	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 Aspectos gerais sobre dessalinização da água e Métodos de Dessalinização.....	15
2.2 Aspectos negativos às plantas em ambientes salinos.....	16
2.3 A osmose reversa e o manejo do rejeito salino.....	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 Local e descrição da experiência	19
3.2 Desenvolvimento das ações da pesquisa	20
3.2.1 Fase exploratória	20
3.2.2 Oficinas de formação do público beneficiado.....	21
3.2.3 Construção dos subsistemas	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1 Caracterização dos solos e análises do rejeito e do efluente da piscicultura	28
4.2 Horta orgânica utilizando efluente da piscicultura como suporte hídrico	31
4.3 Cultivo de erva sal fertirrigada com efluente da piscicultura	33
4.3.1 Produção, qualidade e extração mineral.....	33
4.3.2 Salinidade dos solos cultivados com erva sal fertirrigado com efluente salino	34
5 CONCLUSÕES	36
6 REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A escassez de alimentos no mundo é um problema que se agrava ao longo do tempo, devido à má distribuição de alimentos, bem como a oferta de áreas adequadas para sua produção, entre outros fatores. A Organização das Nações Unidas (ONU) tem desenvolvido estratégias para mitigar os problemas relacionados a fome ao redor do mundo, e como diretrizes a ONU através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) tem como um de seus objetivos a fome zero, tendo na sua agenda 2030 o objetivo de alcançar essa marca, porém segundo dados da FAO et al. (2021) temos um número bastante elevado de pessoas passando fome ao redor do mundo, estima-se que 811 milhões de pessoas estão sendo atingidas pela fome ao redor do mundo. Esse número de pessoas passando condição de subalimentação ao redor do mundo foi agravado devido aos impactos provocados pela pandemia causada pela COVID-19. Sendo assim necessário um esforço ainda maior para que o problema da fome seja combatido até 2030.

A nutrição e a disponibilidade de alimentos para as populações são essenciais para que ocorra o mínimo para a sobrevivência humana, com o crescente número de pessoas ao redor do mundo, é necessário que sejam feitos programas que ajudem a desenvolver ambientes nos quais sejam possíveis a utilização de locais que muitas vezes parecem ser impróprios para a produção de alimentos, visto que, com o aumento da população, a menor disponibilidade de terras férteis e a menor disponibilidade de alimentos podem gerar colapsos globais, como problemas de deslocamentos populacionais, fome, conflitos, entre outros.

No semiárido do nordeste brasileiro, a disponibilidade de água é um fator limitante a produção de alimentos, visto que, existe pouca água superficial disponível, devido a diversos fatores como altas temperaturas, pouca pluviosidade e alta evaporação. Segundo Ferreira et al. (2017) a escassez de água na região nordeste acontece devido à baixa precipitação pluviométrica na região e pelo regime de chuvas ser irregular, com ocorrência de chuvas torrenciais intercaladas por períodos sem chuva durante o período chuvoso, o que interfere no volume de água dos mananciais superficiais.

Assim dessa maneira, as águas usadas pelas comunidades rurais na região semiárida são muitas vezes advindas de poços tubulares como alternativa a escassez de água, principalmente nos longos períodos secos. Porém muitas vezes essas águas apresentam características indesejáveis, como alto teor de sais dissolvidos. Isto ocorre porque os solos são rasos, com o desprendimento de minerais que vão se acumulando em consequência da baixa pluviosidade e as altas taxas de evaporação, a água acumulada acaba se tornando salina e

imprópria para o consumo humano, bem como para o seu uso na agricultura e dessedentação de animais (SANTOS et al., 2011).

Para resolver o problema das águas salinas dos poços tubulares, o Governo Federal criou o “Programa Água Doce”, que visa dessalinizar a água ofertando água potável adequada para o consumo humano. Para a dessalinização este programa utilizou-se de estações de tratamento de água com o uso da técnica da osmose reversa. A osmose reversa consiste de um princípio físico-químico no qual filtra parte da água disponibilizando a água potável, porém gera como subproduto um rejeito altamente salino que pode ser 60% do volume total da água tratada, sendo muito mais salino que a água que foi captada pelo poço (VALE e AZEVEDO, 2013). O descarte do rejeito feito de maneira inadequada pode contaminar o solo, aumentando os níveis de sais, e pode até comprometer o lençol freático com o acúmulo dos sais, sendo assim muito importante o seu correto descarte.

Segundo Oliveira (2016), algumas comunidades utilizam o rejeito sem qualquer orientação ou acompanhamento técnico, podendo ser um agravante.

O grande desafio da utilização do sistema de tratamento de água com osmose reversa está na disposição ou reutilização da água de rejeito de forma a evitar impactos negativos ao ambiente, pois comumente são derramados em cursos d’água e no solo sem qualquer avaliação (OLIVEIRA et al., 2017).

Para se atingir as metas de redução da fome no mundo a agricultura familiar desempenha um papel muito importante, e em vistas as condições semiáridas já citadas, é importante que se tenha uma oferta de água de qualidade que os produtores possam efetivamente realizar as suas atividades no campo. As comunidades que se utilizam dos dessalinizadores podem ser beneficiadas se o rejeito salino puder ser utilizado de alguma maneira, para isto são necessárias atividades de pesquisa nas quais possam viabilizar o uso, já que se trata de uma grande quantidade de água que pode ser desperdiçada, além de causar prejuízos ao meio ambiente e a produção agrícola. Segundo Amaral et al. (2021) as águas de poços tubulares precisam de manejo correto para ser utilizada na irrigação.

Uma maneira de se aproveitar da totalidade dos produtos gerados pela dessalinização das águas de poços tubulares é o conjunto de práticas integradas que possam dar resultados aos produtores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais sobre dessalinização da água e Métodos de Dessalinização

A dessalinização de águas salobras tem-se constituindo uma importante técnica de manejo de águas que primariamente são inviáveis para o consumo humano, bem como para o seu uso na agricultura e pecuária. Devido à escassez de alimentos ao redor do mundo faz-se necessário a utilização de técnicas nas quais possibilitem o desenvolvimento de atividades de subsistência, o desenvolvimento agropecuário depende da disponibilidade de água que cada região fornece, muitas das vezes a água disponível não possui a qualidade mínima para o desenvolvimento de atividades primárias, sendo encontradas muitas vezes em camadas subsuperficiais do solo, e tendo os seus teores de sais elevados. Para este aspecto são desenvolvidas técnicas para dessalinização das águas, uma destas técnicas é a da osmose reversa, no qual, através de um sistema movido a bomba, dessaliniza-se a água, disponibilizando água própria para o consumo, entretanto gera-se como subproduto um rejeito altamente salino, no qual pode ser bastante prejudicial ao meio ambiente se for disposto de maneira incorreta (OLIVEIRA et al. 2018).

A literatura cita vários tipos de dessalinização, desde aqueles que são usadas para se filtrar os sais das águas do mar, até os que se usam para águas provenientes de poços tubulares.

Pode-se dizer que os principais métodos utilizados para a dessalinização estão relacionados a procedimentos que se utilizam de membranas, e por via térmica.

No método por via térmica a água salina sofre um aquecimento provocando sua evaporação, o vapor resultante é transferido para um outro recipiente/ou local, dependendo do tamanho e do nível da aplicação da dessalinização, onde esse vapor é condensado, retornando ao estado líquido, para sua aplicação requer-se um alto gasto energético para que o processo possa ocorrer.

Dentre as técnicas utilizadas para a dessalinização por via térmica pode-se destacar a destilação por múltiplos estágios (MSF), a destilação por múltiplos efeitos (MED) e compressão mecânica de vapor (VC).

