

EDYMARA SINTHIA ROCHA DE MOURA

**CULTIVO DA ERVA SAL IRRIGADA COM REJEITO SALINO SOB VARIAÇÃO
DA UMIDADE DO SOLO**

MOSSORÓ

2013

EDYMARA SINTHIA ROCHA DE MOURA

CULTIVO DA ERVA SAL IRRIGADA COM REJEITO SALINO SOB VARIAÇÃO DA
UMIDADE DO SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido como parte das exigências
para obtenção do título de Mestre em Irrigação e
Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Sc. Nildo Da Silva Dias

MOSSORÓ

2013

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

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

M929c Moura, Edymara Sinthia Rocha de.

Cultivo da erva sal irrigada com rejeito salino sob variação da umidade do solo. / Edymara Sinthia Rocha de Moura. -- Mossoró, 2014

53f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Nildo Da Silva Dias.

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação.

1. *Atriplex nummularia*. 2. Reuso de água. 3. Salinidade.
I. Título.

RN/UFERSA/BCOT

CDD: 633.2

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB-15/120

EDYMARA SINTHIA ROCHA DE MOURA

CULTIVO DA ERVA SAL IRRIGADA COM REJEITO SALINO SOB VARIAÇÃO DA
UMIDADE DO SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido como parte das exigências
para obtenção do título de Mestre em Irrigação e
Drenagem.

APROVADA EM: 06 / 03 / 2013



D. Sc. Prof. Nildo da Silva Dias (UFERSA)
Orientador



D. Sc. Prof. Renato Dantas Alencar (IFRN)
Conselheiro



D. Sc. Adriana Araujo Diniz (Bolsista PNPD - UFERSA)
Conselheiro

Aos meus pais Edimundo Reginaldo Moura e Maria do Socorro Rocha de Moura, pelo apoio, amor e dedicação empreendidos a mim durante toda a minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela proteção, saúde e força que me oferece a cada dia, sem Ele esse sonho não seria possível.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido, minha instituição formadora a qual tenho muito respeito.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ pela bolsa e financiamento da pesquisa.

À Comunidade Rural Boa Fé, pela cessão da área experimental, viabilizando a instalação do experimento, nas pessoas de “João Quixabeira”, “Chico”, “Neto” e em especial a pessoa de José Ribamar de Souza “Caboclo” por toda sua colaboração.

Ao meu orientador Nildo da Silva Dias, pela confiança e apoio durante a minha vida acadêmica.

À minha família, por ser meu alicerce em todos os momentos da minha vida e pela educação que me foi repassada, obrigada por tudo.

Ao meu esposo, Christiano Rebouças Cosme, pela sua enorme dedicação, incentivo, amor e compartilhamento deste sonho, minha sincera gratidão e admiração.

A todos os professores que fizeram parte do Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, pelo aprendizado e experiência adquiridos ao longo do Curso, minha singela gratidão.

Aos amigos de turma, pelo compartilhamento de conhecimentos e pela agradável convivência durante o Curso, em especial ao meu amigo Andre Herman, pela amizade e ensinamentos.

Aos membros da banca Renato Alencar e Adriana Diniz Araújo, pelas contribuições a este trabalho.

À equipe de pesquisa: Osvaldo Nogueira, Rafael Lacerda, Ana Cláudia, Ítalo Sorac, Marlon Luan e Karen Marianny que em muito colaboraram para a realização deste trabalho.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a construção deste trabalho.

RESUMO

MOURA, Edymara Sinthia Rocha de. **Cultivo da erva sal irrigada com rejeito salino sob variação da umidade do solo**. 2013. 53f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2013.

As comunidades rurais situadas no Nordeste brasileiro, em especial na região semiárida, convivem com a escassez de água resultante da irregularidade das chuvas, acarretando em problemas com o abastecimento de água potável. A utilização de águas subterrâneas permite o abastecimento hídrico em diversas comunidades nordestinas, mas, devido aos elevados níveis de sais, estas águas necessitam muitas vezes ser tratadas em estações de tratamento pelo processo de dessalinização por osmose reversa, gerando além da água potável, uma água de elevada salinidade chamada rejeito salino, de alto poder poluente do solo e de mananciais, sendo necessário o estudo de alternativas viáveis para sua deposição no ambiente. Neste contexto, o presente trabalho propôs cultivar a halófito conhecida como erva sal (*Atriplex nummularia*), no Projeto de assentamento Rural Boa Fé, em Mossoró-RN, como alternativa à deposição do rejeito salino para a produção de forragem. O delineamento estatístico utilizado foi o de parcelas subdivididas, sendo quatro tratamentos nas parcelas, referentes a níveis de umidade do solo tendo como base a umidade na Capacidade de Campo (CC) (T1 -100% da CC; T2 – 85% da CC; T3 – 70% da CC e T4 – 50% da CC) e nas subparcelas, dois níveis de adubação orgânica (não adubado – A0 e adubado – A1), com quatro repetições. Foram analisadas variáveis de crescimento, produção, composição mineral do tecido vegetal e a qualidade da forragem, após a colheita do material aos três meses de cultivo. Observou-se que a erva sal possui boa capacidade de produção de matéria fresca e seca total sob um nível de 85% de umidade do solo em relação à sua capacidade de campo, apresentando mínimas perdas de rendimento, de 5,74% e 3,54%, respectivamente, mas também se mostrou produtiva mesmo com o solo mais seco. A produtividade total de matéria fresca para o tratamento testemunha foi de 5689,62 kg ha⁻¹ mostrando sua viabilidade para a produção de forragem. As quantidades de sais extraídos pela erva sal do solo foram elevadas, principalmente, para o Cl⁻ e o Na⁺, evidenciando a capacidade fito-extratora da erva sal, compatibilizando-se com a problemática da deposição do rejeito da dessalinização, além de ter apresentado boa qualidade da forragem produzida.

Palavras-chave: *Atriplex nummularia*. Reuso de água. Salinidade.

ABSTRACT

MOURA, Edymara Sinthia Rocha de. **Herb salt growth irrigated with reject brine under change of soil moisture**. 2013. 53f. Dissertation (Master degree in Irrigation and Drainage) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2013.

Rural communities located in the Brazilian Northeast, especially in semiarid region, live with water shortages resulting from erratic rainfall in this region, resulting in problems with the drinking water supply. The use of groundwater enables of the water supply in many of these communities, but due to the high levels of salts such waters often need to be treated in treatment plants by the process of desalination by reverse osmosis, generating apart from potable water, water of high salinity called saline waste of high capacity polluting of the soil and water sources requiring the study of viable alternatives to its deposition in the environment. In this context, this work proposes the cultivation of the halophyte known as herb salt (*Atriplex nummularia*), on Project of settlement Rural of Good Faith, in Mossoró, RN as an alternative to deposition of saline waste for forage production. The statistical design was a split-plot, being four treatments at the plots, related to levels of soil moisture and having based on the moisture in the Field Capacity (FC) (T1 -100% of FC; T2 – 85% of FC; T3 – 70% of FC and T4 – 50% of FC) and in subplots, two levels of organic manure (Fo: not fertilized and F1: fertilized), with four replications. Were analyzed Variables of growth, yield and quality of forage crop at harvest of material, after three months of cultivation. It was observed that herb salt has good production capacity of fresh matter and drought of herb salt under a level of 85% soil moisture in relation to its field capacity, presenting minimal loss of yield, 5,74% and 3,54%, respectily, and proved to be productive even with the dry soil. The total productivity was 5689,62 kg ha⁻¹ showing its viability for forage production. The quantities of salts extracted were high, mainly for Cl⁻ and Na⁺, demonstrating the phytoextraction ability of the herb salt, compatibilizing up with the problematic of disposal of waste from desalination, also presented good quality of forage produced.

Keywords: *Atriplex nummularia*. Water reuse. Salinity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características físico-químicas da água de rejeito da dessalinização utilizado na irrigação da erva sal.....	26
Tabela 2 - Resultado da análise física do solo da área experimental.....	26
Tabela 3 - Resumo da análise da variância para as variáveis, matéria fresca das folhas (MFF), matéria fresca do caule (MFC), matéria seca das folhas (MSF), matéria seca do caule (MSC), altura das plantas (AP), diâmetro da copa (DC), matéria fresca total (MFT) e matéria seca total (MST).....	31
Tabela 4 - Produtividade total com base na matéria fresca total (MFT) e na matéria seca total (MST) da <i>Atriplex nummularia</i> irrigada com rejeito da dessalinização.....	35
Tabela 5 - Resultado das análises químicas do solo no início, metade e final do ciclo de produção da erva sal.....	38
Tabela 6 - Resumo da análise da variância dos conteúdos de Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nas folhas e caule da erva sal.....	39
Tabela 7 - Teores médios de Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nas folhas e caule da <i>Atriplex nummularia</i> irrigada com rejeito da dessalinização com o solo mantido em diferentes níveis de umidade com base na capacidade de campo.....	40
Tabela 8 - Estimativa da quantidade de sais extraídos pelas erva sal irrigada com rejeito da dessalinização em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.....	42
Tabela 9 - Resumo da análise da variância das variáveis proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e matéria seca (MS) das folhas e caule da erva sal.....	43
Tabela 10 - Proteína Bruta (PB), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e matéria seca (MS) da erva sal em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Descrição do fluxo osmótico (A) e condição de equilíbrio das duas soluções (B) e fluxo de solvente no processo de osmose reversa (C).....	14
Figura 2 - Umidade relativa do ar (A) e temperatura (B) durante o período do experimento na região de Mossoró.....	25
Figura 3 - Curva de retenção de água média do solo da área experimental para a profundidade de 0-40 cm.....	27
Figura 4 - Croqui da disposição dos tratamentos em campo.....	28
Figura 5 - Detalhe do tensiômetro instalado em campo para determinação da umidade atual do solo.....	28
Figura 6 - Corte inicial da <i>Atriplex nummularia</i> : (A) detalhe da utilização da “forma” de uniformização do tamanho da planta e (B) plantas com dimensões uniformizadas.....	29
Figura 7 - Comportamento da altura das plantas (AP) e do diâmetro da copa (DC) das plantas de <i>Atriplex nummularia</i> irrigadas com rejeito da dessalinização com o solo mantido em diferentes níveis de umidade com base na capacidade de campo.....	32
Figura 8 - Comportamento da matéria fresca das folhas (MFF), matéria fresca do caule (MFC) e matéria fresca total (MFT) da erva sal, irrigada com rejeito da dessalinização com o solo mantido em diferentes níveis de umidade com base na capacidade de campo..	33
Figura 9 - Comportamento da matéria seca das folhas (MSF), matéria seca do caule (MSC) e matéria seca total (MST) da erva sal, irrigada com rejeito da dessalinização com o solo mantido em diferentes níveis de umidade com base na capacidade de campo..	35
Figura 10 - Alocação da Matéria Fresca (A) e da Matéria Seca (B) da erva sal, nas frações forrageiras folha e caule.....	37
Figura 11 - Teores de Cl^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e relação $\text{Na}^+ : \text{K}^+$, no tecido vegetal da <i>Atriplex nummularia</i> em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.....	41
Figura 12 - Comportamento da matéria mineral (MM) (A) e da matéria orgânica (MO) (B) da folha da erva sal em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.....	45
Figura 13 - Comportamento da matéria seca (MS) do caule da erva sal em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 A DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA.....	13
2.2 IMPACTOS CAUSADOS PELA DESTINAÇÃO DO REJEITO DA DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA SALOBRA.....	15
2.3 EFEITOS DA SALINIDADE NO SOLO E NA PLANTA.....	17
2.4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ERVA SAL.....	20
2.5 CARACTERÍSTICAS FORRAGEIRAS DA ERVA SAL.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO.....	31
4.2 COMPOSIÇÃO MINERAL E EXTRAÇÃO DE SAIS.....	38
4.3 QUALIDADE DO MATERIAL FORRAGEIRO.....	43
5 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

No Nordeste brasileiro, em especial na região semiárida, a irregularidade das chuvas provoca escassez dos reservatórios superficiais, resultando em falta de água. Na maioria das comunidades rurais dessa região, é notória a ocorrência deste fato, o que acarreta em problemas com o abastecimento de água potável. Tendo em vista esta problemática, e o grande potencial em recursos hídricos subterrâneos, a perfuração de poços para captação destas águas tornou-se uma alternativa viável, sendo muito utilizada para a irrigação de diversas áreas de fruticultura, por meio de poços rasos com baixo custo de obtenção, porém apresentando concentrações de sais relativamente elevada (LISBOA et al., 2000).

Além disso, a perfuração de poços passou a ser utilizada como fonte de água para diversas comunidades rurais desta região, porém, mesmo as águas subterrâneas sendo apontadas como uma alternativa viável para garantir o acesso das comunidades rurais do Nordeste à água, tais fontes hídricas apresentam na maioria dos casos restrições de uso para consumo humano, por apresentarem problemas de salinidade (AYERS; WESTCOT, 1999).

Visando minimizar este problema, o Governo Federal implantou o Programa Água Doce, cujo principal objetivo é solucionar a falta de abastecimento hídrico nessas comunidades, através da instalação e manutenção de estações de tratamento de água salobra (dessalinizadores) nas comunidades rurais para o tratamento da água proveniente dos poços (MMA, 2013). Em Mossoró, cerca de 50 comunidades foram beneficiadas por este programa.

A osmose reversa é uma tecnologia amplamente utilizada para o tratamento da água salobra (AMORIM et al., 2004; PORTO et al., 2004), com experiências exitosas na maioria das localidades onde estão implantadas unidades de tratamento de água por dessalinização. O uso de dessalinização por osmose reversa tem progredido notavelmente e, o mercado está sendo ampliado consideravelmente e as aplicações também, sendo o aspecto econômico o que limita sua expansão (JUAN, 2000). A osmose reversa é um processo induzido pela ação de uma força externa, mecânica, superior à pressão osmótica do sistema, ou seja, quando esta pressão é aplicada sobre a solução mais concentrada, que está separada de outra mais diluída por uma membrana, ocasiona o transporte de solvente contra o gradiente de concentração (NOBLE; STERN, 1995). À medida que a pressão é aumentada, mais água atravessa a membrana semipermeável (água potável), havendo retenção dos íons na membrana que separa as duas soluções e o aumento da concentração de sais na solução em que se está aplicando a pressão (rejeito).

Entretanto, este processo implica na geração de uma água residuária do processo e que tem concentração iônica elevada, chamada rejeito, ou seja, ao se dessalinizar a água salobra, transformando-a em água doce, gera-se outro tipo de água, mais salina que a própria água salobra e, por conseguinte, com risco de contaminação ambiental elevado (SOARES et al., 2006).

A deposição do rejeito gerado nas estações de tratamento gera preocupações ambientais em função de seu poder poluente para o solo ou mananciais hídricos, caso seja feito o manejo de forma incorreta. Diante disto, estratégias de reutilização deste rejeito estão sendo estudadas, como a utilização de tanques de evaporação (AMORIM et al., 2001), criação de tilápias (ARAÚJO; PORTO, 1999), cultivos hidropônicos de hortaliças (SOARES, 2007), e cultivo de plantas halófitas (ARAÚJO; PORTO, 2000), surgem como alternativas convenientes para o destino deste rejeito.

Dentre as estratégias de reutilização do rejeito colocadas, o cultivo de halófitas, seria a melhor opção para dispor o rejeito da osmose reversa (RILEY et al., 1997). Neste contexto, uma espécie tem se destacado no Brasil, nos últimos anos, sendo alvo de diversas pesquisas, que é a *Atriplex nummularia*, conhecida também por erva sal. Por ter origem em regiões áridas, a erva sal consegue produzir e manter uma abundante fitomassa, mesmo em ambientes de alta aridez e salinidade (PORTO et al., 2000), destacando-se no processo de fitorremediação de solos afetados por sais, por atender a conveniências necessárias a este processo, pela produção de abundante biomassa em solos com altos teores de sais, além de tolerar déficit hídrico, comum em áreas de clima árido e semiárido (SOUZA, 2010). O cultivo de *Atriplex nummularia*, tem sido a estratégia utilizada em outros países não apenas para recuperar solos salinizados, mas, também, para o uso do rejeito da dessalinização de água salobra, reduzindo a degradação do ambiente, possibilitando, concomitantemente, a produção de forragem em áreas de baixo potencial produtivo (BOEGLI; THULLEN, 1996), o que torna mais interessante sua utilização no contexto das regiões semiáridas, como estratégia de complementação da alimentação dos rebanhos em épocas de seca.

Dentro desta perspectiva, foi conduzido o presente trabalho objetivando o reuso do rejeito salino produzido pela estação de tratamento de água do Projeto de Assentamento Boa Fé (Mossoró, RN), para a irrigação da erva sal (*Atriplex nummularia*), visando avaliar seu potencial produtivo de forragem além de sua qualidade bromatológica, bem como quantificar os sais extraídos do solo pela planta.

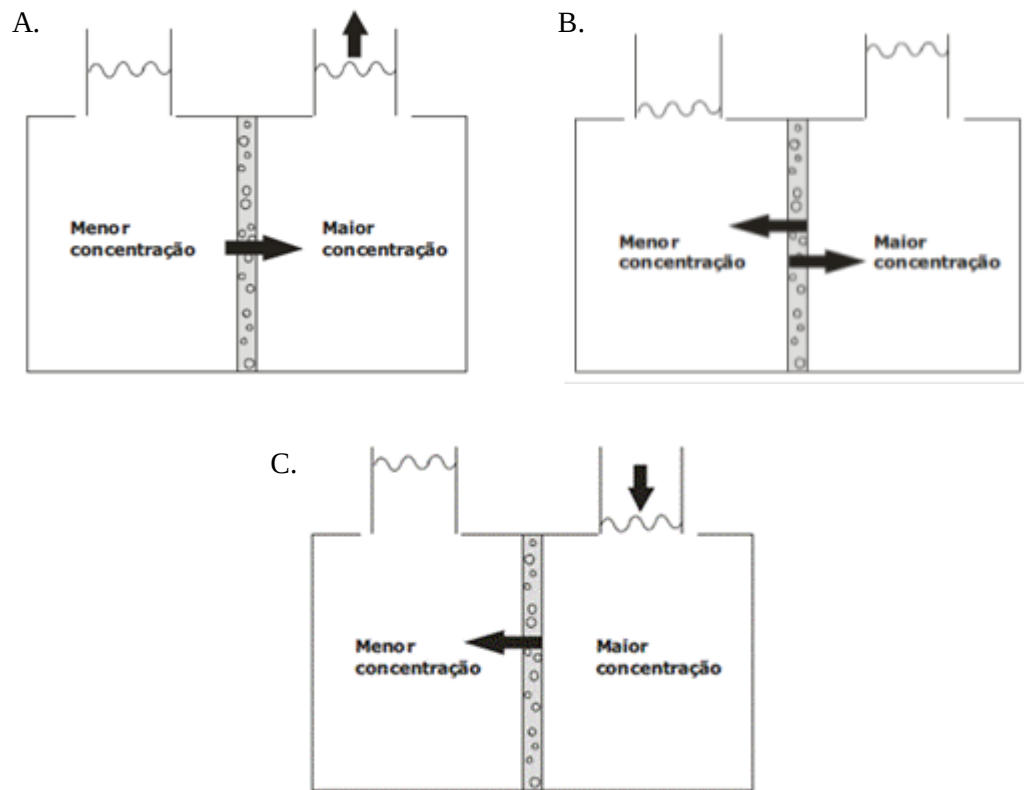
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

As águas subterrâneas do semiárido brasileiro são, na maioria dos casos, salinas, necessitando de tratamento prévio antes de sua utilização para abastecimento humano, consumo animal e irrigação de culturas. Valores de condutividade elétrica superiores a 5 dS m⁻¹ limitam o uso dessas águas, requerendo-se metodologias que reduzam o seu conteúdo salino, dentre elas, o tratamento com dessalinizadores de osmose reversa, em ampla disseminação na região (MONTENEGRO et al., 2003).

A dessalinização por osmose reversa é um tratamento capaz de retirar os sais da água, para produzir água potável, utilizando-se de um aparelho denominado dessalinizador, que se utiliza de membranas para a filtragem dos sais. Quando uma solução diluída é colocada em contato com uma solução concentrada, ocorre a movimentação dos íons em direção à solução diluída e a movimentação de água pura em direção à solução mais concentrada. Este fenômeno recebe o nome de difusão. Nesse processo a água se movimenta da condição de maior potencial para a condição de menor potencial, buscando o estado de equilíbrio (LIBARDI, 2005). Quando a difusão se processa por meio de uma membrana semipermeável, que deixa passar a água, mas não os solutos, chama-se de osmose a saída da água pura em direção à água concentrada (SOARES, 2006).

Na osmose, quando duas soluções de concentrações diferentes são postas em um mesmo recipiente e separadas pela membrana semipermeável, a solução de menor concentração naturalmente cederá o solvente para a outra concentração de maior quantidade de soluto (Figura1), até que as duas se encontrem em equilíbrio, ou seja, apresentem a mesma quantidade de concentração (Figura 1B). Isto se dá pelo aparecimento da pressão osmótica (PESSOA, 2000).



Fonte: Adaptado de Pessoa (2000).

Figura 1 - Descrição do fluxo osmótico (A) e condição de equilíbrio das duas soluções (B) e fluxo de solvente no processo de osmose reversa (C).

As partículas retidas são solutos de baixas massas moleculares, como sais ou moléculas orgânicas simples. No caso de dessalinizadores, a água passa pela membrana, devido a uma pressão externa, através de uma bomba de alta pressão, também chamada de “booster”. O resultado é a produção de água doce de um lado e de águas residuais com concentração elevada de sais, do outro (Figura 2C).

Considerando sua comprovada eficiência quanto à relação custo e a quantidade de água potável produzida, a dessalinização por osmose reversa é uma alternativa inovadora e eficaz na conversão de água salgada em água potável, de forma que, nas últimas duas décadas a técnica da osmose reversa tornou-se um processo bem estabelecido de dessalinização e vem sendo usada no Nordeste do Brasil em crescente expansão (AMORIM et al., 2001).

A osmose reversa é o único processo viável para a dessalinização de poços por melhor se adequar aos sistemas de abastecimentos em comunidades carentes, da zona rural, alimentados por poços tubulares (GUANAES, 2001).

Geralmente, de acordo com a eficiência da membrana no mínimo 25% do volume de água bruta é lançado nos ecossistemas em forma de rejeito, podendo atingir até 70%, sendo que, o teor de sal no rejeito é uma função direta do teor de sal na água a ser dessalinizada, podendo ser da ordem de quatro a cinco vezes maior (AMORIM et al., 2004).

2.2 IMPACTOS CAUSADOS PELA DESTINAÇÃO DO REJEITO DA DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA SALOBRA

Mesmo sendo uma técnica que possibilite o bem-estar das populações pobres do Nordeste, podendo constituir-se em uma concreta ferramenta ao desenvolvimento da região, deve-se ponderar pela dualidade do benefício da dessalinização por osmose reversa, tendo em vista o potencial de contaminação da água residuária gerada no processo.

Considerando-se o número de dessalinizadores nesta região, estimado em mais de 3 mil dessalinizadores instalados no semiárido do Nordeste, um volume considerável de efluente está sendo gerado (ASSOCIAÇÃO DOS GEÓGRAFOS BRASILEIROS, 2004). Quase na totalidade dos casos, estes efluentes não recebem nenhum tipo de tratamento, e são lançados diretamente no solo, propiciando alto acúmulo de sais nas camadas superficiais do terreno, os quais podem ser lixiviados com as águas das chuvas, salinizando o perfil do solo e atingindo os aquíferos. Esta forma de deposição dos efluentes poderá trazer, em curto espaço de tempo, sérios problemas ambientais, com consequências para as comunidades que se beneficiam desta tecnologia, como apresentado por Amorim et al., (1997).

Os dados obtidos por Amorim et al. (1997) indicam que em Petrolina-PE, na Comunidade de Rajada, a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE) alcançou valor superior a 20 dS m^{-1} e a percentagem de sódio trocável (PST) já atingiu valor superior a 15%, nos primeiros 30 cm do solo, nos locais onde os rejeitos são depositados. Porto & Amorim (2001) em estudo com o objetivo de reduzir os impactos causados pela dessalinização de água salobra proveniente do cristalino no trópico semiárido brasileiro cultivaram a erva sal (*Atriplex nummularia*) durante um ano, nos campos da Estação Experimental da Embrapa Semiárido. As plantas foram irrigadas com rejeito do processo de dessalinização, com concentração salina média de $11,38 \text{ dS m}^{-1}$, e cada uma recebeu 75 L de água por semana, durante 48 semanas. A salinidade média do perfil de solo, da camada de 0 a 90 cm, era de $0,64 \text{ dS m}^{-1}$ antes de se iniciar a irrigação das plantas; depois da colheita das plantas, a salinidade do mesmo perfil de solo foi de $12,74 \text{ dS m}^{-1}$.

Em estudo de impacto ambiental realizado em Canindé, no Ceará, os principais impactos observados foram: erosão e salinização do solo, alteração da flora, salinização da água e proliferação de algas e microorganismos (PESSOA, 2006).

Os rejeitos dos dessalinizadores podem contaminar os mananciais hídricos superficiais, o solo e até a fauna e flora da região, alertando que os sais depositados na superfície do solo, além de contaminarem mananciais subterrâneos, poderão ser transportados pela ação dos ventos ou pela água de escoamento superficial e salinizar as águas e áreas próximas. O sódio dos sais, por exemplo, poderá substituir o cálcio adsorvido no complexo de troca, causando a dispersão dos colóides do solo, e consequentemente, contribuindo para redução da condutividade hidráulica do solo. Segundo esses mesmos autores, a vegetação da área poderá ser prejudicada devido à deterioração das características físico-químicas dos solos (AMORIM et al., 2004).

Os efeitos dos sais sobre o solo ocorrem basicamente pela interação eletroquímica existente entre os sais e a argila. A intensidade deste fenômeno depende da natureza da argila e do cátion presente. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando umedecida e a concentração quando a água é evaporada ou retirada pelas plantas. Se a expansão for exagerada pode ocorrer a fragmentação das partículas provocando a dispersão da argila. De modo generalizado, altera-se o volume ocupado pela argila, reduzindo o tamanho dos poros e modificando a estrutura do solo, afetando significativamente suas propriedades físicas (LIMA, 1997).

Os solos sódicos encolhem mais acentuadamente com a redução da umidade do que solos normais, apresentando densidade aparente maior, provavelmente como consequência da desestruturação do solo que elimina os poros (LIMA; GRISMER, 1990). As diferenças notadas no encolhimento dos solos permitiram observar, por meio de análise computadorizada de imagens, que solos normais apresentaram, quando secos, cerca de 8% de sua superfície aberta na forma de fendas, enquanto nos solos sódicos esta área varia de 15 a 20% (LIMA; GRISMER, 1992, 1994).

Os solos cuja estrutura foi modificada pela sodicidade ou ausência de íons em solução tendem a armazenar mais água quando expostos aos mesmos níveis de potencial matricial (RUSSO; BRESLER, 1980). As alterações na curva característica de água do solo são maiores para níveis de umidade próximos da saturação, podendo ocorrer mesmo sob baixos níveis de potencial como 1,5 MPa.

2.3 EFEITOS DA SALINIDADE NO SOLO E NA PLANTA

A utilização de água com teores elevados de sais para a prática da irrigação pode causar efeitos negativos no solo, devido ao acúmulo de sais no mesmo, em decorrência das sucessivas irrigações, comprometendo, muitas vezes, o desenvolvimento das culturas. Os solos afetados por sais estão presentes em mais de 100 países, sendo que a maior parte das regiões é caracterizada pela salinização proveniente da água de irrigação (RENGASAMY, 2006). Qadir et al. (2007) enfatizam que práticas de recuperação e de manejos eficientes devem ser adotadas, tendo em vista que a utilização desses solos para agricultura é de fundamental importância e não deve ser negligenciado.

Os processos de formação natural dos solos em regiões quentes e secas, frequentemente, dão origem a solos salinos e com baixo potencial agrícola. Nesses tipos de solos, problemas sempre são detectados em relação aos atributos químicos, físicos e biológicos. Nesses ambientes, normalmente são encontradas apenas espécies vegetais altamente tolerantes à salinidade, por causa da toxidez causada pelas altas concentrações de sais e pela dificuldade de captar água, tendo em vista o baixo potencial osmótico ao qual estas espécies têm que se submeter para conseguir essa captura, que é extremamente dispendioso energeticamente para a maioria das culturas (SOUZA, 2010).

Segundo Nunes Filho (1984) e Lima (1997), o uso de água com elevados níveis de sais para irrigação, somado à falta de um manejo apropriado de lixiviação desses sais, poderá resultar em alta concentração de sais solúveis na solução do solo, como o sódio, proporcionando sua adsorção no complexo sortivo promovendo, desta forma, dispersão das argilas, decorrente do efeito dispersante do excesso desse íon no solo, a permeabilidade fica comprometida, originando uma camada impermeabilizante com consequentes decréscimos nas taxas de infiltração no solo. Essas alterações físico-químicas afetam o regime de umidade do solo, a aeração, nutrição e o desenvolvimento vegetativo e produtivo das plantas. Além disso, o uso dessas águas poderá causar a salinização dos solos, de forma direta, se práticas, como a aplicação de uma fração de lixiviação, não forem utilizadas. Através da evapotranspiração das culturas (ET_c) e da ascensão capilar e posterior evaporação, até mesmo águas de baixa salinidade, podem se concentrar, provocando o aumento da salinização na zona radicular das culturas, vindo a reduzir o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Os efeitos dos sais sobre as plantas podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água pela planta, pela interferência dos sais nos processos fisiológicos, ou mesmo por toxidez similares àsquelas de adubações excessivas (LIMA, 1997). Os efeitos imediatos da

salinidade sobre os vegetais são: seca fisiológica, proveniente da diminuição do potencial osmótico, desbalanceamento nutricional devido à elevada concentração iônica, especialmente o sódio, inibindo a absorção de outros nutrientes e efeito tóxico de íons, particularmente o cloro e sódio.

A acumulação de sais, na rizosfera, prejudica o crescimento e desenvolvimento das culturas, provocando um decréscimo de produtividade e, em casos mais severos, pode levar a um colapso da produção agrícola. Isso ocorre em razão da elevação do potencial osmótico da solução do solo, por efeitos tóxicos dos íons específicos e alteração das condições físicas e químicas do solo (LIMA, 1998).

As plantas sensíveis à salinidade tendem, em geral, a excluir os sais na absorção da solução do solo, mas não são capazes de realizar o ajuste osmótico descrito e sofrem com decréscimo de turgor, levando as plantas ao estresse hídrico por osmose. Embora o crescimento da parte aérea das plantas se reduza com o acentuado potencial osmótico do substrato onde vivem a redução da absorção de água não é necessariamente a causa principal do reduzido crescimento das plantas em ambientes salinos. As plantas que crescem em substratos salinos mantêm seu turgor e chama atenção pelo fato de que suculência é uma característica comum entre as halófitas (KRAMER, 1983). Este fato sugere que essas plantas não percam água por salinidade como se estivessem em solos secos e também não recuperam-se, como fazem as plantas estressadas por falta de água, ao receberem água novamente. Assim, parece que os efeitos no crescimento, de níveis similares de potencial osmótico e mátrico, são diferentes. Esta inferência permite questionar o emprego da soma algébrica com a mesma ponderação para potencial gravitacional, matricial e osmótico ao calcular o potencial total da água no solo (LIMA, 1997).