Dentre as técnicas utilizadas através de membrana, destacam-se a osmose reversa e a eletrodialise. Na eletrodialise, de forma sucinta, existem membranas alternadas trocadoras de cátions e ânions em paralelo, onde os eletrólitos são transportados por meio da membrana no qual a água é armazenada de forma parcial (BRITO; CAMARGO, 2010). A técnica da

osmose reversa consiste em um processo que através da utilização de uma bomba que aplica pressão a água com salinidade e através de uma membrana semipermeável se obtém a água própria para o consumo.

Segundo Moccock et al. (2018), cada tecnologia de dessalinização se destaca em algum aspecto, sendo que o que mais encarece e pode gerar inviabilidade a instalação de cada sistema de dessalinização é o consumo de energia elétrica, que pode ser um fator econômico preponderante para a escolha do método de dessalinização a ser adotado. O autor e seus colaboradores ainda ressaltam que a técnica da osmose reversa é a mais utilizada na maioria dos casos devido a sua viabilidade e eficiência, sendo muito comumente empregada em diversos empreendimentos ao redor do Brasil e do Mundo.

2.2 Aspectos negativos às plantas em ambientes salinos

A salinidade é um problema para a maioria das culturas, no desenvolvimento de extensões de terra o produtor tem que levar em conta todas as características que estão ali ofertadas pelo meio ambiente, isto é, sendo necessário verificar a qualidade da água de irrigação, a disponibilidade de chuvas, o tipo de solo, entre vários outros fatores. Dentre estes fatores a salinidade, que pode ocorrer diretamente no solo, ou proveniente do mal uso da água para irrigação, podendo também ocorrer pela baixa frequência das chuvas e características físicas e químicas do solo, um solo raso com concentração de sais pode ser muito prejudicial. Essas condições de estresse, tanto de seca quanto de salinidade, podem provocar o surgimento de espécies reativas de oxigênio nas plantas e prejudicar bastante o seu desenvolvimento, as células perdem sua turgidez e a planta passa por estresse osmótico (NXELE et al., 2017).

Tendo as condições de salinidade em vista, a planta pode sofrer dois tipos característicos de estresse, sendo estes o estresse osmótico e o estresse iônico. O estresse osmótico se dá quando basicamente a quantidade de sais no solo é muito alta, e as plantas não conseguem utilizar do balanço do potencial hídrico para que estas possam obter os nutrientes do solo, fica dificultado a absorção de água e nutrientes pela raiz das plantas. No estresse iônico, a planta sofre por algum íon específico, ou por vários íons, quando estes se apresentam em grande quantidade, causando toxicidade as plantas. Os distúrbios que são causados devido ao estresse pela questão da salinidade podem provocar severos danos as plantas, como até a sua morte. A dificuldade da planta em absorver nutrientes prejudica vários aspectos produtivos, tais como, desenvolvimento da parte aérea, altura de planta, rendimento, acúmulo de biomassa, matéria seca e matéria fresca. A planta enfraquece devido aos distúrbios que se

desenvolvem no seu sistema produtivo, a presença de sais provoca o desequilíbrio na ação de enzimas prejudicando o metabolismo, o transporte de nutrientes é prejudicado, ocorre o mal desenvolvimento de estruturas celulares, alterações nas membranas, disponibilidade de nutrientes chave, como no caso do fósforo que participa diretamente na produção de ATP, e é fundamental tanto no processo de divisão celular como na produção fotossintética, participando como elemento importante na constituição de amidos e açúcares nas plantas (DIAS; BLANCO, 2010).

Os solos afetados por sais na região semiárida brasileira se destacam pela presença principalmente do cátion Na^+ e do ânion Cl^- , onde ocorre a predominância de sais de sódio, NaCl . A predominância deste sal nos solos irrigados, causam problemas nas plantas não só pela toxidez, mas também dificultam que a planta possa absorver nutrientes e água no solo. Os íons em quantidade elevada provocam distúrbios na planta, ocupando lugares de outros nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta, e também provocando o deslocamento de nutrientes para partes específicas das plantas (MAAS; GRIEVE, 1987).

Em resposta a estresses abióticos as plantas possuem mecanismos de resistência, as quais procuram manter a planta viva até que aquele momento de adversidade passe, em outros casos pode ocorrer aclimação da planta ao ambiente. Tendo em vista as condições de salinidade, onde muitas plantas não possuem tolerância aos estresses salino, as plantas apresentam mecanismos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos. A salinidade provoca distúrbios na planta, dificultando a entrada de água e nutrientes, quando a planta não consegue absorver água ocorre o fechamento dos estômatos, provocando uma diminuição da taxa de fotossíntese e transpiração (MOREIRA et al., 2013).

Quando sob condições de estresse a planta utiliza-se de mecanismos fisiológicos, diminuindo o seu metabolismo e provocando a diminuição temporária do seu desenvolvimento em termos de crescimento. Isto ocorre porque a disponibilidade de água é afetada em condições de salinidade pelo fator osmótico, em resposta, a planta fecha os estômatos, paralisando o processo fotossintético, e assim ocorre uma diminuição na absorção de CO_2 e conseqüentemente a fixação de CO_2 prejudicando o desenvolvimento da planta visto que a planta interrompe seu desenvolvimento (LIMA et al., 2018).

2.3 A osmose reversa e o manejo do rejeito salino

A técnica da osmose reversa é a mais difundida quando se trata da dessalinização de poços tubulares na região semiárida do Brasil, devido a implementação do “Programa Água

Doce”. Como já citado a técnica consiste de um processo físico-químico no qual gera água própria para o consumo humano, porém gera um rejeito altamente salino que pode ser prejudicial ao ambiente se não for manejado de maneira adequada. Sendo assim necessário a viabilidade desse rejeito para que este não venha a gerar prejuízos aqueles que utilizam dessas estações de dessalinização.

Alguns estudos apontam que espécies halófitas podem beneficiar locais afetados por sais, devido ao seu poder de remoção de sais, dentre as quais a erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) é uma das mais importantes, que devido ser originária de regiões áridas, o gênero *Atriplex* vem se destacando há algumas décadas, esta possui qualidade forrageira e pode ser fornecida aos animais devido ao seu alto acúmulo de fitomassa, sendo assim uma alternativa para um sistema de produção no qual a salinidade seja um fator a se considerar para a obtenção de produtividade em um sistema de cultivo, além disso a erva-sal possui características de adaptação a região semiárida, visto que ela é originária de regiões áridas, podendo conviver com a salinidade, a baixa pluviosidade e as altas temperaturas (AZEVEDO et al., 2021).

Pode ser recomendado o uso de plantas halófitas para aplicações de águas salinas, visto o seu poder fitoextrator de sais, porém é preciso ter cautela com o manejo dessas culturas, visto que pode haver uma grande quantidade de sais dissolvidos na água e a capacidade de extração da planta não seja suficiente para que só a utilização de uma determinada cultura seja suficiente para solucionar o problema da salinidade (RILEY et al., 1997).

A produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) é uma alternativa para a disposição do rejeito salino, visto que essa espécie é adaptada a viver em ambientes com elevada salinidade dissolvida na água. Em comunidades rurais a produção de tilápia pode se constituir em uma alternativa, pois pode promover a obtenção direta de alimento através da criação do peixe, bem como a sobre produção pode ser destinada ao comércio, podendo habilitar lucro ao produtor. Alguns trabalhos apontam a produção de tilápias como uma alternativa para este tipo de caso, com a construção de viveiros, através de tanques que captam a água proveniente do rejeito vindo das estações de dessalinização (DUBON; PINHEIRO, 2001).

Outros estudos apontam como opção para o uso do rejeito salino o cultivo de hortaliças através do sistema hidropônico, isto porque a solução nutritiva possui ausência do potencial mátrico no potencial hídrico, tornando assim melhor a absorção da água pelas plantas cultivadas nesse meio, possibilitando uma melhor resposta a salinidade (SILVA, 2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local e descrição da experiência

A pesquisa-ação foi desenvolvida na Comunidade Serra Mossoró (-5.118095° ; -37.434993°) e no Assentamento rural Santa Elza ($5^{\circ} 06'50.29''S$; $37^{\circ}31'9.86'' O$), ambos localizados na zona rural do município de Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil (Figura 1).