As plantas extraem a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças de retenção da água exercida pelo solo. À medida que a água é extraída do solo, as forças que retêm a água restante tornam-se maiores. Quando a água do solo é retida com força superior às forças de extração, inicia-se o estado de escassez de água na planta. A presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por seu efeito de osmose e, portanto, a magnitude do problema de escassez de água na planta. Por exemplo, tendo-se dois solos idênticos e com o mesmo teor de água, onde um está isento dos sais e outro não, é exatamente do primeiro que a planta extrairá e consumirá mais água. Pode-se dizer que, devido à afinidade dos sais com a água, as plantas têm que exercer maior força de embebição para extrair do solo uma unidade de água com sais, que para extrair outra que seja isenta deles (AYERS; WESTCOT, 1999).

Os problemas de toxicidade normalmente surgem quando certos íons, constituintes do solo ou da água, são absorvidos pelas plantas e acumulados em seus tecidos, em concentrações suficientemente altas para provocar danos e reduzir seus rendimentos (AYERS; WESTCOT, 1999). Segundo Pizarro (1985), o efeito por toxicidade de íons específicos não é devido ao efeito direto dos íons e, sim, por estes induzirem as alterações no metabolismo, ocasionando o acúmulo de produtos tóxicos. A toxidez não envolve, necessariamente, a ação direta do sal ou íon sobre o vegetal podendo ser causado, em parte, pelos efeitos antagônicos no processo de absorção de nutrientes essenciais ao metabolismo da planta (CRUCIANI, 1989).

De acordo com estudos de Ayers (1977) e Maas (1985), a interpretação dos efeitos da toxicidade nas diretrizes técnicas reconhece que os resultados de toxicidade são oriundos da absorção do sódio, do cloro e do boro, pelo sistema radicular ou pela absorção do sódio e do cloro, através da umidade foliar nos sistemas de irrigação por aspersão. De uma forma geral, os danos em culturas sensíveis ocorrem em concentrações iônicas relativamente baixas e se manifestam como queimaduras nas bordas e clorose na área internerval das folhas e, se a acumulação de íons for suficientemente elevada, produzirá redução significativa nos rendimentos (AYERS; WESTCOT, 1999).

O efeito por desequilíbrio nutricional é outro mecanismo exercido pela salinidade sobre as plantas, causado pelo excesso de determinados sais ou íons no solo, afetando a disponibilidade de água, dependendo dos níveis de salinidade e do genótipo vegetal. Devido a presença de determinados íons em excesso pode inibir a absorção de outros elementos essenciais para o crescimento da planta, o que causa o desequilíbrio nutricional na planta (TESTER; DAVENPORT 2003).

O excesso de um íon pode provocar deficiência de outro, devido à precipitação de elementos ou inibição de outros (GHEYI; MEDEIROS, 1991). Com relação ao pH do solo, em pH elevado, quando no extrato de saturação do solo há teores apreciáveis do íon carbonato, ocorre a redução na disponibilidade de micronutrientes como Zn, Cu, Fe, Mn e B; por outro lado, aumenta a disponibilidade de Mo e Cl (MALAVOLTA, 1980),.

As plantas tolerantes à salinidade são designadas como plantas halófitas e sua tolerância pode atingir até cerca de 15 g L^{-1} de NaCl, equivalente à metade da concentração da água do mar. Essas plantas absorvem o cloreto de sódio em altas taxas e o acumulam em suas folhas para estabelecer um equilíbrio osmótico com o baixo potencial da água presente no solo. Este ajuste osmótico se dá com o acúmulo dos íons absorvidos nos vacúolos das células das folhas, mantendo a concentração salina no citoplasma em baixos níveis de modo que não

haja interferência com os mecanismos enzimáticos e metabólicos e com a hidratação de proteínas das células (DIAS; BLANCO, 2010).

Para que ocorra o ajuste osmótico, na membrana que separa o citoplasma e o vacúolo não há fluxo de um compartimento para outro, mesmo que haja elevado gradiente de concentração. O ajuste osmótico é obtido por substâncias compatíveis com as enzimas e os metabólitos ali presentes. Esses solutos são, na maioria, orgânicos como compostos nitrogenados e, em algumas plantas, açúcares como o sorbitol (LAUCHI; EPSTEIN, 1984).

Os danos causados pelos efeitos dos sais sobre as plantas podem ser reduzidos por alguns fatores, os quais dependem de um manejo adequado da salinidade quando se usa água salina na irrigação, sendo necessário um entendimento de como os sais afetam as plantas e solos, de como os processos hidrológicos afetam a acumulação de sais e, também, de como os tratamentos culturais e irrigação afetam a salinidade da água e do solo. Vale ressaltar que os solos salinos, na maioria das vezes, apresentam baixa permeabilidade à água, o que dificulta a aplicação de lâminas de lixiviação para sua recuperação. Portanto, o cultivo de plantas tolerantes a salinidade, melhoram a estrutura do solo e a permeabilidade da água através da penetração das raízes (AKHTER et al., 2003). Os solos salinos não devem ser vistos como um problema para a agricultura, e sim como uma nova oportunidade de produção, principalmente quando se utiliza plantas halófitas com elevado potencial agrônomo, pois além de produzir biomassa, podem ser utilizadas como biorremediadoras destes solos (VASCONCELLOS, 2011).

2.4 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ERVA SAL

A erva sal (*Atriplex nummularia*) é uma planta forrageira arbustiva, pertence à família *Chenopodiaceae*, a qual conta com mais de 400 espécies distribuídas em diversas regiões áridas e semiáridas do mundo (FAO, 1996). Por ser originária de regiões de deserto salino na Austrália, a erva sal tem uma boa adaptação ao clima semiárido como é o caso do Nordeste brasileiro (ARAÚJO, 2006). O nome erva sal foi definido devido à peculiaridade dessa planta em absorver sal através do seu sistema fisiológico, tendo, portanto o sabor salgado (PORTO; ARAÚJO, 1999). As plantas do gênero *Atriplex* são consideradas como “halófitas autênticas”, ou seja, precisam de sais para completar seu ciclo de vida (FLOWER et al., 1977; O’LEARY, 1990; PORTO et al., 2000).

Foi introduzida no Nordeste brasileiro por intermédio da Inspetoria Federal de Obras Contra a Seca, na década de 30; todavia, só agora esta planta está despertando o interesse dos

pesquisadores brasileiros (SOARES, 2006). Apresenta bom valor nutritivo entre 14 e 17% de proteína bruta, alto poder calorífico e pouca susceptibilidade a pragas e doenças (FAO, 1996).

Pelo seu alto valor proteico elas são usadas como forragem para caprinos, ovinos e bovinos, como também, nos processos de dessalinização de solos, na produção de lenha, na medicina e na culinária. Essas plantas retiram do solo grande quantidade de sal para utilizar nos seus processos vitais. O processo de dessalinização se inicia quando os arbustos são podados duas ou três vezes ao ano, a uma altura de aproximadamente meio metro do solo (IPA, 2011).

A erva sal é uma planta arbustiva, perene e apresenta altura média de 1,5 m, podendo chegar até 3,0 m. O sistema radicular pode atingir profundidade de até 3,5 m e é composto por uma raiz pivotante e raízes laterais, que facilitam sua nutrição e estabilidade (SANTOS, 2010). Em regiões de solos profundos e precipitações anuais variando entre 200 – 400 mm, essa planta pode produzir de cinco a dez toneladas de matéria seca por hectare. Os rendimentos variam conforme o tipo de solo, conteúdo de sal no solo, chuvas anuais e tipo de manejo dispensado à cultura. Geralmente a produção de matéria seca dessa espécie em diversas partes do mundo tem variado entre três e 15 toneladas por hectare (IPA, 2013).

Com relação a sua propagação, a produção de mudas por meio de sementes apresenta limitações em função das dificuldades de germinação (CAMPBELL; MATTHEWSON, 1999). Por isso, a propagação vegetativa é mais utilizada, garantindo também um padrão genético uniforme. Os melhores ramos para enraizamento são os semi-lenhosos, com diâmetro inferior a 0,50 cm apresentando um índice de aproveitamento das estacas de 60%. Utilizando o hormônio indutor de enraizamento AIB (ácido indolbutírico) na forma de polvilho misturado com talco inodoro na concentração de 330 ppm, este índice subiu para 90% (PORTO et al., 2000).

Além de tolerar a salinidade, tem a capacidade de acumular significativamente quantidades de sais em seus tecidos (BARROSO et al., 2006; ESTEVES; SUZUKI, 2008). Essa característica é denominada fitoextração, que é uma estratégia eficiente de recuperação de solos salino sódicos, com performance comparável à utilização de corretivos químicos (QADIR et al., 2007). Para Accioly & Siqueira (2000), a fitorremediação é uma estratégia de biorremediação, consistindo em procedimentos que envolvem a utilização de plantas e sua microbiota associada e de amenizantes do solo, além de práticas agrônômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema.

As espécies halófitas são uma alternativa para o aproveitamento do rejeito dos dessalinizadores, utilizando-os para a irrigação destas espécies (ARAÚJO; PORTO, 2000). Desse modo, o cultivo dessas plantas é uma opção para dispor o rejeito da osmose reversa. Em estudos realizados por Glenn et al. (1998) foi comprovado serem elas bem adaptadas a solos áridos e salinos, e capazes de tolerar condições climáticas adversas, podendo ser utilizadas em programas de reabilitação de solos em várias regiões com tais características, em processo de degradação ou sujeitas à desertificação.

Experimentos com esta espécie, sendo irrigada com água do Mar Vermelho e do Mar do Golfo Pérsico, que apresentam teores de compostos salinos na ordem de 40 gramas por litro, demonstram a grande avidez desta planta por sais principalmente cloreto de sódio (GLENN et al., 1998). Além disso, caracteriza-se por conseguir sobreviver e reproduzir em ambientes onde a concentração de sal excede 200 mmol L^{-1} de NaCl (aproximadamente 20 dS m^{-1}) (FLOWERS; COLMER, 2008).

A tolerância desta espécie é devida ao desenvolvimento de mecanismos especializados de acumulação de sais no interior de seus tecidos, ou de eliminação dos mesmos por meio de vesículas especiais existentes na superfície das folhas, que é a estrutura da planta que concentra a maior parte dos íons retirados do solo. Quando cheias, essas vesículas ou pústulas se rompem liberando o sal, através de finas camadas de cristais, que se aderem à superfície da folha (PORTO et al., 2000; PORTO et al., 2006). Esses cristais salinos ajudam na economia de água pela planta, por meio da reflexão da radiação solar, reduzindo, consequentemente, a temperatura da folha e mantendo assim a turgidez das células. Assim sendo, a planta age desta forma, não com o objetivo de se tornar especialista em absorção de sais, mas, como forma de ajustar-se ao ambiente adverso (GLENN et al., 1998).

Porto et al. (2001) avaliou o uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva sal e identificou que a planta consegue retirar grande quantidade de sais do solo, se comparada com outras não halófitas, apesar da remoção não ser tão quantitativa, quando comparada ao quantitativo de sais adicionados ao solo através da irrigação com água de alta salinidade. De acordo com os resultados preliminares apresentados, pode-se considerar a *Atriplex nummularia* como cultivo que suporta ambientes de alta salinidade, podendo mesmo ser tida como de grande habilidade na remoção de sais encontrados no solo de áreas degradadas.

2.5 CARACTERÍSTICAS FORRAGEIRAS DA ERVA SAL

A utilização da erva sal como forragem pode ser considerada como um benefício para os produtores uma vez que além de seu potencial fitorremediador, ela também pode ser utilizada na complementação da dieta de ruminantes e não ruminantes em regiões áridas e semiáridas (ARAÚJO, 2006). É uma importante fonte de forragem, devido seu bom rendimento produtivo nas condições climáticas da região semiárida e em diferentes condições de suprimento hídrico, além de possuir a maior parte do seu peso correspondente a folhas de boa digestibilidade (BARROSO et al., 2006) podendo ser utilizada na forma de feno, sempre em consórcio com outro tipo de volumoso de forma que se possa neutralizar o efeito do excesso de sal da mesma e não comprometer o consumo (PORTO & ARAÚJO, 1999).

A formulação de dietas utilizando a erva sal como fonte protéica associada a palma forrageira como fonte energética pode se revelar em uma combinação capaz de oferecer um bom aporte de nutrientes ao rebanho (ALVES et al., 2007). Para Ben Salem et al. (2004), a *Atriplex nummularia* e a palma são fontes de alimentos complementares, uma vez que a primeira possui elevados teores de proteína, cinzas e sal, e baixo percentual de energia, enquanto a segunda contém altos níveis de carboidratos solúveis, cinzas, cálcio e potássio porém, baixo teor de proteína, fibra e sódio.

Em algumas regiões a erva sal é diretamente pastejada por caprinos e ovinos, como meio de sobrevivência em decorrência das secas prolongadas. Havendo disponibilidade de outras forrageiras, a aceitabilidade é baixa, em decorrência do acúmulo de sal nos tecidos da planta, o que a torna pouco palatável, sendo recomendada sua utilização associada a outros alimentos. No entanto, em áreas de pastagens cultivadas, a *Atriplex* pode ser utilizada na forma de feno ou silagem quando cultivada, sendo o feno a forma mais usada (PORTO et al., 2000; BEN SALEM et al., 2010; ARAÚJO, 2009). Moreno et al. (2011) avaliaram teores crescentes de feno de erva-sal (30, 40, 50 e 60%), na dieta de ovinos e observaram redução do consumo de sal mineral (6,7; 5,5; 3,7 e 3,2 g/dia) à medida que houve inclusão de feno de erva-sal na dieta, demonstrando redução da necessidade de ingestão diária de sal mineral comercial em ovinos.