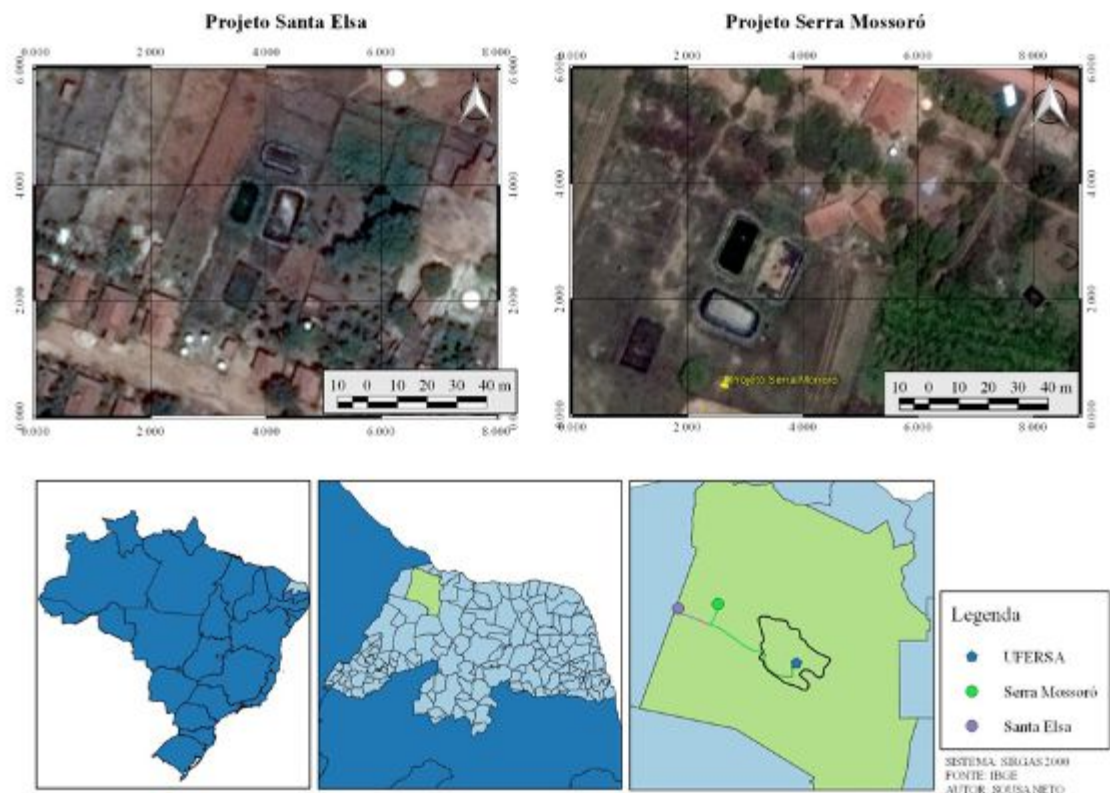


Figura 1. Localização do Assentamento Santa Elza e da comunidade rural Serra Mossoró, Mossoró-RN.

As atividades desenvolvidas nestas localidades são essencialmente agrícolas com base no trabalho familiar. Com relação ao número de famílias beneficiadas, registam-se 44 famílias associadas no Projeto de Assentamento Santa Elza e 34 na comunidade rural Serra Mossoró. Todas as famílias são beneficiadas com políticas públicas de inclusão social do governo Federal, incluindo o programa bolsa família e as tecnologias sociais para captação de água de chuva, como cisternas de placas e cisternas calçadão.

Segundo classificação climática de Köppen, o município de Mossoró está situado em zona com clima do tipo BSw_h, sendo caracterizado pela semiaridez, tipo estepo, muito quente, com estação chuvosa no verão que se atrasa para o outono.

A pesquisa-ação constitui-se de subsistemas integradas e sustentáveis visando o uso piscícola e agrícola do rejeito dos dessalinizadores, as quais são: inicialmente, a água salina do poço é bombeada até a estação de tratamento, beneficiando as famílias com água potável para o seu consumo diário; o rejeito salino gerado no processo de dessalinização é destinado para 2 viveiros de piscicultura construídos para a criação de tilápias (espécie tolerante à água salgada), fornecendo alimento rico em proteínas para as famílias; o efluente da piscicultura, enriquecido em matéria orgânica, é armazenado em tanques de irrigação construídos que, posteriormente é utilizado como suporte hídrico e nutricional no cultivo de plantas forrageira e hortaliças orgânicas e; finalmente, a forragem produzida, com elevado teor de proteína, é fornecida para a alimentação e engorda de caprinos e/ou ovinos que, juntamente como a produção de tilápia e hortaliças garantem a soberania alimentar e nutricional das famílias e, ainda, pode incrementar a renda com a venda do excedente, fechando o sistema de produção ambientalmente sustentável, conforme desenho esquemático da Figura 2.

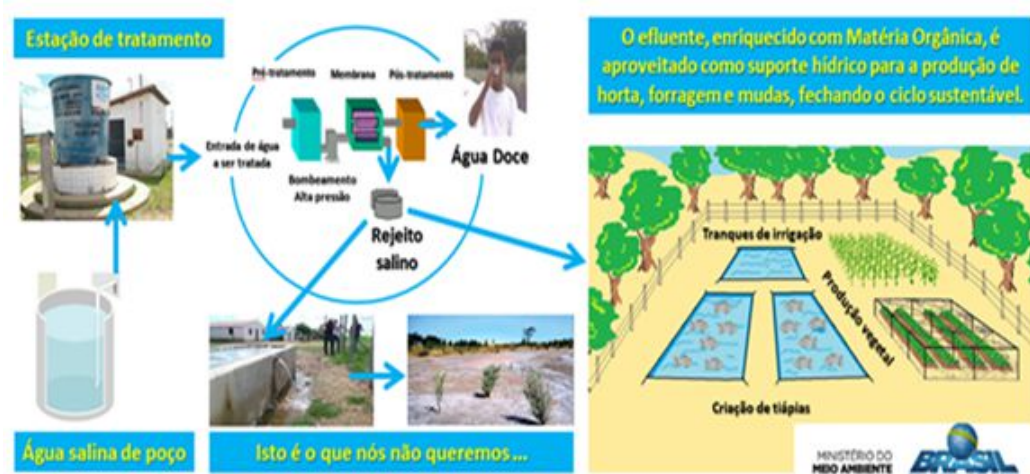


Figura 2. Esquema do sistema de tratamento de água salina e da produção agrícola integrada e sustentável utilizando rejeito salino como suporte hídrico.

3.2 Desenvolvimento das ações da pesquisa

3.2.1 Fase exploratória

Na fase exploratória da pesquisa-ação, iniciada em junho de 2014, realizaram-se 02 oficinas de mobilização e sensibilização com as famílias do Projeto de Assentamento Santa Elza e na comunidade rural Serra Mossoró sobre a temática 'reuso de água e potencial de uso agrícola do rejeito da dessalinização da água salobra', ocasião em que foi estabelecido o primeiro contato dos agricultores com o projeto.

Neste trabalho de sensibilização também foram apresentados e discutidos as metas e os objetivos do projeto, além da definição das metas e uma construção coletiva do calendário de atividades de execução do projeto, juntamente com os pesquisadores da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

3.2.2 Oficinas de formação do público beneficiado

Foram realizadas, nos meses de julho e agosto de 2014, 02 oficinas de formação em cada localidade beneficiada, em que se abordaram temas como hortas orgânicas e cultivo de tilápias utilizando rejeito salino como suporte hídrico. As oficinas constaram de exposições teóricas e atividades de campo incluindo práticas de manejo de criação de tilápias e construções de canteiros para cultivos de hortaliças e pilhas de compostagem de resíduos biodegradáveis etc.

3.2.3 Construção dos subsistemas

3.2.3.1 Criação de tilápias em viveiros utilizando rejeito salino

- Construção dos viveiros, manejo e quantificação da produção de tilápias

Em cada localidade, construíram-se 2 viveiros de piscicultura e um tanque para disposição de efluente da criação de tilápias com área de 180 m² (volume de 115.000 L e 1,50 m de profundidade), conforme ilustrado na Figura 3.

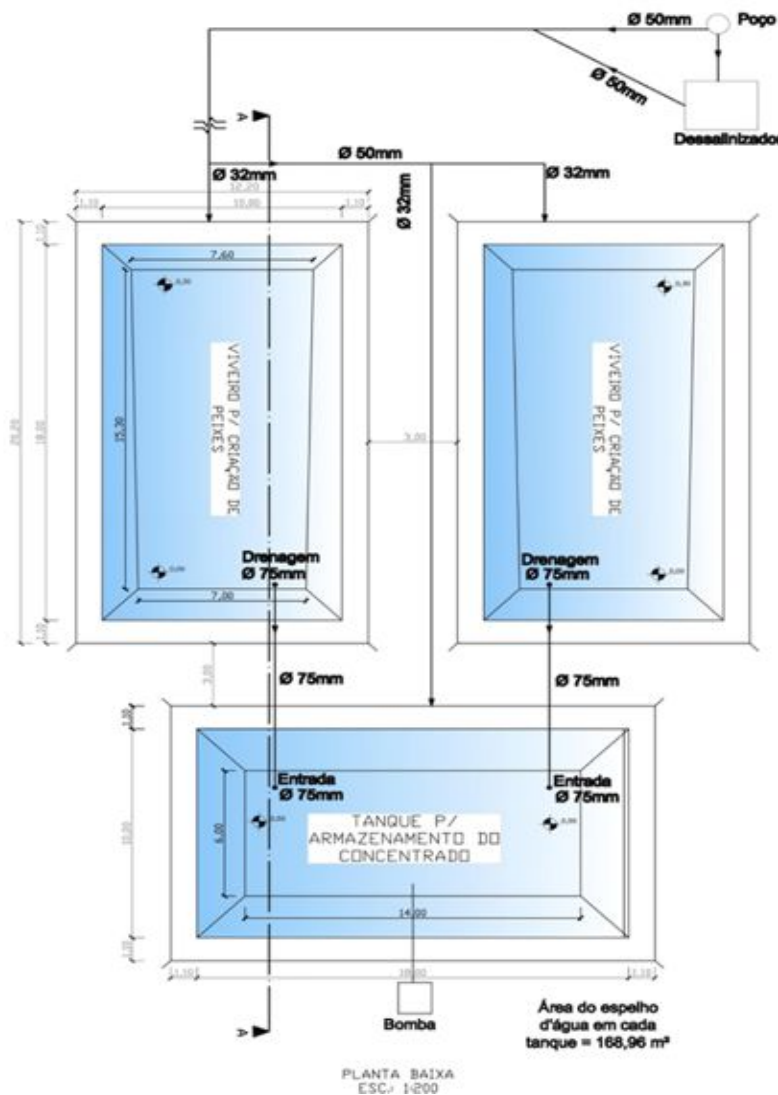


Figura 3. Planta baixa do subsistema criação de tilápias, incluindo o tanque para armazenamento efluente.

É importante ressaltar que o efluente, enriquecido com matéria orgânica (excreção dos peixes e restos de ração não consumida pelos peixes), gerado na atividade de criação de tilápias é disposto no tanque para posteriormente ser utilizado com fonte hídrica e nutricional do subsistema produção de hortaliças.

Neste subsistema, o rejeito salino foi drenado para os viveiros e após o seu completo enchimento, estes foram povoados com 500 alevinões de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com comprimento e o peso médio de 17 cm e 90 g, respectivamente. A escolha da espécie tilápia do Nilo deve-se ao seu potencial produtivo, mesmo em condições de alta salinidade, sendo a linhagem Chitralada introduzida no Brasil em 1996, com 20.800

exemplares importados do Agricultural and Aquatic Systems, do Asian Institute of technology.

Dentro dos seus limites de tolerância, as tilápias crescem e se reproduzem em águas salobras e salgadas, adaptam-se ao baixo teor de oxigênio dissolvido, convivem com ampla faixa de acidez e alcalinidade na água e toleram altas concentrações de amônia tóxica comparadas à maioria dos peixes.

Em ambas as localidades, amostras do rejeito salino e do efluente da piscicultura foram coletadas para caracterização físico-química e interpretadas para fins de irrigação conforme critérios estabelecidos por Ayers & Westcot (1985). As análises físico-químicas das amostras coletadas foram realizadas no Laboratório de Solo Água e Planta – LASAP da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). Foram determinados os seguintes parâmetros: Condutividade Elétrica (CEa em dS m^{-1}), potencial hidrogeniônico (pH), as concentrações de Sódio (Na^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Potássio (K^+), Cloreto (Cl^-), Carbonato (CO_3^{2-}) e Bicarbonato (HCO_3^-), de acordo com as metodologias propostas por Richards (1954). Realizou-se, também, o cálculo da Razão de Adsorção de Sódio (RAS), para classificação das amostras quanto aos problemas de infiltração de água no solo.

Diariamente, às 7:00, 13:00 e às 17:00 h, mensurava-se a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) na água dos viveiros e, quando o OD estava abaixo de 4 mg L^{-1} ou a posição do cardume no viveiro encontrava-se sobre a superfície da água no viveiro, era um indicativo de falta de oxigênio dissolvido na água, sendo necessária à sua oxigenação com aeradores evitando, assim, o estresse e, a conseqüente perda de peso e, em casos extremos, a mortalidade dos animais.

Além do OD, foram monitorados diariamente o pH, a condutividade elétrica e a temperatura da água. As medições de OD e temperatura foram efetuadas com medidor digital portátil de oxigênio dissolvido à prova d'água (modelo MO-910), submerso a 20 cm abaixo da superfície da água. Enquanto que o pH foi verificado com um pHmetro eletrônico pHep®+ (modelo HI 98108) e a CE com condutivímetro portátil DiST®5 (modelo HI 98311).

3.2.3.2 Horta orgânica fertirrigada com efluente da piscicultura

Neste subsistema, as hortaliças foram fertirrigadas com rejeito salino após utilização nos viveiros de criação de tilápias, isto é, o efluente da piscicultura, enriquecido com matéria orgânica oriunda da ração e dos dejetos dos peixes, o qual era descartado em um tanque receptor (Figura 4).



Figura 4. Vista geral do subsistema criação de tilápias e subsistema produção de hortaliças irrigadas com efluente da piscicultura.

As hortaliças foram cultivadas em ambiente protegido com malha negra 50% construído de madeira com 6,00 m largura x 10,00 m comprimento. Utilizaram-se os princípios sistemáticos da sustentabilidade agrícola em bases ecológicas, destacando-se o reúso da água. A metodologia desenvolvida foi o planejamento participativo, em que todas as atividades do projeto foram pensadas e realizadas coletivamente com os agricultores. O grupo já possuía noções básicas de produção de hortaliças, mas necessitou de formações específicas, pois se tratava de um projeto inovador.