Entretanto, deve-se ter bastante atenção em seus níveis de fornecimento, uma vez que níveis excessivos dessa forragem, principalmente quando jovens, tendem a limitar sua aceitabilidade pelos animais, aumentando, assim, a demanda de água. Logo, faz-se necessário planejar o consumo, sobretudo nos períodos críticos do ano, sempre tendo em mente que esta

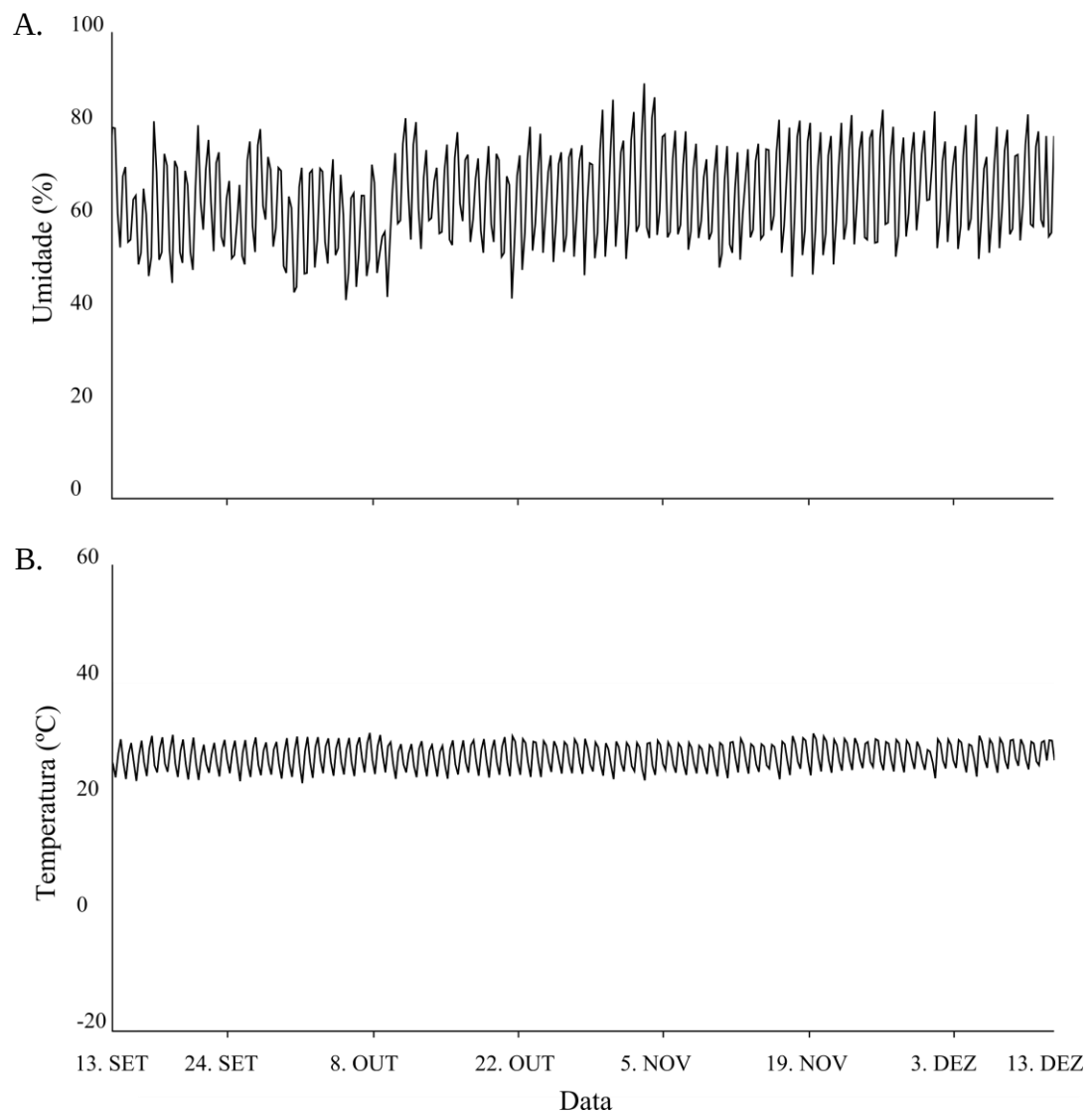
forragem deve ser encarada como mais uma alternativa estratégica para alimentação e nunca como única solução (SHARMA; TONGWAY, 1973).

Além da alimentação de ovinos, caprinos e bovinos a erva sal pode ser utilizada também para alimentação de aves, pois segundo Furtado et al. (2011), a utilização do feno de erva-sal em até 10% de substituição da ração convencional é uma alternativa viável para aves caipiras, principalmente, quando os preços dos insumos para formulação de ração estiverem elevados, sendo que nível superior pode interferir no desempenho das aves caipiras e na qualidade da carcaça.

Segundo Porto e Araújo (1999), em um experimento desenvolvido no Campo Experimental da Caatinga da Embrapa Semiárido, com plantas cortadas com 14 meses de idade e com 50 cm de altura, obteve-se uma produtividade de 26 t ha⁻¹ de matéria fresca, sendo obtidas 4,7; 14,8; 3,2; e 3,3 t ha⁻¹ de material lenhoso, folas, caules finos e caules grossos, respectivamente. Vale salientar que quanto maior for seu desempenho produtivo, melhor será a mobilização dos sais do solo e a produção de lenha e de material forrageiro.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Projeto de Assentamento Boa Fé, localizado às margens da BR 304, Zona Rural do município de Mossoró, RN com coordenadas geográficas 5°03'07,32" S e 37°20'22,42" O. Os dados de temperatura e umidade durante o período do experimento na região de Mossoró são apresentados na Figura 2. A área experimental foi de 180 m².



Fonte: Estação meteorológica do INMET A318 – Mossoró (www.inmet.gov.br).

Figura 2. Umidade relativa do ar (A) e temperatura (B) durante o período do experimento na região de Mossoró.

O sistema de irrigação utilizado foi o localizado por gravidade, principalmente pelo fato de não demandar energia elétrica para o seu funcionamento. Foram utilizados emissores tipo microtubo de 1,5 mm de diâmetro e 1,5 m de comprimento, com a finalidade de evitar entupimentos devido à utilização de água com teor muito elevado de sais para a irrigação, que é o caso do rejeito salino cuja composição química está mostrada na Tabela 1. Com a finalidade de otimizar a uniformidade da irrigação, tanto as mangueiras de irrigação quanto a altura de emissão da água pelo microtubo foram niveladas em toda a área do experimento. Calculou-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), conforme descrito por Bernardo (1995), obtendo 93% de uniformidade.

Tabela 1. Características físico-químicas da água de rejeito da dessalinização utilizado na irrigação da erva sal

pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS ¹	Dureza	ΣCátions	Σânions
(água)	dS m ⁻¹	----- mmol _c L ⁻¹ -----				-----			-	mg/L	---- mmol _c L ⁻¹ ----	----
6,92	9,35	0,63	43,23	40,60	31,40	154,00	8,00	0,00	7,2	3600	115,96	162,00

$$^1\text{RAS} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{1/2}$$

Um reservatório para o armazenamento do rejeito a ser utilizado para a irrigação, com capacidade para 1000 L, foi instalado sobre uma estrutura de madeira a uma altura de 2,00 m. Este reservatório foi instalado no centro da área experimental para melhor distribuição da água de irrigação às plantas.

Foram realizadas coletas de amostras deformadas e indeformadas do solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, da área experimental e enviadas ao Laboratório de Física do Solo e para o Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal Rural do Semi-árido - UFERSA, onde foram realizadas, respectivamente, as análises físicas (Tabela 2), e a confecção da curva de retenção de água no solo média para as profundidades consideradas, pela metodologia de Richards (1947), ajustada pelo modelo de Van Genuchten (1980) (Figura 3).

Tabela 2. Resultado da análise física do solo da área experimental

Profundidade	Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila	Classificação granulométrica	Densidade Real
cm	-----kg kg ⁻¹ -----						kg dm ⁻³
0 - 20	0,48	0,38	0,85	0,05	0,10	Areia franca	2,49
20 - 40	0,50	0,32	0,83	0,05	0,13	Areia franca	2,62

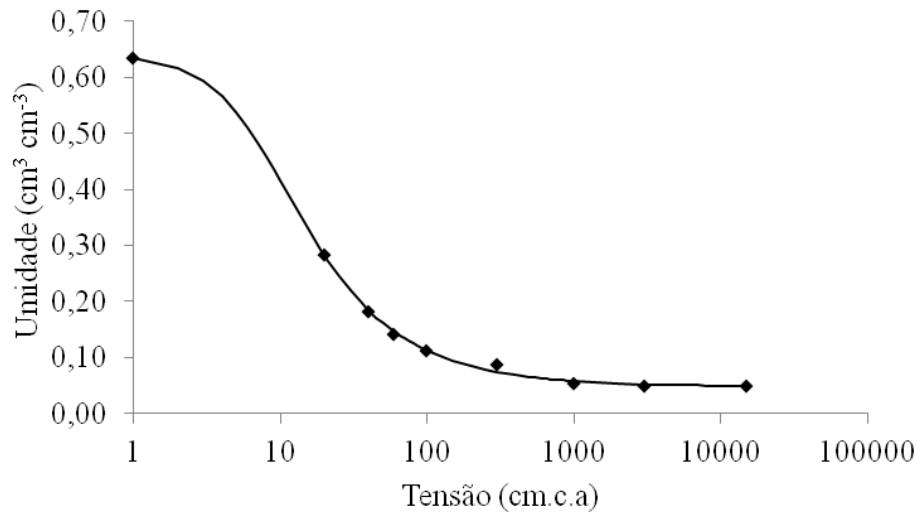


Figura 3. Curva de retenção de água média do solo da área experimental para a profundidade de 0-40 cm.

O delineamento experimental adotado foi o de parcelas subdivididas, sendo quatro tratamentos (T_1 , T_2 , T_3 e T_4) referentes a níveis de umidade do solo tendo como base a umidade na Capacidade de Campo (CC) nas parcelas e nas subparcelas, dois níveis de adubação orgânica (A_1 e A_2), sendo quatro repetições e duas plantas por subparcela, totalizando 64 plantas, com espaçamento de 1,5 m x 1,5 m.

A determinação das umidades do solo para os tratamentos das parcelas foi com base na curva de retenção de água do solo (Figura 3). Foi fixada a tensão na capacidade de campo em 6 kPa (60 cm.c.a) correspondendo a uma umidade volumétrica à CC de $0,1456 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, devido a classificação granulométrica do solo como uma areia franca, em função dos níveis de areia, silte e argila do mesmo (Tabela 2), o que lhe confere grande poder de drenagem. Além disso, diversos autores têm postulado que a capacidade de campo para solos tropicais corresponderia a tensões variando de 6 a 10 kPa (FERREIRA; MARCOS, 1983; REICHARDT, 1988; ANDRADE et al., 1991; MELLO et al., 2002). Logo, o solo mantido a 100% da CC constituiu o tratamento 1 (T_1), ficando assim determinado os tratamentos das parcelas: T_1 - 100% da CC ($0,1456 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); T_2 - 85% da CC ($0,1238 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); T_3 - 70% da CC ($0,1019 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e T_4 - 50% da CC ($0,0728 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Nas subparcelas, os tratamentos foram sem adubação orgânica (A_1) e com adubação orgânica (A_2), o adubo utilizado foi o esterco caprino na quantidade de 1,5 L por planta. O adubo foi aplicado manualmente em covas de 15 cm de profundidade lateralmente à planta, de uma única vez, no início da condução do experimento. A disposição dos tratamentos em campo pode ser observada na Figura 4.

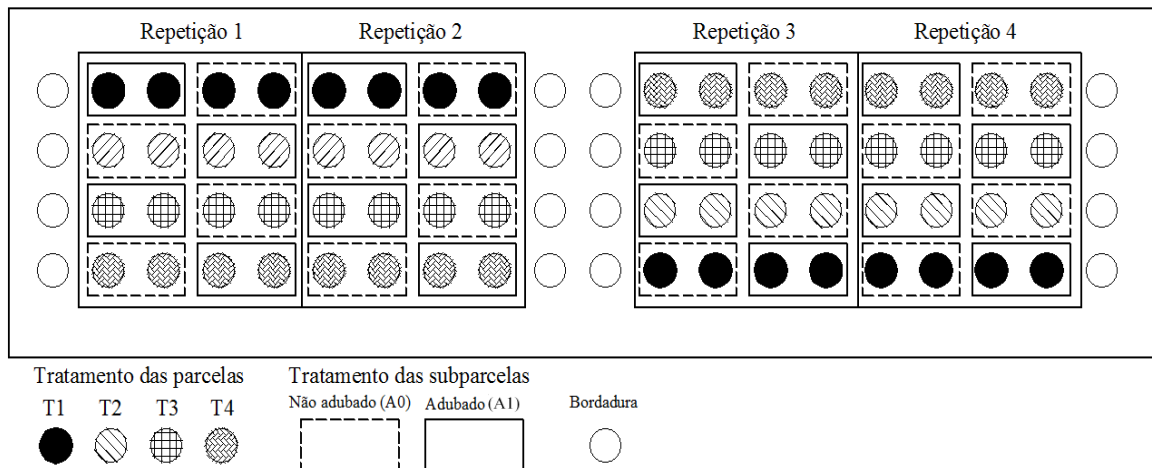


Figura 4. Croqui da disposição dos tratamentos em campo.

A irrigação foi realizada diariamente com a finalidade de manter o solo com a umidade o mais próxima da determinada para cada tratamento das parcelas. A quantificação do volume de água da irrigação diária a ser aplicada foi com base na umidade atual do solo em cada tratamento, determinada por meio de leituras das tensões atuais da água no solo, através de tensiômetros instalados em cada parcela experimental (Figura 5). De posse das tensões e da curva de retenção de água do solo (Figura 3), foi realizado o cálculo do volume da irrigação para cada tratamento necessário para elevar a umidade do solo até os níveis de umidade estabelecidos nos tratamentos, considerando uma área molhada de $0,40 \text{ cm}^2$ e uma profundidade de $0,40 \text{ cm}$.



Figura 5. Detalhe do tensiômetro instalado em campo para determinação da umidade atual do solo.

O experimento foi realizado após um primeiro corte das plantas de *Atriplex*, realizado aos 6 meses após o transplântio das mesmas, sendo portanto, os dados do presente estudo, referente ao segundo ciclo de produção que durou 3 meses compreendidos entre 13/09/2012 a 13/12/2012. A implantação inicial da *Atriplex* na área experimental foi através de mudas obtidas pelo processo de estaquia.

No dia 13/09/2012, todas as plantas foram cortadas mantendo a altura e o diâmetro da copa em 40 cm com o auxílio de uma “forma” confeccionada com estas dimensões, com a finalidade de uniformizar as dimensões das plantas (Figura 6), facilitando a mensuração da produção ao final do ciclo produtivo, quando se realizou o corte (colheita) de todas as plantas no dia 13/12/2012.

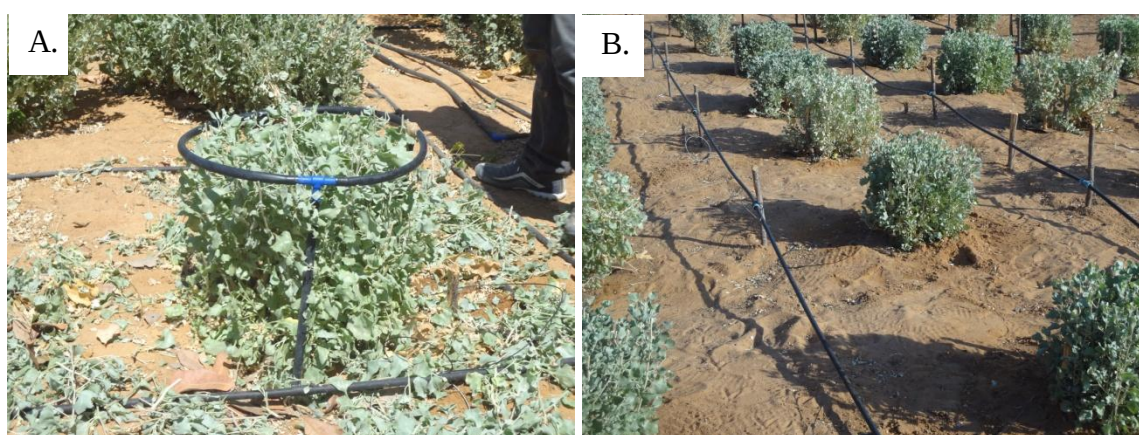


Figura 6. Corte inicial da *Atriplex nummularia*: (A) detalhe da utilização da “forma” de uniformização do tamanho da planta e (B) plantas com dimensões uniformizadas.

Foram realizadas coletas de amostras simples de solo em quatro plantas de cada tratamento, sendo duas de plantas adubadas e duas de plantas não adubadas, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, que após a coleta foram misturadas formando uma amostra composta, para a realização de análises químicas. As coletas de solo foram realizadas em três épocas, no início (antes da aplicação dos tratamentos), na metade (45 dias após o início da condução do experimento) e no final dos três meses de cultivo.

Antes do corte da erva sal, foram realizadas medidas do diâmetro da copa (DC) e da altura (AP) de todas as plantas, após realizou-se o corte onde todo material foi separado em folhas e caules para a determinação da matéria fresca da folha (MFF) e a matéria fresca do caule (MFC), bem como a matéria fresca total (MFT), pela soma das MFF e MFC. A matéria seca da folha (MSF) e a matéria seca do caule (MSC), foram obtidas em estufa com

circulação forçada de ar a 65 °C, até atingir peso constante, a matéria seca total (MST), foi obtida pela soma das MSF e MSC.