As hortaliças (alface, cebolinha, coentro, rúcula, pimentão, beterraba, cenoura, tomate) foram cultivadas utilizando um sistema de irrigação localizado e crescidas em “canteiros inteligentes”, os quais foram construídos com 0,80 m de largura x 5,00 m de comprimento, tendo a sua base impermeabilizada com lona plástica e, em seguida preenchida com material de solo + esterco de bovinos + substratos vegetais (fibra de coco, restos vegetais, pó de serra.), compondo um sistema alternativo de distribuição de água e sais no solo que promove o uso econômico da água e o controle da salinidade na zona radicular. Além disso, o efluente rico em matéria orgânica associado à irrigação localizada e ao uso do canteiro inteligente melhora a absorção de água pelas plantas devido à redução do potencial matricial do solo e, ainda, diminui os efeitos deletérios da salinidade do efluente sobre as plantas, aumentando a sua tolerância aos sais.

Durante 6 meses de implantação da horta foram avaliados a produção (peso médio, número de frutos e rendimento por área) e a qualidade nutricional (pH, sólido solúveis totais, Acidez, proteína, vitamina C e fibra alimentar) dos produtos colhidos.

3.2.3.3 Cultivo de erva sal irrigada com efluente da piscicultura

Embora o projeto aponte a viabilidade socioeconômica, não há remoção de sais no sistema integrada, ou seja, os sais presentes no rejeito salino concentram-se nos viveiros de piscicultura e, posteriormente, com o advento da fertirrigação com o efluente salino, há acúmulo de sais na zona radicular das áreas de cultivo.

Deste modo, a remoção de sais para controle da salinização destas áreas é fundamental para se garantir a sustentabilidade ambiental do projeto, sendo a fitoextração de sais solúveis com espécies halófitas a alternativa mais promissora devido ao baixo custo de remoção dos sais nos solos e, também, pelo seu potencial forrageiro para alimentação animal em áreas de baixo potencial produtivo.

Para esta finalidade, selecionou-se uma área de 0,15 ha para o cultivo de erva sal (*Atriplex nummularia*) devido ser uma espécie halófitas que tem demonstrado elevado poder de fitorremediação dos solos salinos, alta produção de biomassa, além de tolerar déficit hídrico, comum em zonas semiáridas.

Neste subsistema, as mudas de erva sal foram transplantadas utilizando o espaçamento de 1,5 x 1,5 m e, estas foram fertirrigadas, diariamente, com o efluente da piscicultura.

Utilizou-se o sistema de irrigação localizado com emissores tipo microtubo de 1,5 mm de diâmetro e 1,5 m de comprimento. O volume de água aplicado foi o suficiente para o solo atingir a capacidade de campo, sendo estimado com base na curva de retenção de água do solo e tensiômetros instalados na profundidade de 0-20 cm.

A colheita foi realizada aos 90 dias, sendo separado em folhas e caules para determinação da qualidade forrageira e do poder de fitoextração da planta, sendo avaliados os teores de massa de matéria seca, matéria orgânica, matéria mineral e proteína bruta. As amostras das plantas foram conduzidas Laboratório de Nutrição de Plantas da UFERSA e colocadas para secar em estufas a 65 °C durante 48 h e, depois trituradas. Subsequentemente, 0,5 g do material triturado foi usado para determinar os teores de Na, Ca, Mg, K, P e Cl de acordo com a metodologia proposta pela EMBRAPA (2009).

Amostras de solo na profundidade de 20-40 cm foram coletadas aos 45 e 90 dias após o plantio (DAP) das mudas de erva sal para caracterização química, objetivando investigar a evolução da salinização do solo ao longo do ciclo cultural da erva sal fertirrigado com efluente salino.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos solos e análises do rejeito e do efluente da piscicultura

Com relação à classificação dos solos, no assentamento Santa Elza há presença de solos com pouca profundidade e com afloramento de calcário, bem característico de Neossolo Litólico (BRITO et al., 2017); já na comunidade Serra Mossoró, o solo foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico.

Na interpretação do relatório de análise de qualidade do rejeito salino, os resultados indicaram que em ambas as localidades, as fontes hídricas são alcalinas (7,4 e 7,6 para a Serra Mossoró e Santa Elza, respectivamente (Tabela 1), estando dentro da faixa limite de tolerância de pH estabelecido por Patel et al. (2004).

Localidades	CE _a	pH	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺²	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	RAS*
	dS m ⁻¹ mmolc L ⁻¹								
Santa Elza	2,47	7,9	6,90	11,60	8,50	12,6	2,00	5,30	0,15	2,8
Serra Mossoró	2,24	7,4	3,30	11,90	8,96	15,0	0,60	4,90	0,07	3,3

*Relação de Adsorção de Sódio, em (mmol L⁻¹)^{0,5}. RAS = Na⁺/[(Ca⁺² + Mg⁺²)/2]^{1/2},

Tabela 1. Características físico-químicas do rejeito salino no Assentamento Santa Elza e na Comunidade Serra Mossoró.

A condutividade elétrica (CE) do rejeito salino foi de 2,24 e 2,47 dS m⁻¹, indicando que em ambas localidades, as fontes hídricas utilizadas nos subsistemas piscicultura são de natureza salina (CE > 1 dS m⁻¹), conforme Rattan et al. (2005).

Nas duas localidades, as fontes hídricas não há riscos com problemas de infiltração no solo - RAS < 15 (mmol L⁻¹)^{0,5}, entretanto apresentam moderado grau de restrição de uso quanto aos riscos de salinidade e, grau severo quanto à toxidez de íons cloreto (Cl⁻ entre 4 e 10 mmolc L⁻¹) e sódio (Na⁺ > 3 mmolc L⁻¹) (Ayers & Westcot, 1985).

De acordo com os resultados dos atributos físico-químicos dos solos nos pontos de despejo do rejeito bruto em Santa Elza e Serra Mossoró, antes do início das ações da pesquisa, fica evidente os impactos ambientais negativos causados pela disposição direto do rejeito no

solo, ao registrar-se elevados valores de pH (caráter alcalinos), CEes (solos salinos) e teores tóxicos de sódios nos solos receptores em ambas as localidades (Tabela 2).

Localidade	Camadas (cm)	pH	CE _{es} dS m ⁻¹	PST* (%)	Classificação do solo ¹
20-40	8,4	8,1	8,1	Salino	
Serra Mossoró	0-20	8,3	4,0	3,5	Salino
	20-40	7,8	4,5	6,4	Salino

*PST = $\text{Na} \times 100/\text{CTC}$ e ¹Classificação de solos afetados por sais de acordo com Bohn et al. (1985).

Tabela 2. Classificação dos solos receptores do rejeito bruto quanto à salinidade em Santa Elza e Serra Mossoró antes das ações da pesquisa.

Na Tabela 3 encontram-se os resultados das análises físico-química e biológicas do efluente dos subsistemas das localidades Santa Elza e Serra Mossoró.

Características	Localidade		Limites*
	Santa Elza	Serra Mossoró	
pH	7,71	7,64	6,5 – 8,5
Condutividade elétrica – CE (dS m ⁻¹)	3,88	3,30	3,0
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL ⁻¹)	180	100	1000
Demanda Química de Oxigênio (mg L ⁻¹)	80,0	115	250
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg L ⁻¹)	27,0	12,0	100
Fósforo total (mg L ⁻¹)	0,82	0,97	-
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	2,10	1,90	4,5
Potássio (mg L ⁻¹)	0,95	1,20	-
Sódio (mmolc L ⁻¹)	28,69	32,74	8,69
Cálcio (mmolc L ⁻¹)	11,20	11,45	3,75
Magnésio (mmolc L ⁻¹)	19,80	17,86	4,16
Cloreto (mmolc L ⁻¹)	20,32	18,21	-

*Organização Mundial da Saúde – OMS (Hach, 2002).

Tabela 3. Características físico-químicas e biológicas do efluente da piscicultura em Santa Elza e Serra Mossoró, Mossoró, RN.