A composição mineral das folhas e caules da *A. nummularia* foi determinada no Laboratório de Nutrição de Plantas da UFERSA, onde foram realizadas as análises dos teores de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Sódio (Na^+), Potássio (K^+) e Cloreto (Cl^-), seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1999). Para avaliação da qualidade da forragem produzida pela erva sal, foram determinados percentagem de matéria seca (MS), e teores de matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM) e proteína bruta (PB), segundo metodologia descrita por Silva & Queiroz (2002).

Os dados foram submetidos à análise da variância e regressão para os tratamentos quantitativos das parcelas e teste de média nas subparcelas, utilizando o software Assistat®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Todas as variáveis de crescimento e produção da erva sal analisadas sofreram efeito linear significativo, sendo influenciadas pelos níveis de umidade do solo na qual foram submetidas as plantas, porém, a adubação orgânica não influenciou significativamente nenhum das variáveis, ou seja, a erva sal não respondeu em termos produtivos à adubação realizada nas condições do presente estudo, mostrando ser uma planta de características rústicas neste aspecto. (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise da variância para as variáveis, matéria fresca das folhas (MFF), matéria fresca do caule (MFC), matéria seca das folhas (MSF), matéria seca do caule (MSC), altura das plantas (AP), diâmetro da copa (DC), matéria fresca total (MFT) e matéria seca total (MST).

FV	GL	QM							
		MFF	MFC	MSF	MSC	AP	DC	MFT	MST
Níveis de umidade (NU)	3	343716,91	54965,64	17431,72	9832,92	277,77	346,4	662403,90	51538,40
Reg. linear	1	971926,43**	132897,12**	49446,30**	23223,74**	759,07*	1000,0**	1823617,09**	140444,08**
Reg. quad.	1	1502,62 ^{ns}	5550,26 ^{ns}	300,37 ^{ns}	2003,53 ^{ns}	70,50 ^{ns}	39,38 ^{ns}	1277,09 ^{ns}	752,38 ^{ns}
Reg. cúbica	1	57721,69 ^{ns}	26449,55 ^{ns}	2548,50 ^{ns}	4271,48 ^{ns}	3,75 ^{ns}	0,000 ^{ns}	162317,53 ^{ns}	13418,75 ^{ns}
Resíduo (NU)	12	36029,81	8761,863	2713,633	1587,936	108,684	73,316	77192,637	7968,048
Parcelas	15								
Adubação (A)	1	16815,17 ^{ns}	16408,22 ^{ns}	2209,04	3378,16 ^{ns}	2,25 ^{ns}	13,13 ^{ns}	66444,34	11050,70 ^{ns}
Interação (NU) x (A)	3	63706,65 ^{ns}	21668,98 ^{ns}	3399,11	3267,87 ^{ns}	91,50 ^{ns}	77,56 ^{ns}	146438,86	12372,54 ^{ns}
Resíduo (A)	12	66739,86	16673,77	3463,72	2395,50	50,23	42,23	145593,49	11313,55
TOTAL	31								
CV% (NU)		26,25	34,01	29,52	34,92	13,91	12,87	27,83	30,72
CV% (A)		35,73	46,42	33,35	42,89	9,46	9,77	38,23	36,61

** significativo a 0,01 de probabilidade; * significativo a 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

A altura das plantas (AP) e o diâmetro da copa (DC) apresentaram reduções com a diminuição da umidade do solo em função dos diferentes percentuais da capacidade de campo do solo em que foram submetidas (Figura 7). Considerando a altura de corte de 40 cm a que foram submetidas no início do experimento o tratamento T1, ao final dos três meses de cultivo apresentou AP média de 83,13 cm, ou seja, um crescimento de 43,13 cm, sendo bem

superior em relação aos demais tratamentos que apresentaram 75,19; 71,75 e 69,75 cm para T2, T3 e T4 respectivamente. Estes resultados evidenciam a capacidade de rebrota da *Atriplex nummularia*, sendo uma característica que influencia na sua capacidade produtiva. Souza (2010) verificou uma recuperação de 45,25 cm na altura da erva sal em relação à altura de corte que havia sido 60 cm após quatro meses de cultivo em um solo salino sódico em condições de campo.

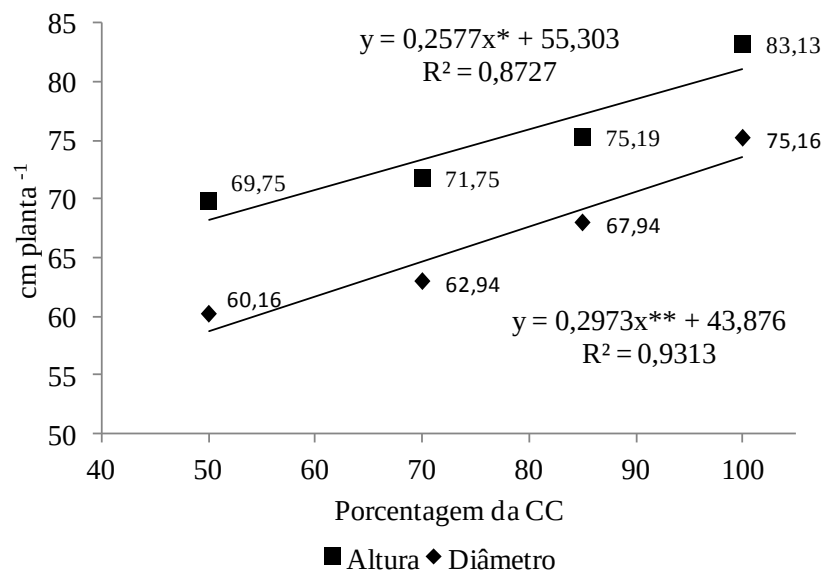


Figura 7. Comportamento da altura das plantas (AP) e do diâmetro da copa (DC) das plantas de *Atriplex nummularia* irrigadas com rejeito da dessalinização com o solo mantido em diferentes níveis de umidade com base na capacidade de campo.

Além disso, o material resultante da rebrota apresentou-se mais tenro com os ramos não ultrapassando 1 cm de diâmetro, favorecendo o seu uso como forragem para os animais, neste caso em particular, os caprinos. A Literatura mostra que a altura da erva sal pode atingir mais de 2,0 m de altura no primeiro ano de cultivo (GLENN et al., 1998; PORTO et al., 2001; PORTO et al., 2006), podendo atingir de 2 a 3 m, aos cinco anos de idade (GLENN et al., 2009).

O DC teve comportamento semelhante, porém, as diferenças entre os tratamentos foram menores. O T1 apresentou DC médio de 75,16 cm enquanto os demais foram 67,94; 62,94 e 60,16 cm, para T2, T3 e T4, respectivamente. Estes resultados nos permitem inferir que o espaçamento adotado para o cultivo da *Atriplex* pode ser modificado de acordo com a finalidade do plantio. Quando se visa cortar a erva sal para ministrá-la fresca aos animais,

fazer ensilagem ou produção de feno pode-se reduzir o espaçamento aumentando assim, a produtividade. Vasconcellos (2011) obteve uma produtividade de 44.250 e 18.632 kg ha⁻¹ de Matéria fresca e Seca, respectivamente, utilizando um espaçamento de 1x1m, irrigando a *Atriplex* com efluente oriundo da criação de tilápias com água de rejeito da dessalinização, realizando o corte aos seis meses de cultivo. No presente estudo, o corte da erva sal foi realizado aos três meses após o corte anterior, manejo este que permite a utilização de espaçamento mais adensado, além disso, o adensamento pode permitir uma maior eficiência na extração de sais do solo por área.

De modo geral, houve redução na MF em função da diminuição da umidade do solo nos tratamentos, mostrando que a *Atriplex nummularia*, apesar de ser considerada uma planta halófito resistente à seca, perde rendimento se mantida em condições de redução hídrica (Figura 8).

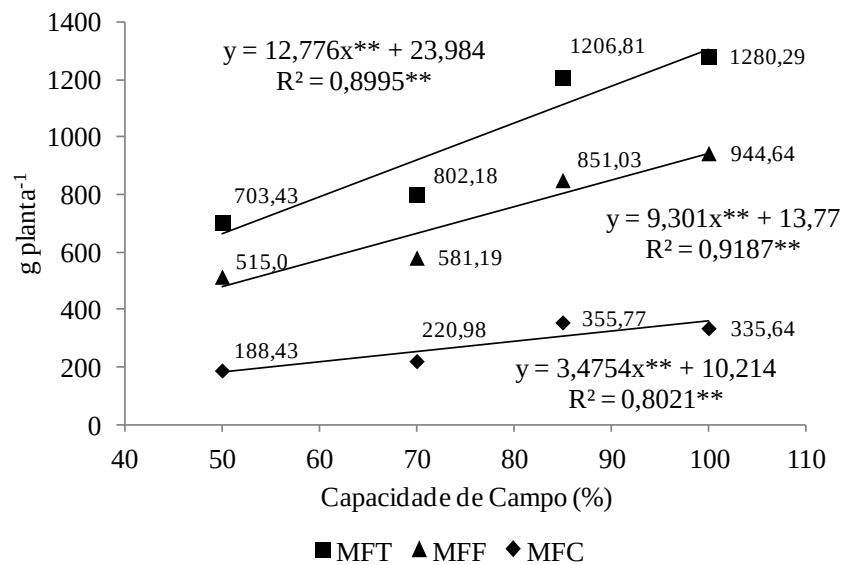


Figura 8. Comportamento da matéria fresca das folhas (MFF), matéria fresca do caule (MFC) e matéria fresca total (MFT) da erva sal, irrigada com rejeito da dessalinização com o solo mantido em diferentes níveis de umidade com base na capacidade de campo.

As maiores perdas ocorreram nas folhas, onde as reduções na MFF foram de 9,91; 38,47 e 45,48% nos tratamentos T2, T3 e T4, respectivamente, em relação ao tratamento T1. Esta mesma tendência ocorreu na MFT, porém, devido o comportamento do tratamento T2 da MFC, onde a redução foi bem menor em relação à testemunha, a diminuição para este tratamento na MFT foi de apenas 5,74% em relação à testemunha. Comportamento

semelhante foi observado por Souza (2010) que para a massa fresca das folhas, os tratamentos com 75 e 95% da CC não diferiram entre si e superaram os demais (35 e 55% da CC), cultivando a *Atriplex nummularia* em vasos com colheita aos 134 dias após o transplântio. Já para a massa fresca do caule, o tratamento com 75% da CC foi superior aos demais, promovendo maior produção. Este mesmo autor obteve uma produção de 90,95 g planta⁻¹ de MFF para o tratamento a 95% da CC, valor dez vezes menor que o obtido nesta pesquisa a 100% da CC, que foi de 944,65 g planta⁻¹, isto se deve ao fato deste autor ter colhido a erva sal aos 134 dias após o transplântio das mudas, sendo este o primeiro corte, o que difere do presente estudo, onde os dados foram obtidos de um segundo corte três mês após o primeiro ocorrendo um maior estímulo á rebrota dos ramos.

Estes resultados mostram que a *Atriplex nummularia*, nas condições em que foi submetida a pesquisa, praticamente não reduz seu rendimento com a umidade do solo mantida a 85% da CC, comprovando sua capacidade de tolerar uma deficiência hídrica neste nível. Este fato representa uma vantagem adaptativa desta espécie às condições climáticas locais, em função da ocorrência frequente de períodos de seca, sendo, portanto uma alternativa para produção de forragem ao pequeno produtor rural, dada sua empregabilidade como espécie forrageira.

O comportamento da MS foi semelhante ao da MF (Figura 9). A MSF foi superior a MSC para todos os tratamentos. Com relação à MSF, as reduções atingiram 36,99 e 42,71% no tratamento T3 e T4, em relação à testemunha, respectivamente, enquanto que para o T2 a diminuição na MSF foi da ordem de 11,09%. Em todo caso, para MST, pôde-se observar que a diferença entre o T1 e o T2 foi de apenas 3,54% para menos, sendo as produções obtidas de 365,44 e 352,51 g planta⁻¹ respectivamente.

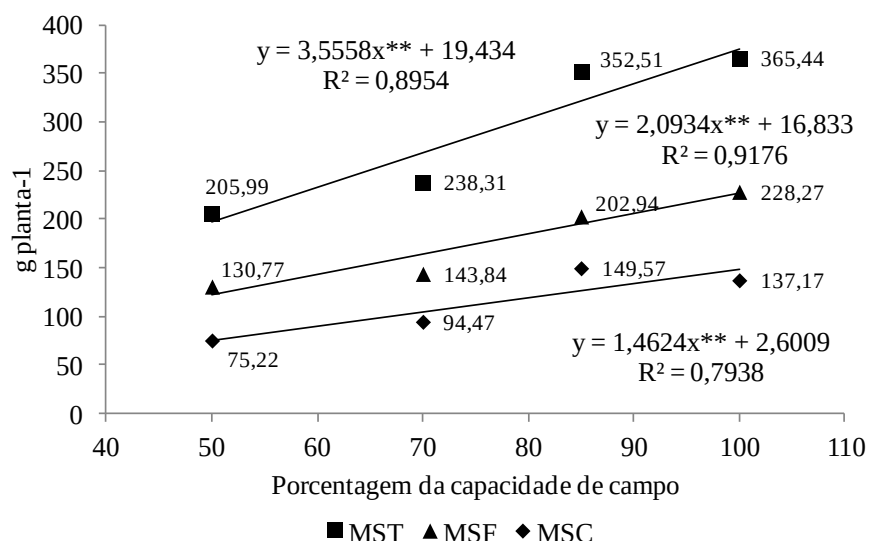


Figura 9. Comportamento da matéria seca das folhas (MSF), matéria seca do caule (MSC) e matéria seca total (MST) da erva sal, irrigada com rejeito da dessalinização com o solo mantido em diferentes níveis de umidade com base na capacidade de campo.

Para MSC o tratamento T2 (85% da CC) apresentou valor maior que o tratamento testemunha (100% da CC), corroborando com os resultados de Souza (2010), que obteve valor superior para esta variável para um tratamento a 75% da CC, em relação á testemunha (95% da CC).

Extrapolando os resultados da produção de MFT e MST da erva sal, considerando o espaçamento utilizado (1,5 x 1,5m), obtiveram-se os valores das produtividades em kg ha⁻¹ e em kg ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 4).

Tabela 4. Produtividade total com base na matéria fresca total (MFT) e na matéria seca total (MST) da *Atriplex nummularia* irrigada com rejeito da dessalinização.

Tratamento	Produtividade			
	----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----	
	MFT	MST	MFT	MST
T1	5689,62	1624,00	22758,49	6496,00
T2	5363,07	1566,56	21452,30	6266,24
T3	3564,92	1059,05	14259,69	4236,19
T4	3126,08	915,41	12504,31	3661,65
Média	4435,92	1291,25	17743,69	5165,02

A produtividade alcançou 5.689,62 e 1.624,00 kg ha⁻¹ de MFT e MST, respectivamente, para o tratamento a 100% da CC, enquanto que as produtividades extrapoladas para um ano foram de 22.758,49 e 6.496,00 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para MFT e MST, respectivamente, para o mesmo tratamento. Estes valores são muito próximos dos obtidos por Porto et al. (2001), que obtiveram 21.296,00 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de MF e 6.537,00 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS, considerando o material forrageiro da erva sal irrigada com 75 L de água de rejeito da dessalinização por planta por semana. Segundo Porto et al. (2000), de modo geral, as produtividades da erva sal têm variado de 5 a 15 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca, sendo a maioria dos resultados entre 6 e 8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, corroborando com o presente trabalho, sendo considerado um resultado compatível com diversas outras forrageiras irrigadas com água adequada para irrigação, como a alfafa. Barroso et al. (2006), utilizando efluente da criação de tilápias para a irrigação da *Atriplex*, obtiveram produtividades superiores às do presente estudo, variando o volume de efluente aplicado em 75 a 300 L por semana por planta, atingindo a produtividade máxima de 11.416,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS de material forrageiro.