A CE, bem como as concentrações de todos os nutrientes do efluente foram superiores ao do rejeito salino, destacando-se a maior concentração do elemento N total (2,1 e 1,9 mg L⁻¹) respectivamente no efluente de Santa Elza e Serra Mossoró e ausente no rejeito salino), seguido do elemento K (0,95 e 1,20 mg L⁻¹) com cerca de 2 vezes o conteúdo de K no rejeito salino (0,15 e 0,07 mmolc L⁻¹). Além disso, o teor de Mg (19,80 e 17,86 mmolc L⁻¹) no efluente foram maiores quando comparado com o do rejeito salino (11,60 e 11,90 mmolc L⁻¹).

Ainda em relação à Tabela 3, verificou-se que os níveis de coliformes presentes nos efluente dos viveiros de piscicultura em Santa Elza e Serra Mossoró foram respectivamente de 180 e 100 NMP 100 mL⁻¹ de água, portanto abaixo dos padrões da Organização Mundial de Saúde (1000 NMP 100 mL⁻¹). Com relação à Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) do efluente registraram-se, respectivamente, valores de 80 e 27 mg L⁻¹ para Santa Elza e 115 e 12 para Serra Mossoró, sendo estes classificadas como adequadas para fins de irrigação, em comparação com os limites prescritos de 100 e 250 mg L⁻¹ para DQO e DBO, respectivamente (HACH, 2002).

Pode-se inferir que os riscos de salinização dos solos tratados com rejeito salino, depois de utilizado nos viveiros de criação de tilápias, aumentam de moderado para severas restrições em ambas às localidades estudadas. Entretanto, o aumento da fertilidade deste efluente oriundo da excreção dos peixes e dos restos de ração não consumidas pelos peixes podem atenuar os efeitos deletérios dos sais presentes neste resíduo e garantir rendimentos satisfatórios das culturas conforme relatado por diversos autores (MIRANDA et al., 2017; LENZ et al., 2018; MARQUES et al., 2020; DIAS et al., 2021).

4.2 Horta orgânica utilizando efluente da piscicultura como suporte hídrico

O subsistema horta possibilitou impactos significativos nos aspectos socioeconômico, técnico-científico e ambiental nas localidades estudadas.

As hortaliças produzidas foram quantificadas baseando-se na sua comercialização realizada, semanalmente, na feira de da Associação dos Produtores Orgânicos de Mossoró, RN (Tabela 4).

Hortaliças	Rendimento médio semanal	
	Santa Elza	Serra Mossoró
Alface crespa (<i>Lactuca sativa</i>).	50 Unidades	40 Unidades
Coentro (<i>Coriandrum sativum</i>)	45 Mólhos	42 Mólhos
Cebolinha (<i>Allium schoenoprasum</i>).	26 Mólhos	20 Mólhos
Couve (<i>Brassica oleracea</i>).	40 Mólhos	35 Mólhos
Rúcula (<i>Eruca sativa</i>).	30 Mólhos	30 Mólhos
Tomate cereja (<i>Solanum lycopersicum</i>)	10,0 kg	15,0 kg
Pimentão (<i>Capsicum annuum</i>)	12,0 kg	13,5 kg
Cenoura (<i>Daucus carota</i>)	7,0 kg	10,0 kg
Beterraba (<i>Beta vulgaris esculenta</i>).	6,0 kg	7,5 kg

Tabela 4. Rendimentos médios semanal das hortaliças cultivadas sob a irrigação com efluente da piscicultura.

É importante ressaltar que há os efeitos da salinidade do efluente utilizado na fertirrigação sob a redução da produção de hortaliças. De acordo com Machado (2020) o máximo rendimento para variáveis de crescimento da cebolinha e coentro foi obtido com CE da água de 2,00 dS m⁻¹. Santos et al. (2012) concluíram que há redução relativa de 10% na produção da rúcula quando irrigada com CE entre 3,5 a 5,5 dS m⁻¹. Já, em relação à alface e beterraba, a salinidade limite de tolerância é de 1,3 e 4,0 dS m⁻¹, respectivamente, sendo estas classificadas como sensibilidade e tolerância, respectivamente.

Entretanto, os ótimos rendimentos das hortaliças quando fertirrigadas com efluente da piscicultura observados no presente estudo devem-se, provavelmente, ao fato da presença de nutrientes no efluente – enriquecido pela excreção dos peixes e da ração fornecida nos viveiros (Tabela 3) ter estimulado o crescimento vegetativo das plantas devido à melhoria da fertilidade do solo, especialmente a incorporação de matéria orgânica (SILVA, 2018).

Além disso, os resultados sugerem que o cultivo de hortaliças com efluente salino produz rendimentos socioeconômicos aceitáveis, devido ao aproveitamento do potencial hídrico do rejeito salino e, também aos impactos decorrentes quando este resíduo descartado no solo diante da escassez hídrica no semiárido.

A implantação da horta na comunidade teve grande êxito, especialmente por que desmistificou a cultura dos moradores de que rejeito da dessalinização da água era inadequado para qualquer fim e, com isso, despertou a curiosidade de cultivá-las. Atualmente, o projeto é desenvolvido pelos agricultores das localidades, tendo pouca intervenção da Universidade, dada a experiência adquirida pelo grupo.

A produção de hortaliças enriquece a dieta alimentar e a qualidade nutricional da alimentação das famílias e, ainda incrementa a renda com a venda do excedente. Têm-se na Tabela 5 os valores nutricionais das hortaliças cultivadas e colhidas na horta.

Hortaliça	Proteínas (g 100 g ⁻¹)		Vitamina C (mg 100 g ⁻¹)		Fibra alimentar (g 100 g ⁻¹)	
	Santa Elza	Serra Mossoró	Santa Elza	Serra Mossoró	Santa Elza	Serra Mossoró
Alface	0,79	0,70	19,13	20,0	2,18	2,15
Coentro	17,20	18,70	10,12	9,38	35,5	35,2
Cebolinha	3,6	3,0	55,12	50,10	2,60	2,20
Couve	3,2	2,89	95,26	90,60	3,61	3,42
Rúcula	1,60	1,55	38,70	36,50	1,50	1,45
Tomate	0,83	0,80	28,10	27,10	1,16	1,11
Pimentão	0,80	0,78	190,2	189,5	2,03	2,00
Cenoura	1,41	1,40	5,83	5,23	4,23	4,20
Beterraba	1,36	1,30	4,70	4,59	1,98	1,90

Tabela 5. Valores nutricionais das hortaliças fertirrigadas com efluente da piscicultura.

Pode-se inferir que a qualidade nutricional dos alimentos produzidos nas hortas orgânicas de Santa Elza e Serra Mossoró é similar aos encontrados na literatura para hortaliças orgânica ou convencional (UNICAMP, 2022). Porém, ressalta-se que, a composição química de alimentos de origem vegetal não depende apenas de um fator de produção isolado, mas de um conjunto de fatores e suas interações como adubação, tipo de solo, ocorrência de pragas e doenças, clima, colheita, genéticos da planta.

4.3 Cultivo de erva sal fertirrigada com efluente da piscicultura

4.3.1 Produção, qualidade e extração mineral

Extrapolando estes valores de produção de fitomassa da erva sal fertirrigada com efluente da piscicultura para um ano de cultivo, tem-se 23,96 e 22,76 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de massas de matérias fresca e 6,81 e 6,46 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de massas de matérias seca, respectivamente para as áreas de cultivo de Santa Elza e Serra Mossoró (Tabela 6). Porto et al. (2001), encontraram rendimento de massa de matéria seca da erva sal entre 5 a 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo a maioria dos resultados entre 6 e 8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, corroborando com o presente trabalho, compatível com outras forrageiras irrigadas com água doce.