Considerando as condições climáticas locais e sob a perspectiva ambiental da reutilização do rejeito da dessalinização, os resultados do presente trabalho apontam a *Atriplex nummularia* como sendo uma alternativa em potencial para a deposição do rejeito, proporcionando ao pequeno produtor a possibilidade de produção de forragem em épocas de seca, destinando para tanto, uma água de baixa qualidade, uma vez que a capacidade da erva sal em produzir material forrageiro sob estresse hídrico ficou bastante evidenciada neste estudo.

A alocação da Matéria Fresca deu-se em maior parte nas folhas (72,49%) do que no caule (27,51%), mostrando a maior capacidade produtiva da fração forrageira folha em relação aos ramos (Figura 10A), enquanto que para a Matéria Seca, a proporção do caule eleva-se para 39,03%, evidenciando a importância desta fração forrageira na composição final da matéria seca (Figura 10B).

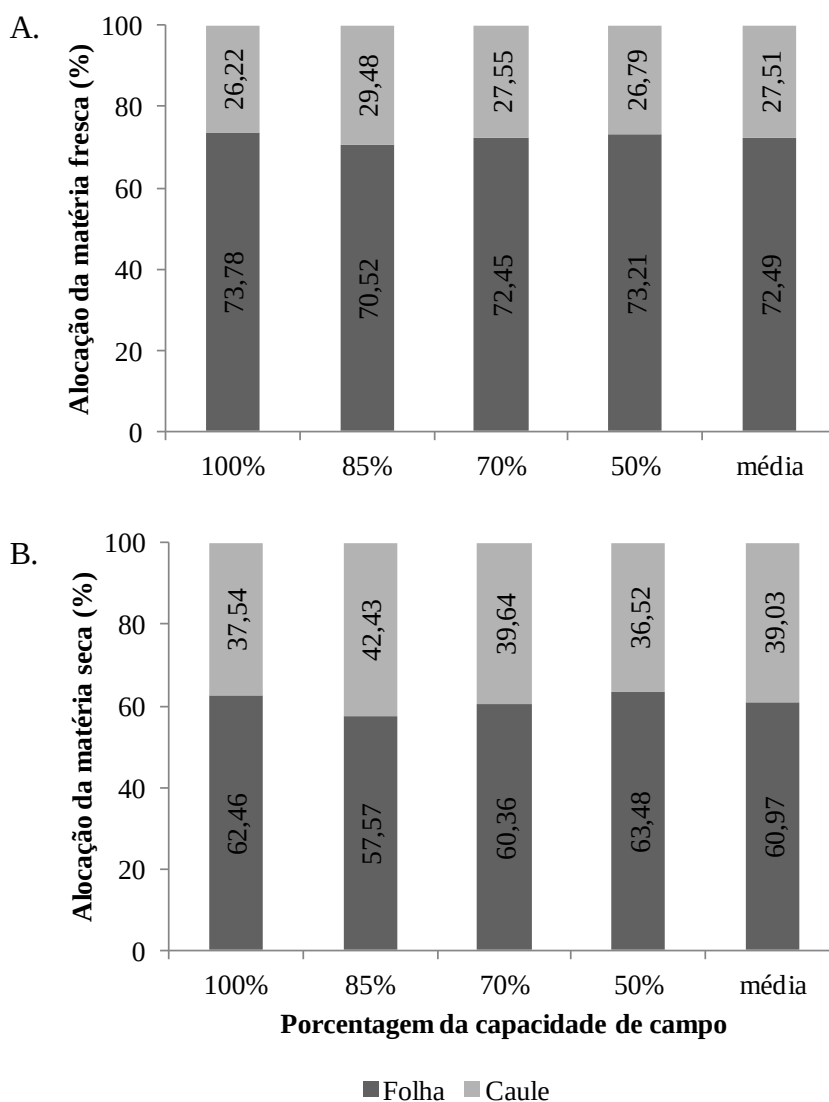


Figura 10. Alocação da matéria Fresca (A) e da Matéria Seca (B) da erva sal, nas frações forrageiras folha e caule.

Quanto ao solo, na Tabela 5, são apresentados os resultados das análises químicas do solo no início, metade e final do ciclo de produção da erva sal. Podemos observar uma elevação das concentrações dos íons no decorrer do experimento em relação aos níveis iniciais. Houve uma elevação na CE do solo, atingindo os maiores níveis ao final do ciclo. O sódio foi o íon predominante no solo em função de sua elevada concentração na água de rejeito salino utilizada na irrigação da erva sal, o que provocou elevação da PST do solo, mostrando que mesmo sendo uma planta com alto poder de extração e acumulação de sais, deve-se manejar adequadamente a irrigação da erva sal com a água de rejeito, com a finalidade de controlar a elevação do nível de salinidade do solo. Todavia, necessita-se de

novas investigações que busquem investigar de forma mais detalhada o processo fitorremediador da erva sal.

Tabela 5. Resultado das análises químicas do solo no início, metade e final do ciclo de produção da erva sal.

Época do cultivo	Prof. (cm)	Trat.	pH (água)	CE ¹ dS m ⁻¹	MO ² g kg ⁻¹	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB ³	(H+Al) ⁴	CTC ⁵	PST ⁶ %
Início	0 - 20	-	3,92	0,09	4,39	0,17	0,08	0,78	0,07	0,25	0,0	0,25	33,39
	20 - 40	-	3,80	0,05	4,55	0,12	0,06	0,73	0,08	0,17	0,0	0,17	32,41
		T1	7,47	0,82	4,64	0,07	1,27	2,77	1,33	5,43	0,0	5,43	23,31
		T2	7,50	1,01	10,37	0,10	1,71	4,89	1,70	8,40	0,0	8,40	20,35
Metade	0 - 20	T3	7,87	0,57	14,53	0,09	1,36	4,36	2,01	7,82	0,0	7,82	17,56
		T4	7,99	0,34	14,42	0,11	0,78	2,67	1,22	4,78	0,0	4,78	16,47
		T1	6,27	1,21	6,22	0,17	1,76	3,38	1,60	6,92	0,0	6,92	25,53
		T2	7,93	0,48	7,61	0,08	1,19	3,41	1,69	6,38	0,0	6,38	18,83
	20 - 40	T3	7,57	0,60	20,15	0,10	1,40	3,83	1,03	6,36	0,0	6,36	22,07
		T4	7,75	0,67	9,18	0,16	1,69	3,27	1,70	6,82	0,0	6,82	24,87
		T1	7,69	0,93	8,40	0,10	1,40	1,82	0,39	1,50	0,0	1,50	37,87
	0 - 20	T2	7,21	1,75	6,13	0,08	2,24	1,88	0,39	2,32	0,0	2,32	48,81
Final		T3	7,70	2,04	10,21	0,13	2,36	2,44	0,44	2,49	0,0	2,49	44,16
		T4	7,74	2,48	8,10	0,09	2,35	1,74	0,37	2,43	0,0	2,43	51,58
		T1	7,51	1,17	6,59	0,05	1,89	1,68	0,36	1,94	0,0	1,94	47,49
		T2	7,63	1,38	5,86	0,05	1,88	1,74	0,36	1,93	0,0	1,93	46,89
	20 - 40	T3	7,76	2,50	8,94	0,13	2,51	2,09	0,41	2,65	0,0	2,65	49,11
		T4	7,55	2,33	6,86	0,06	2,03	1,96	0,40	2,08	0,0	2,08	45,63

¹Condutividade elétrica; ²Matéria orgânica; ³SB = (K⁺+Na⁺+Ca²⁺+Mg²⁺); ⁴Acidez potencial;

⁵CTC = SB+(H+Al); ⁶PST = (Na⁺/CTC)*100

4.2 COMPOSIÇÃO MINERAL E EXTRAÇÃO DE SAIS

Os conteúdos de sais foram influenciadas significativamente pelos níveis de umidade do solo na qual foram submetidas as plantas, com exceção do K⁺ para o caule, porém, não houve efeito da adubação orgânica na quantidade de sais extraídos pela planta (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise da variância dos conteúdos de Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nas folhas e caule da erva sal.

FV	GL	QM									
		-----Folha-----					-----Caule-----				
		Cl^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Cl^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+
Níveis de umidade (NU)	3	357,02	100,52	4,23	1,33	3,58	15,65	2,23	0,53	0,01	199,3
Reg. linear	1	976,86**	282,82**	12,00**	3,78**	9,33*	46,52*	5,48**	1,53**	0,03**	71,75 ^{ns}
Reg. quadrática	1	5,18 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,057 ^{ns}	0,009 ^{ns}	0,846 ^{ns}	0,442 ^{ns}	0,681 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,00 ^{ns}	348,81 ^{ns}
Reg. cúbica	1	89,02 ^{ns}	18,557 ^{ns}	0,631 ^{ns}	0,216 ^{ns}	0,583 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,539 ^{ns}	0,075 ^{ns}	0,003 ^{ns}	177,346 ^{ns}
Resíduo (NU)	12	66,428	11,878	0,29407	0,202	1,226	5,102	0,572	0,056	0,003	614,816
Parcelas	15										
Adubação (A)	1	84,984 ^{ns}	8,012 ^{ns}	0,75427 ^{ns}	0,261 ^{ns}	2,586 ^{ns}	0,355 ^{ns}	0,329 ^{ns}	0,115 ^{ns}	0,002 ^{ns}	644,854 ^{ns}
Interação (NU) x (A)	3	112,113 ^{ns}	16,571 ^{ns}	0,552 ^{ns}	0,258 ^{ns}	3,018 ^{ns}	5,049 ^{ns}	1,124 ^{ns}	0,136 ^{ns}	0,005 ^{ns}	668,801 ^{ns}
Resíduo (A)	2	75,57	18,419	0,732	0,217	1,263	6,074	0,633	0,186	0,004	359,11
TOTAL	31										
CV% (NU)		29,76	30,44	22,49	33,49	35,85	46,38	43,11	31,16	44,39	45,96
CV% (A)		31,74	37,9	35,49	34,73	4,57	50,6	45,34	56,57	50,65	35,12

** significativo a 0,01 de probabilidade; * significativo a 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Analizando a composição mineral do tecido vegetal da *Atriplex nummularia*, podemos observar que a mesma possui uma enorme capacidade na extração de sais do solo e que os valores decresceram em função dos tratamentos aplicados, ou seja, as concentrações dos elementos no tecido vegetal foram reduzindo à medida que a umidade do solo também foi mantida em níveis menores (Tabela 7), mostrando que a umidade do solo influencia no padrão de extração de sais da erva sal.

De maneira geral, os elementos extraídos em maiores quantidades foram o Cl^- e o Na^+ . A extração dos elementos seguiu a seguinte ordem decrescente, para todos os tratamentos: $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$. O mesmo resultado foi relatado por Melo et al. (2010); Souza et al. (2011) e Araújo (2009). Os dados mostram que as folhas possuem uma maior capacidade de extração de sais do que o caule. Leal et al. (2008), observou uma acumulação média de 109,7 g kg⁻¹ de Na na folha da erva sal aos 130 dias de cultivo. Já Watson & O'leary (1993), observaram teores de 64,2; 75,3; 71,1 e 68,8 g kg⁻¹ de Na^{2+} em quatro cultivos consecutivos da erva sal, valores condizentes com os observados nesta pesquisa, comprovando o grande potencial da *Atriplex nummularia* em extrair o Na do solo,

pelo fato de sua acumulação ocorrer em maior parte nas folhas (86,53% do total extraído), permite a retirada deste elemento do ambiente através da colheita.

Tabela 7. Teores médios de Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nas folhas e caule da *Atriplex nummularia* irrigada com rejeito da dessalinização com o solo mantido em diferentes níveis de umidade com base na capacidade de campo.

Tratamento	-----Folha-----					-----Caule-----				
	g kg ⁻¹									
	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Cl^-
T1	17,14	14,04	7,78	65,23	147,6	12,38	7,17	1,22	15,09	46,0
T2	16,58	14,06	7,80	66,83	159,9	12,61	6,38	1,12	15,64	37,9
T3	17,89	13,67	7,42	61,26	160,4	13,11	6,82	1,14	15,54	45,1
T4	20,02	13,55	7,24	59,55	158,1	15,61	7,12	1,15	14,56	42,4
Média Geral	17,91	13,83	7,56	63,22	156,5	13,43	6,87	1,16	15,21	42,8

Os conteúdos de sais extraídos de todos os elementos analisados foram muito próximos nos tratamentos T1 (100% da CC) e T2 (85% da CC), sendo superiores aos demais tratamentos T3(70% da CC) e T4(50% da CC), ocorrendo em maior magnitude nas folhas do que no caule, em todo caso, ocorreram reduções das quantidades extraídas por planta em função da umidade do solo na qual foram submetidas (Figura 11). Para o Cl^- , a quantidade acumulada atingiu o máximo de 33,65 g planta⁻¹ no T1, sendo o tratamento de maior potencial de extração de sais em função do melhor desempenho produtivo promovido pela manutenção da umidade do solo à CC.

A contribuição das folhas para o total extraído pela planta foi maior para o Mg^{2+} (91,02% do total extraído), seguido do Na^+ (86,53%) e Cl^- (85,00%). De acordo com Glenn et al. (1998), a formação de cristais de sais que aderem-se às folhas, ajudam na economia de água pela *Atriplex*, através da reflexão da radiação solar, reduzindo assim, a temperatura da folha e mantendo as células túrgidas. Um dos fatores mais importantes que conferem a tolerância desta planta à salinidade é o desenvolvimento de mecanismos especializados de acumulação de sais no interior da planta, sendo que a maior acumulação de sais ocorre nas folhas da *Atriplex* (PORTO et al., 2000).

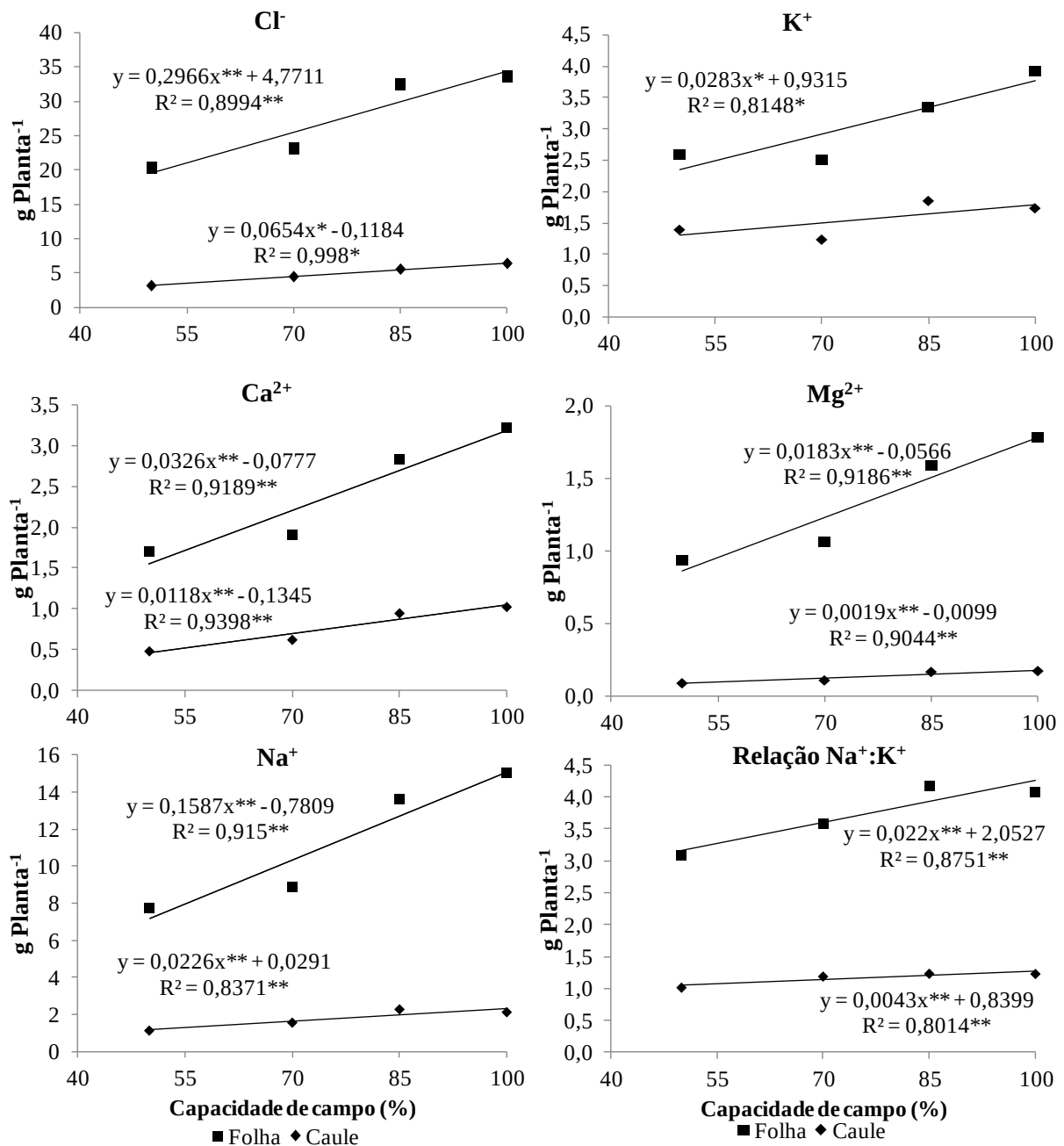


Figura 11. Teores de Cl⁻, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e relação Na⁺: K⁺, no tecido vegetal da *Atriplex nummularia* em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.