Localidade	Produção e qualidade forrageira			Composição mineral				
	MFT*	MST*	PB	Na	Cl	K	Ca	Mg
	ton ha ⁻¹ ano ⁻¹		(%)	g kg ⁻¹				
Santa Elza	23,96	6,81	15,40	305,01	711,48	100,45	75,22	34,78
Serra Mossoró	22,76	6,46	14,70	281,20	676,11	92,48	67,07	31,17

*Folhas + ramos.

Tabela 6. Massa de matéria fresca (MFT) e seca total (MST), Teor de proteína bruta (PB) e composição mineral extraídos pela erva sal fertirrigado com efluente da criação de tilápias em Santa Elza e Serra Mossoró.

Com relação à qualidade forrageira da erva sal, o teor médio de Proteína Bruta (PB) variou entre 15,40 e 14,79% em amostras de plantas coletadas nas áreas de Santa Elza e Serra Mossoró (Tabela 6). Pode-se inferir que a cultura tem boa qualidade forrageira, confirmando que as folhas da erva sal são detentoras de bons teores de PB, conforme relatado por Carvalho Junior et al. (2010), os quais encontraram médias de PB entre 18,5 e 18,7%. Esta espécie tem teor de PB equiparada a algumas leguminosas e outras espécies utilizadas na alimentação animal, como por exemplo, leucena, gliricídia, guandu forrageiro e maniçoba que, em geral, os teores de PB variam entre 12 e 22% (CARVALHO JUNIOR et al., 2010).

Analisando a composição mineral do tecido vegetal da *Atriplex nummularia*, verificou-se que os íons mais extraídos dos solos foram Cl e Na, seguido de K, Ca e Mg (Tabela 6). Extrapolando os teores totais no solo de Na e Cl extraídos pela cultura (folhas +

caule) para um ano de cultivo, registraram-se valores médios de 1.016,49 e 957,31 kg de sais $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ nas áreas de cultivos de Santa Elza e Serra Mossoró, respectivamente. A elevada extração de sais pela cultura permite a retirada de íons tóxicos Cl e Na no solo por ocasião da colheita e, assim, o controle da salinização destes solos devido à aplicação de efluente salino.

Porto et al. (2001), cultivaram plantas de erva sal durante um ano sob irrigação com rejeito salino bruto e, encontraram um total de, aproximadamente, 1.000,00 kg ha^{-1} de sais extraído pela planta (folhas e caule). Assim, devido à capacidade de assimilação de sais da erva sal, o seu cultivo pode ser indicado como estratégia de controle e/ou recuperação de áreas salinizadas. Os autores acrescentam que a erva sal é uma espécie fitoremediadora de ambientes salinos e, pode ser utilizada em rotação de cultivo, após um ciclo cultural de uma espécie sensível à salinidade do solo ou da água com alta salinidade.

4.3.2 Salinidade dos solos cultivados com erva sal fertirrigado com efluente salino

Na Tabela 7 encontram-se os resultados das análises do pH, CEes e PST no solo antes dos cultivos sob fertirrigação com efluente da piscicultura em Santa Elza e Serra Mossoró. De acordo com Bohn et al. (1985), em ambas as localidades, os solos são não salinos (CEes $< 2,0 \text{ dS m}^{-1}$, pH $< 8,5$ e PST $< 15\%$).

Características	Localidade		Limites ^a
	Santa Elza	Serra Mossoró	
Ph	7,75	7,93	$< 8,5$
CEes (dS m^{-1})	0,67	0,48	$< 2,0$
PST (%)	2,41	2,98	$< 15,0$

^aBohn et. al (1985).

Tabela 7. Características físico-químicas dos solos antes da aplicação do efluente da piscicultura em Santa Elza e Serra Mossoró, Mossoró, RN.

A análise dos resultados da CEes indicam que, em relação à salinidade inicial dos solos (0,67 e 0,48 dS m^{-1} para Santa Elza e Serra Mossoró, respectivamente - Tabela 7), não há acúmulo significativos de sais na zona radicular dos solos cultivado com erva sal aos 45 DAP (1,01 e 1,49 dS m^{-1} para Santa Elza e Serra Mossoró, respectivamente) e 90 DAP das mudas (1,05 e 1,56 dS m^{-1} para Santa Elza e Serra Mossoró, respectivamente) (Tabela 8),

sendo, inclusive, registrados valores de CE_{es} menores do que a salinidade do rejeito bruto (2,47 e 2,24 $dS\ m^{-1}$ para Santa Elza e Serra Mossoró, respectivamente – Tabela 1) e do efluente (rejeito após utilização nos viveiros de criação de tilápias) (3,88 e 3,30 $dS\ m^{-1}$ para Santa Elza e Serra Mossoró, respectivamente – Tabelas 3).

Amostra	Local	pH _a	CE _{es}	MO*	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	PST (%)
			dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	-----cmolc dm ⁻³ -----					
45 DAP	Santa Elza	6,87	1,01	5,43	0,12	1,51	3,07	1,46	6,16	24,45
	Serra Mossoró	7,71	1,49	8,98	0,09	1,45	4,17	1,68	7,39	19,62
90 DAP	Santa Elza	7,60	1,05	7,49	0,07	1,64	1,77	0,37	3,85	42,60
	Serra Mossoró	7,42	1,56	5,99	0,06	2,06	1,81	0,37	4,30	47,90

*MO = Matéria orgânica no solo.

Tabela 8. Resultado das análises físico-químicas dos solos cultivados com erva sal aos 45 e 90 DAP em Santa Elza e Serra Mossoró.

Em cultivos irrigados de plantas glicólicas, o acúmulo de sais no solo é de aproximadamente 2,3 vezes a salinidade da água de irrigação ($CE_{es} = 2,3\ CE_a$), assumindo fração de lixiviação de 15% e que a absorção de água diminui em uma sequência de 40, 30, 20 e 10% do consumo total, do quarto superior ao quarto mais profundo da zona de raiz (Ayers; Westcot, 1985). Entretanto, em solos cultivados com espécies halófitas (altamente tolerante à salinidade) como, por exemplo, a erva sal, o acúmulo de sais no solo oriundo da irrigação com água salina não segue este padrão citado por Ayers; Westcot (1985), uma vez que a planta acumula quantidades excessivas de sais nos vacúolos celular das folhas e caule, conforme demonstrado no presente estudo (Tabela 8).

Nem todos os sais incorporados pelas águas ficam no solo, mesmo em zonas áridas ou semiáridas, pois uma parte pode ser eliminada por percolação, por meio de sucessivas lâminas de irrigação ou chuvas ou, ainda, tornar-se insolúvel mediante a precipitação, quer por reações químicas ou por atingir limites de solubilidade na solução do solo. Além disso, quando se trata de cultivos irrigados de espécies de plantas halófitas, uma grande quantidade de sais são absorvidos pelas plantas como mecanismo de tolerância à salinidade; podendo o acúmulo de sais no solo atingindo uma condição de equilíbrio e, conseqüentemente, garantir a sustentabilidade da agricultura irrigada.

Ainda em relação à Tabela 8, podem-se verificar baixos teores dos íons tóxicos como Na e Cl no solo, entretanto, há elevada PST, devido à baixa concentração relativa de cátions no solo (Ca e Mg), aumentando os riscos com problemas de infiltração. O sódio é o íon predominante no solo devido ao alto teor relativo no rejeito salino, o que causou a elevação da PST do solo.

5 CONCLUSÕES

O uso da fertirrigação com efluente da piscicultura melhorou a fertilidade dos solos e inibiu os efeitos deletérios da alta salinidade do rejeito sob o crescimento, rendimento e qualidade nutricional das hortaliças.

O cultivo da erva sal (*Atriplex nummularia*) é alternativa viável para dispor o rejeito salino após utilização em viveiro de criação de tilápias, uma vez que se produz alto rendimento de fitomassa com qualidade forrageira e, ainda, evita-se o processo de salinização.