As quantidades de Cl⁻ extraídos pela erva sal, atingiram 598,25 e 577,76 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na folha para os tratamentos a 100% da CC (T1) e 85% da CC (T2), respectivamente, sendo o elemento de maior extração pela planta em relação aos demais, atingindo mais que o dobro do Na, segundo elemento mais extraído, sendo que o mesmo resultado foi observado para o caule (Tabela 8). De toda forma, mesmo para os tratamentos onde a umidade do solo foi mantida

em níveis menores (T3 e T4), as quantidades de sais extraídos foram consideráveis. Com relação aos demais elementos, no T1 foram extraídos pelas folhas 69,62; 57,11; 31,73 e 267,54 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺, respectivamente. Vasconcelos (2011) relatou quantidades extraídas pelas folhas de 341,1; 67,2; 53,4 e 493,9 kg ha⁻¹ para K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺, respectivamente.

Tabela 8. Estimativa da quantidade de sais extraídos pelas erva sal irrigada com rejeito da dessalinização em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.

Tratamentos	-----Folha-----					-----Caule-----				
	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹									
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻
T1	69,62	57,11	31,73	267,54	598,25	30,87	18,11	3,05	37,47	113,23
T2	59,54	50,34	28,25	241,73	577,76	32,94	16,73	2,94	40,20	98,35
T3	44,51	33,89	18,86	158,13	410,34	21,97	10,94	1,90	27,42	79,01
T4	46,01	30,12	16,63	137,83	361,21	24,77	8,45	1,55	19,78	55,77
Média Geral	54,92	42,87	23,87	201,31	486,89	27,64	13,56	2,36	31,22	86,59

Considerando a somatória dos sais nos tratamentos no total da planta (folhas + caule), a quantidade de sais média extraídos foi da ordem de 971,23 kg ha⁻¹ ano⁻¹, ou seja, quase 1 tonelada de sais seriam extraídos do solo nas condições deste experimento pela erva sal, sendo a contribuição das folhas neste total de 83%. Porto et al., (2001), cultivando a erva sal durante um ano com água de rejeito da dessalinização, relatou uma quantidade extraída pela planta de 1.053,00 kg ha⁻¹ de sais. Segundo este mesmo autor, em razão da capacidade de assimilação de sais da *Atriplex nummularia*, existe uma motivação para sua utilização como recuperadora de áreas salinizadas, por parte dos pesquisadores.

A partir disto, podemos colocar a erva sal como uma alternativa viável quanto à reutilização do rejeito salino produzido nas estações de tratamento por osmose reversa nas diversas localidades equipadas com tais equipamentos, evitando a deposição do rejeito de forma indiscriminada. Vale salientar ainda que, o potencial fitoextrator de sais da erva sal fica comprovado com os resultados deste experimento, porém, outros estudos que avaliem o balanço de sais do sistema solo-água-planta, em diversas condições de manejo da irrigação e de solo devem ser realizados com a finalidade de definir com maior clareza as implicações oriundas da utilização de águas com altos teores de sais, como é o caso do rejeito, para a irrigação da *Atriplex*.

4.3 QUALIDADE DO MATERIAL FORRAGEIRO

As frações forrageiras analisadas, folha e caule, apresentaram-se pouco sensíveis aos níveis de água no solo as quais foram submetidas, uma vez que, para o caule, das variáveis da composição bromatológica, apenas a matéria seca (MS) sofreu efeito significativo ($P > 0,05$), já para a fração folha, com exceção da proteína bruta (PB), todas as demais variáveis foram influenciadas significativamente pela variação da umidade do solo (Tabela 9). A adubação não influenciou significativamente nenhuma das variáveis analisadas para folhas e caule (Tabela 9).

Tabela 9. Resumo da análise da variância das variáveis proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e matéria seca (MS) das folhas e caule da erva sal.

FV	GL	QM							
		-----Folha-----				-----Caule-----			
		PB	MM	MO	MS	PB	MM	MO	MS
Níveis de umidade (NU)	3	1,405	1,376	1,376	2,585	4,124	0,142	0,142	15,9376
Reg. Linear	1	3,142 ^{ns}	3,976 ^{ns}	3,976 ^{ns}	4,886 ^{ns}	5,450 ^{ns}	0,192 ^{ns}	0,192 ^{ns}	1,327 ^{ns}
Reg. quadrática	1	0,757 ^{ns}	0,00004**	0,00004**	1,094 ^{ns}	6,317 ^{ns}	0,114 ^{ns}	0,114 ^{ns}	41,142*
Reg. cúbica	1	0,315 ^{ns}	0,15295	0,15245	1,774	0,605 ^{ns}	0,119 ^{ns}	0,119 ^{ns}	5,3435 ^{ns}
Resíduo (NU)	12	3,486	1,619	1,619	2,353	2,554	1,062	1,062	5,629
Parcelas	15								
Adubação (A)	1	0,457 ^{ns}	1,024 ^{ns}	1,024 ^{ns}	3,134 ^{ns}	0,14954 ^{ns}	0,165 ^{ns}	0,165 ^{ns}	1,879 ^{ns}
Interação (NU) x (A)	3	5,492 ^{ns}	0,443 ^{ns}	0,443 ^{ns}	1,313 ^{ns}	3,489 ^{ns}	0,704 ^{ns}	0,704 ^{ns}	12,202 ^{ns}
Resíduo (A)	2	3,56	1,071	1,071	0,701	4,548	1,207	1,207	6,575
TOTAL	31								
CV% (NU)		12,54	4,23	1,82	29,52	30,97	11,38	1,13	34,92
CV% (A)		12,68	3,44	1,48	33,35	41,32	12,14	1,21	42,89

** significativo a 0,01 de probabilidade; * significativo a 0,05 de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Os teores de Proteína Bruta (PB) nas folhas foram, para todos os tratamentos, próximos de 15% de PB (Tabela 2), mostrando que a erva sal possui boa qualidade forrageira. Estes valores estão de acordo com os de Barroso et al. (2006), que obteve um máximo de 15,79% aos 12 meses após o plantio e estão acima dos obtidos por Watson e O'leary (1993). Por outro lado, Carvalho Junior et al. (2010) e Porto et al. (2004) relataram teores médios de PB de das folhas de 18,7% e 18,5%, respectivamente, confirmando que as folhas da erva-sal são detentoras de bons teores de proteína bruta e podem ser comparados com as de algumas

leguminosas e outras espécies frequentemente utilizadas na alimentação animal, como a leucena, gliricídia, guandu forrageiro e a maniçoba que, em geral, normalmente apresentam entre 12 e 22% de proteína bruta (CARVALHO JUNIOR et al., 2010). Já para o caule, os teores de PB foram inferiores em comparação com as folhas (Tabela 10), e abaixo dos obtidos por Barroso et al., (2006). De modo geral, os resultados de PB evidenciam as boas características da Atriplex como forrageira, mesmo em condições de baixa umidade do solo, permitindo sua utilização na alimentação dos rebanhos em regiões de frequente escassez de chuvas, como é o caso da região semiárida brasileira, uma vez que o conteúdo crítico para o consumo animal é de 7% de PB na matéria seca. Para um bom desempenho de vacas em lactação, a forragem deve conter, aproximadamente, 15% de PB e, para animais em crescimento, o nível de 11 a 12% é aceitável (WHITEMAN, 1980).

Tabela 10. Proteína bruta (PB), matéria mineral (MM), matéria orgânica (MO) e matéria seca (MS) da erva sal em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.

Tratamentos	-----Folha-----				-----Caule-----			
	%							
	PB	MM	MO	MS	PB	MM	MO	MS
T1	14,36	30,53	69,47	22,20	4,99	8,98	91,02	36,74
T2	14,77	30,34	69,66	21,76	4,72	9,04	90,96	38,09
T3	15,31	29,84	70,16	22,74	4,72	8,95	91,05	39,01
T4	15,11	29,65	70,35	23,04	6,22	9,24	90,76	35,83
Média Geral	14,89	30,09	69,91	22,43	5,16	9,05	90,95	37,42

Os teores de Matéria Mineral (MM) foram elevados nas folhas (Tabela 10), ocorrendo um efeito quadrático para esta variável em função dos tratamentos (Figura 12 A). O solo mantido a 100% da CC (T1), apresentou maior teor de MM (30,53%), confirmando a enorme capacidade da atriplex em extrair sais do solo, sendo este o principal elemento que proporciona a eliminação dos sais. Por outro lado esta grande capacidade de acumulação de sais no tecido foliar, é tida como uma das principais limitações da utilização da erva sal como forrageira, sendo necessário limitar a proporção de erva sal na composição da alimentação dos animais, pois altas proporções podem levar à rejeição da planta pelo rebanho. Souto et al., (2005), ministrando aos ovinos uma dieta com 38,30% de feno de erva sal, proporcionou um ganho médio diário de 145 g/dia aos animais.

A matéria orgânica (MO) das folhas sofreu efeito quadrático, comportando-se de forma inversa à MM, com o tratamento de menor umidade do solo (T4) possuindo a maior

proporção de MO (70,35%) (Figura 12 B). Para o caule os níveis de MO foram superiores a 90% para todos os tratamentos (Tabela 10). Estes dados estão em concordância com os de Carvalho Junior et al., (2010). Quanto a MS das folhas, foram diminuindo à medida que aumentou a umidade do solo nos tratamentos, efeito contrário ao observado na MS do caule, onde os tratamentos T2 e T3 foram superiores (Figura 13), todavia, os valores para as folhas foram menores que os valores de MS obtidos para o caule (Tabela 2). Contudo, os valores de MS das folhas e caules, semelhantes aos colocados no trabalho, são apresentados em Porto et al. (2000).

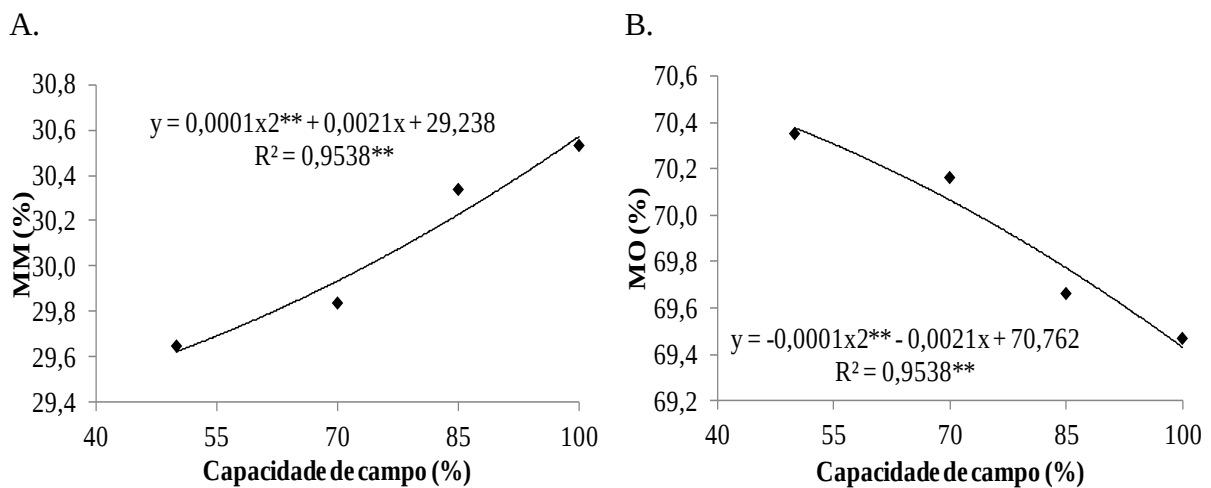


Figura 12. Comportamento da matéria mineral (MM) (A) e da matéria orgânica (MO) (B) da folha da erva sal em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.

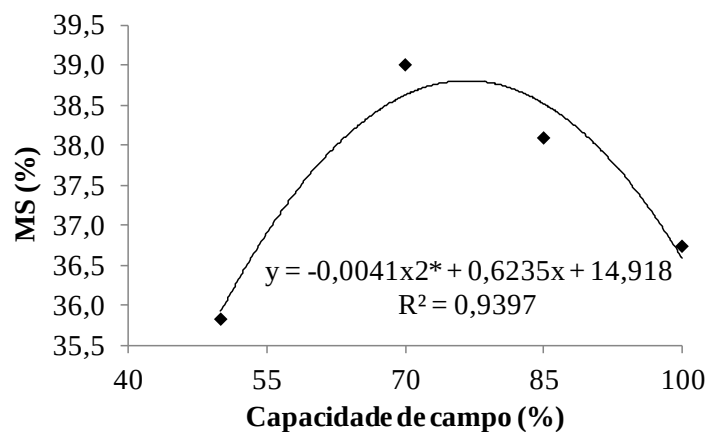


Figura 13. Comportamento da matéria seca (MS) do caule da erva sal em função dos diferentes níveis de umidade em que foi mantido o solo com base na capacidade de campo.

5 CONCLUSÕES

A erva sal possui boa capacidade de rebrota considerando seu crescimento vertical (AP) e radial (DC) após três meses de cultivo.

A produção de matéria fresca e seca total da erva sal sob um nível de 85% de umidade solo em relação à sua capacidade de campo, apresentaram apenas 5,74 e 3,54%, respectivamente, de perdas de rendimento, todavia, mostrou-se também produtiva mesmo com o solo mais seco.

As produtividades, fresca e seca total estimada atingiram respectivamente, 5.689,62 e 1.624,00 kg ha⁻¹, para o tratamento testemunha, utilizando o rejeito da dessalinização na irrigação da erva sal, mostrando sua viabilidade para a produção de forragem.

As erva sal possui elevada capacidade de extração de sais do solo, sendo o tecido foliar o principal mecanismo de armazenamento dos sais, principalmente o Cl⁻ e o Na⁺, que atingiram teores de 156,5 e 63,23 g kg⁻¹ em média.