As ações da pesquisa demonstram viabilidade técnica, econômica e socioambiental do uso “nobre” do rejeito salino na produção agrícola familiar, com vista à geração de renda em comunidades e assentamentos rurais que enfrentam problemas hídricos.

A pesquisa-ação colabora com a gestão participativa das águas e com a geração de trabalho e renda, por meio da inovação e da diversidade de atividades que poderão ser desenvolvidas pelas famílias rurais, além de contribuir para a conservação ambiental dos recursos solo e água.

A tecnologia social implementada é uma alternativa de garantia da segurança alimentar e nutricional dos agricultores familiares do semiárido, podendo ser replicada à outras localidades.

6 REFERÊNCIAS

AMARAL, K.; FERREIRA, D. M.; NAVONI, J. A. Avaliação das águas subterrâneas salobras do semiárido do Rio Grande do Norte: qualidade e impactos sob atividades agropecuárias de subsistência. *Águas Subterrâneas*, v. 35, n. 3, 2021.

Aragão, R.M. et al. High supply of NO₃⁻ mitigates salinity effects through an enhancement in the efficiency of photosystem II and CO₂ assimilation in *Jatropha curcas* plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.34, p.2135-2143, 2012.

Ayers, R.S., Westcot, D.W. Water quality of agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rome, 174 pp. 1985.

AZEVEDO, C. M. et al. Uso de *Atriplex nummularia* na extração de sais de solos irrigados com efluentes salinos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 300-304, 2021.

BRITO, R.F.; et al. Morfologia e fertilidade do solo em áreas de produção do semiárido. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, p.525-532, 2017.

BRITO, C. P.; CAMARGO, M. T. Estudo e modelagem do processo de transferência de massa durante a dessalinização de água por eletrodialise.. Tese de Doutorado. Tese de fim de curso, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, São Paulo 2010.

CARVALHO JÚNIOR, S.B.; Furtado, D.A.; Silva, V.R.; Dantas, R.T.; Lima, I.S.P.; Lima, V.L.A. Produção e avaliação bromatológica de espécies forrageiras irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1045–1051, 2010.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. Manejo da salinidade na agricultura: **Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. P. 129-140, 2010.

DIAS, N. S. et al. Uso de rejeito salino para a produção de tilápias e forrageiras. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 23, n. 1, p. 47-51, 2021.

DUBON, J. A. M.; PINHEIRO, J. C. V. Aproveitamento de Águas Residuais Provenientes de Dessalinizadores Instalados no Estado do Ceará. In: III Encuentro de las Aguas, 2001, Santiago- Chile. III Encuentro de las Aguas - Agua, Vida y Desarrollo. Santiago- Chile: IICA - (Diseño y Producción www.PLOTDESIGN.com), 2001

FAO. et al. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome, FAO. 240p. 2021.

FERREIRA, P. S.; GOMES, V. P.; GALVÍNICO, J. D.; DOS SANTOS, A. M.; SOUZA, W. M. Avaliação da tendência espaço-temporal da precipitação pluviométrica em uma região semiárida do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017.

HACH, C. Water Analysis Handbook, Loveland, Colorado, USA, p. 61-62, 2002

LIMA, G. S.; DIAS, A. S.; SOUZA, L. P.; SÁ, F. V. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A. Effects of brackish water and potassium fertilization on photosynthetic pigments, growth and production of West Indian Cherry. **Revista Ambiente e Água**, v. 13, n. 3, p. 1-12, 2018.

LENZ, Guilherme Luis et al. Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 43, n. 4, p. 614-630, 2018.

MAAS, E. V.; GRIEVE, C. M.. Sodium-induced deficiency in saltstressed corn. *Plant, Cell and Environment*, v.10, p.559-564, 1987.

MACHADO, Mateus Santos. Aplicação de silicato de potássio em coentro e cebolinha sobre estresse salino da solução nutritiva. Tese de Doutorado. UFC. Fortaleza-CE 2020.

MOCOOCK, J. F. et al. Estudo Comparativo Entre Os Principais Métodos de Dessalinização de Águas Subterrâneas: Revisão De Literatura. **Águas Subterrâneas**, 2018.

MOREIRA, L. R.; ERVILHA, J. D. C.; COUTINHO, P. H.; VIDIGAL, J. G.; OGLIARI, J.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, L. F. Caracterização fisiológica de sorgo sacarino em diferentes intensidades de irrigação. *Revista Vértices*, v. 15, n. 2, p. 39-48, 2013.

MIRANDA, R.S. et al. Integrative Control Between Proton Pumps and SOS1 Antiporters in Roots is Crucial for Maintaining Low Na⁺ Accumulation and Salt Tolerance in Ammonium-Supplied Sorghum bicolor. **Plant and cell Physiology**, v.58, p.1-15, 2017.

NXELE, X.; KLEIN, A.; NDIMBA, B. K. 2017. Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. **South African Journal of Botany**, 108, 261-266.

OLIVEIRA, A M. Impactos físico-químicos da disposição de rejeito de dessalinizadores das águas de poços em solos do oeste potiguar. 2016. 113 f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016

OLIVEIRA, A. DIAS, N. D., FREITAS, J. J. R., MARTINS, D. F. F., & RABELO, L. N. (2017). Avaliação físico-química das águas do processo de dessalinização de poços salobros e salinos em comunidades rurais do oeste potiguar. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 58-73, 2017.

OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. S.; GURGEL, G. C. S.; RABELO, L. N.; MELO, M. R. S.; SANTOS, M. V. Impactos físico-químicos da disposição do rejeito da dessalinização das águas de poços salinos em Neossolo e Chernossolo do Oeste Potiguar. **Irriga**, v. 23, n. 3, p. 413-425, 2018.

PATEL, K.P.; PANDAYA, R.R.; MALIWAL, G.L.; PATEL, K.C.; RAMANI, V.P.; GEORGE, V. HEAVY metal content of different effluents and their relative availability in soils irrigated with effluent waters around major industrial cities of Gujarat. **Journal of the Indian Society of Soil Science**, v.52, p.89-94, 2004.

PORTO, E.R.; AMORIM, M.C.C.; SILVA JÚNIOR, L.G.A. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, p.111-114, 2001.

Rattan, R.K.; Datta, S.P.; Chhonkar, P.K.; Suribabu, K.; Singh, A.K. Long-term impact of irrigation with waste water effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater – a case study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.109, p.310–322, 2005.

RILEY, J.J.; FITZSIMMONS, K.M.; GLENN, E.P. Halophyte irrigation: an overlooked strategy for management of membrane fraction concentrate. **Desalination**, Amsterdam, v.110, n.3, p.197-211, 1997.

SANTOS, A. N.; SILVA, E. F. F.; SOARES, T. M.; DANTAS, R. M. L.; SILVA, M. M. Produção de alface em NFT e Floating aproveitando água salobra e o rejeito da dessalinização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 319-326, 2011.

SANTOS, R.S.S. et al. Uso de águas salobras na produção de rúcula cultivada em substrato de fibra de coco. **Revista Caatinga**, v.25, p.113- 118, 2012.

SILVA, B. A. Qualidade do solo mediante aplicação de efluente de piscicultura. UFC 2018.

SILVA, J. B. M. Produção hidropônica de mudas de hortaliças/frutíferas e florestais. Extensão Rural: práticas e pesquisas para o fortalecimento da agricultura familiar – V.2. 2020.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS/NEPA – UNICAMP. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO). 4 ed. Campinas: NEPA/UNICAMP, 2011, 161p. Disponível em: < <https://www.nepa.unicamp.br/taco/tabela.php?ativo=tabela> >. Acesso em: 10 de janeiro 2022.

VALE M. B.; AZEVEDO P. V. Avaliação da produtividade e qualidade do capim e do sorgo irrigados com água do lençol freático e do rejeito do dessalinizador. **Holos**, v. 3, n. 29, p. 181-195, 2013.