A quantidade total de sais extraídos do solo pela erva sal, somando-se o extraído pelas folhas e pelo caule, quando estimada para um ano, foi de 971,23 kg ha⁻¹ ano⁻¹, evidenciando a capacidade fito-extratora da erva sal, compatibilizando-se com a problemática da deposição do rejeito da dessalinização.

A *Atriplex nummularia* apresentou boa qualidade bromatológica para todos os tratamentos, principalmente em relação aos teores de proteína bruta, que atingiu 14,89% em média.

A erva sal não respondeu à adubação orgânica em nenhuma variável analisada.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, M. A. A. & SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez, V.; Schaefer, C. E. (Eds). Tópicos em Ciência do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa: UFV, 2000, v.1, p. 299 – 352.
- AKHTER, J.; MAHMOOD, K.; MALIK, K. A.; AHMED, S. & MURRAY, R. Amelioration of a saline sodic soil through cultivation of a salt-tolerant grass. *Leptochloa fusca*. **Environmental Conservation**. 30: 168 – 174, 2003.
- ALVES, J. N.; ARAÚJO, G. G. L.; PORTO, E. R.; CASTRO, J. M. C.; SOUZA, L. C. Feno de Erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl) e Palma Forrageira (*Opuntia ficus* Mill.) em dietas para caprinos e ovinos. **Revista Científica de Produção Animal**, Teresina, v. 9, n. 1, p. 43-52, 2007.
- AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R.; SILVA JÚNIOR, L. G. A.; LIBERAL, G. S. Efeitos de sais no solo provenientes de rejeitos da dessalinização por osmose inversa no semi-árido pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 26, 1997, Campina Grande, PB. **Resumos...** Campina Grande, UFPB, 1997. (CD).
- AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R.; ARAÚJO, O. J.; SILVA JÚNIOR, L. G. Alternativas de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa: evaporação solar e meio líquido para cultivo de tilápia Koina (*Oreochromis* sp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Saneamento ambiental: Desafios para o século 21. João Pessoa: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2001. 1 CD-ROM.
- AMORIM, M.C.C.; PORTO, E. R.; SILVA JÚNIOR, L. G. A. **Evaporação solar como alternativa de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa**. <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-007.pdf>. 10 Jul. 2004.
- ANDRADE, C.L.T.; FREITAS, J.A.D; LUZ, L.R.Q.P. Características físico-hídricas de solos arenosos de tabuleiros litorâneos. In: 9º Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Natal. Anais, ABIS. p.1069-1095, 1991.
- ARAUJO, O J. de; PORTO, E.R. **Cultivo de tilápia rosa (*Oreochromis* sp.) em água de rejeito de dessalinizadores**. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 1999. Não paginado, il. (Embrapa Semi-Árido. Instruções Técnicas; 23).
- ARAUJO, G. G .L.; PORTO, E. R. Produção e composição química de erva sal, irrigada com rejeito da dessalinização de água salobra. In: CONGRESSO NORDESTINO DE PRODUÇÃO ANIMAL, 2.; SIMPÓSIO NORDESTINO DE ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES, 8., 2000, Teresina. **Anais...** Teresina: Sociedade Nordestina de Produção Animal, 2000. v.2, p. 115-117.
- ARAÚJO, R. F. S. S. **Avaliação nutricional e função renal de ovinos alimentados com feno de erva-sal (*Atriplex nummularia*) e farelo de milho em substituição a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* mill)**. Recife: UFRPE, 2009. 46p. Dissertação de Mestrado.

ARAUJO, S. A. M. **Uso eficiência de macronutrientes e água em erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl.) expostas a níveis crescentes de NaCl e ciclos de seca.** Fortaleza: UFC, 2006. 126p. Dissertação Mestrado.

ARAÚJO, S. A. M.; SILVEIRA, J. A. G.; ALMEIDA, T. D.; ROCHA, I. M. A.; MORAIS, D. L.; VIÉGAS, R. A. **Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. grown under increasing NaCl Levels.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2006, v.10, n.4, p.848-854.

ASSOCIAÇÃO DOS GEÓGRAFOS BRASILEIROS. **Embrapa utiliza rejeito de dessalinizadores para criar peixes e caprinos.** <http://geocities.yahoo.com.br/agbcg/dessali.htm>. 10 Jul. 2004.

AYERS, R.S. Quality of water for irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, Nova Iorque, n.103, p.135 -154, 1977.

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura.** Tradução de Gheyi, H.R.; Medeiros, J.F; Damasceno, F.A.V. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29).

BARROSO, D. D.; ARAÚJO, G. G. L.; PORTO, E. R.; PORTO, F. R. Produtividade e Valor Nutritivo das Frações Forrageiras da Erva-sal (*Atriplex nummularia*) irrigada com quatro diferentes volumes de efluentes da criação de tilápia em águas salobras. **Agropecuária Técnica**. 2006, v.27, n.1, p. 43-48.

BEN SALEM, H.; NEFZAQUI, A.; BEN SALEM, L. Spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) and oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) as alternative supplements for growing Barbarine lambs given straw-based diets. **Small Ruminant Research**, v.51, p. 65 – 73. 2004.

BEN SALEM, H.; NORMAN, H. C.; NEFZAQUI, A.; MAYBERRY, D. E.; PEARCE, K. L. & REVELL, D. K. Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lind.) in sheep and goat feeding. **Small Ruminant Research**. Doi:10.1016/j.smallrumres.2009.10.017, 2010.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 6. ed. Viçosa: UFV, 1995.

BOEGLI, W. J.; THULLEN, J. S. **Eastern municipal water district to treatment/saline vegetated wetlands pilot study:** Final report. Denver, Colorado: U.S. Department of the Interior; Bureau of Reclamation, 1996. 116 p. il. (Water Treatment Technology. Program Report; 16).

CAMPBELL E.G.; MATTHEWSON W.J. Optimizing germination in *Atriplex nummularia* Lind. for commercial cultivation. **South African Journal Botany**, v.58, n.6, p. 478-481. 1999.

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** (Online), v. 14, p. 1045-1051, 2010.

CRUCIANI, D. E. **A drenagem na agricultura**. 4. ed. São Paulo: Nobel, 1989, 337 p.

DIAS, N. S.; BLANCO, F.F. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F.. (Org.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: : Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010, v. , p. 133-144.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa – SPI, 1999. 412p.

ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da Salinidade Sobre as Plantas. **Oecologia Brasiliensis**, v,12. n, 4, p. 662-679, 2008.

FAO. Estudios **de case de espécies vegetales para zonas áridas y semiáridas de Chile y México**. Santiago: Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe, 1996. 143p. il. FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Zonas Áridas y Semiáridas, 10.

FERREIRA, M.M.; MARCOS, Z.Z. Estimativa da capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico e Regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. **Ciência e Prática**. 1983. 7:96-101.

FLOWER, T. J.; TROKE, P.F.; YEO, A.R. **The Mechanism of Salt Tolerance in Halophytes**. Annual Review of Plant Physiol., Palto Alto, v. 28 p. 89-121, 1977.

FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. **Salinity tolerance in halophytes**. New Phytologist, 179: 945 – 963, 2008.

FURTADO, D.A.; CARVALHO JÚNIOR, S.B.; LIMA, I.S.P.; COSTA, F.G.P.; SOUZA, J.G.; Desempenho e características de carcaça de aves caipiras alimentadas com feno de erva-sal (*Atriplex nummularia* Lindl). **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n. 3, p. 182-189, jul-set, 2011.

GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Prevenção, manejo e recuperação dos solos salino e sódico. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, **Anais**. NATAL: ABID, 1991, 67p.

GLENN, E. P.; BROWN, J. J. Effects of soil salt levels on the growth and water use efficiency of *Atriplex canescens* (Chenopodiaceae) varieties in drying soil. **American Journal of Botany**, v.85, p.10–16, 1998.

GUANAES, N.O. **Dessalinização de água subterrânea**. Abas Informa. 2001. p.22.

IPA - Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Atriplex: uma nova forrageira para solos salinizados do semi-árido nordestino**. Em: < <http://www.ipa.br/resp11.php>>. Acesso em: 13 de fev. 2013.

JUAN, J.A.M.S. **Desalación de aguas salobres y de mar. Osmose inversa**. Madrid: Mundi-Prensa, 2000.395p.

KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. cap.6, p.146-186: Development of root system.

LAUCHI, A.; EPSTEIN, E. Mechanisms of salt tolerance for plants. **California Agriculture, Oakland**, v.38, n.10, p.18-20, 1984.

LEAL, I. G.; ACCIOLY, A. M. A.; FREIRE, G. S.; MONTENEGRO, A. A. A., FERREIRA, F. L. Fitorremediação de solo salino sódico por *Atriplex nummularia* e gesso de jazida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1065 – 1072, 2008.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: EDUSP. 2005. 344p.

LIMA, L. A.; GRISMER, M. E.; NIELSEN, D. R. 1990. Salinity effects on Yolo loam hydraulic properties. **Soil Science** 150(1):451-458.

LIMA, L. A.; GRISMER, M. E. 1992. Soil crack morphology and soil salinity. **Soil Science** 153(2):149-153.

LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Simpósio “Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada”. XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Campina Grande - PB. pp.113-136. 1997.

LIMA, V. L. A. **Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de lisímetro de drenagem**. Viçosa: UFV, 1998. 87 p. Tese de Doutorado.

LISBOA, R. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M.; LEVIENS, S. L. A.; SILVA JÚNIOR, M. J.; ALVES, L. P.; NOGUEIRA, F. C. Características hidrodinâmicas dos poços do aquífero do calcário Jandaíra situados na região de maior concentração de áreas irrigadas da Chapada do Apodi. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 5, 2000, Natal. **Anais...** Natal: ABRH, 2000, v. 1, p.16-22.

MAAS, E.V. **Crop tolerance to saline sprinkling water**. Plant and Soil, n.89, p.273-84, 1985.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Editora agronômica CERES. São Paulo. 251p. 1980.

MELO, H. F.; SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; MELO, D. V. M.; LINS, C. M. T. Teores de Ca, Mg, K, Na e Cl em plantas de *Atriplex nummularia* cultivadas em campo.. In: **X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 2010, Recife - PE. X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2010.

MELLO, C.R.; OLIVEIRA, G.C.; RESCK, J.M.L.; JUNIOR, M.S.D. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência Agrotécnica**, 26:836-841, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Água doce**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce>>. Acesso em: 24 de jun. 2013.

MONTENEGRO, A. A. de A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MARINHO, I.; SILVA, V. de P.; SILVA, A. A. e J. G. da. Uso de água subterrânea salina em halófitas no semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.8, n.2, 2003, p. 75 – 84.

MORENO, G.M.B.; BORBA, H.; ARAUJO, G.G.L. et al. Consumo de nutrientes de cordeiros Santa Inês alimentados com níveis de feno de erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) e concentrado. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.3, p.276-281, 2011.

NOBLE, R.D.; STERN, S.A. **Membrane Separations Technology – Principles and Applications**. Editado por NOBLE, R.D., STERN, S.A., 1995, p.718.

NUNES FILHO, J. **El mejoramiento de suelos sódicos y aguas bicarbonatadas, utilizando yeso agrícola en diferentes láminas de aplicación**. Texcoco: Colégio de Postgraduados, 1984. 229p. Disertación Maestria.

O'LEARY J. W. **The role of Halophytes irrigated Agriculture**. In: Potential roles of Halophytes. Cap. 16, p. 285–300, 1990.

OLIVARES, A. **Los arbustos del género Atriplex y su importância como espécies forrageras**. In: Actas del encuentro del estado de lãs investigaciones sobre manejo silvopastoral em Chile. Proyecto CONAF/PNUD/FAO. Talca, Universidad de Talca, Dptº Ing. Florestal. p. 5 – 13, 1983.

PESSOA, L. C. C. **Análise de desempenho e do impacto ambiental dos dessalinizadores por osmose reversa**. Fortaleza: UFC, 2000. 94p. Dissertação Mestrado.

PESSOA, L.C.C. **Análise do desempenho do impacto ambiental de dessalinizadores por osmose reversa instalados no interior do Ceará**. Dissertação, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade federal do Ceará. Fortaleza, 2006.

PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos. 2.ed. Madrid: **Editorial Española S.A.**,1985. 542p.

PORTO, E. R.; AMORIM, M.C. de.; DUTRA, M. T.; PAULINO, R. V.; BRITO, L. T.; MATOS, A. N. D. Rendimento da *Atriplex nummularia* irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.97-103, 2006.

PORTO, E. R.; DUTRA, M. T.; AMORIM, M. C.; ARAÚJO, G. G. L. Uso da erva-sal (*Atriplex nummularia*) como forrageira irrigada com água salina. **Circular Técnica da Embrapa Semi-árido**. Petrolina – PE. EMBRAPA Semi-árido, n.53, 2000.

PORTO, E. R.; ARAÚJO, G. G. L. Erva Sal (*Atriplex nummularia*). EMBRAPA SEMIÁRIDO. **Instruções Técnicas nº 22**. Petrolina, PE. 1999.

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; ARAÚJO, O. J. Potencialidades da erva-sal (*Atriplex nummularia*) irrigada com o rejeito da dessalinização de água salobra no semi-árido brasileiro como alternativa de reutilização. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**; de 03 a 08 de Dezembro/00 – Porto Alegre-RS. 2000.

PORTO, E. R. et al. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.111-114, 2001.

PORTO, E. R. et al. **Potencialidades da erva-sal (*Atriplex nummularia*) irrigada com o rejeito da dessalinização de água salobra no semi-árido brasileiro como alternativa de reutilização**. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaidis/aresidua/x-003.pdf>. 2004.

QADIR, M.; OSTER, J. D.; SCHUBERT, S.; NOBLE, A. D. & SAHRAWAT, K. L. Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. **Advances in Agronomy**, 96:197 – 247, 2007.

RENGASAMY, P. World salinization with emphasis on Australia. **Journal of Experimental Botany**, 57:1017 – 1023, 2006.

REICHARDT, K. 1988. Capacidade de campo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**. 1998. 12:211-216.

RICHARDS, L.A. Pressure-membrane apparatus, construction and use. **Agronomy Engineering**, 1947. 28:451-454.

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.

RUSSO, D.; BRESLER, E. Scaling soil hydraulic properties of a heterogeneous field. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 44(4):681-684. 1980.

SILVA, D. J. S.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SOARES, T. M.; SILVA, I. J. O.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.730-737, 2006.

SOARES, T. M. **Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro**. 2007. 267f. Tese doutorado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007

SOUZA, E. R. **Fitorremediação de neossolo flúvico sódico salino de Pernambuco com *Atriplex nummularia***. Recife: UFRPE, 2010. 77p. Tese de doutorado.

SOUZA, E. R.; FREIRE, M. B. G. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; MONTENEGRO, A. A. A.; FREIRE, F. J.; MELO, H. F. Fitoextração de sais pela *Atriplex nummularia* Lindl. sob estresse hídrico em solo salino sódico. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 15, n. 5, May 2011.

SOUTO, J. C. R. et al. Desempenho produtivo de ovinos alimentados com dietas contendo níveis crescentes de feno de erva sal (*Atriplex nummularia* Lindl). **Revista Ciência Econômica**. 2005, v.36, n.3, p. 376-381.

SHARMA, M. L.; TONGWAY, D.J. Plant induced soil salinity patterns in two saltbush (*Atriplex* spp.) communities. **Journal of range management** 26 (2), march, 1973.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VASCONCELLOS, E. B. C. **Dinâmica da água e dos nutrientes no sistema de produção integrado gerado pela dessalinização da água de poço do semiárido brasileiro**. Piracicaba: ESALQ, 2011. 101p. Dissertação de Mestrado.

WATSON, M. C.; O'LEARY W. O. Performance of *Atriplex* species in the San Joaquin valley, California, under irrigation and with mechanical harvests. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 1993. 43: 255 – 266

WHITEMAN, P. C. **Tropical pasture science**. Oxford: Oxford University Press, 1980. 392 p