

CHRISTIANO REBOUÇAS COSME

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA SALOBRA NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE
MOSSORÓ-RN

MOSSORÓ

2011

CHRISTIANO REBOUÇAS COSME

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA SALOBRA NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE
MOSSORÓ-RN

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

2011

Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFERSA

C834a	Cosme, Christiano Rebouças. Avaliação da qualidade da água proveniente das estações de tratamento de água salobra na zona rural do município de Mossoró-RN. / Christiano Rebouças Cosme. -- Mossoró, 2011. 74f.: il. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem : Área de concentração: Impactos da irrigação e da fertirrigação no solo e na planta) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pós-Graduação. Orientador: Prof. D.Sc. Nildo da Silva Dias 1.Salinidade. 2.Irrigação.3.Águas salobras. I. Título. CDD:631.7
-------	--

Bibliotecária: Vanessa Christiane Alves de Souza

CHRISTIANO REBOUÇAS COSME

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE DE ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ÁGUA SALOBRA NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE
MOSSORÓ-RN**

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: ____/____/____.

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

D. Sc. Prof^ª. Vania Christina Nascimento Porto (UFERSA)
Conselheiro

D. Sc. Prof^ª. Waleska Martins Eloi (IFCE)
Conselheiro

Dedico este trabalho com muito amor e carinho a meus pais Maria Marineide Rebouças e Antônio Cosme Filho, como agradecimento ao apoio, carinho, e dedicação durante toda a minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela proteção e saúde que sempre me ofereceu.

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

Aos colegas de turma que caminharam ao meu lado durante esta jornada.

Aos amigos que me auxiliaram na construção deste trabalho, e em especial, agradeço a Osvaldo Nogueira, por todo seu apoio.

A minha amada noiva, Edymara Sinthia, pela sua enorme dedicação, estando sempre ao meu lado em todos os momentos difíceis.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, que sempre buscam transmitir o melhor para os discentes.

As professoras Vania Porto e Waleska Eloi, pelas contribuições a este trabalho.

Ao meu amigo e orientador professor Nildo da Silva Dias, que sempre me apoiou e ensinou a trilhar o caminho correto dentro de minha vida acadêmica.

Ao CNPQ pela bolsa e financiamento da pesquisa.

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

RESUMO

COSME, Christiano Rebouças. **Avaliação da qualidade da água proveniente de estações de tratamento de água salobra na zona rural do município de Mossoró, RN.** 2011. 74f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2011.

No Brasil, principalmente na região semiárida, um grande desafio é promover o abastecimento de água às famílias residentes nas áreas rurais. As águas subterrâneas são apontadas como uma alternativa viável para garantir o acesso das comunidades rurais do nordeste à água, a partir de investimentos públicos na perfuração de poços tubulares. Entretanto, essas fontes hídricas apresentam na maioria dos casos restrições de uso para dessedentamento humano, por apresentarem problemas de salinidade. A tecnologia da osmose reversa tem sido amplamente utilizada para o tratamento da água salobra, com experiências de êxito na maioria das localidades aonde têm sido implantadas as unidades de tratamento de água por dessalinização. Muitas comunidades rurais de Mossoró, RN, são abastecidas com água proveniente do aquífero Jandaíra, de elevada concentração de sais, a qual é tratada em dessalinizadores, possibilitando sua utilização para consumo humano. Nessas comunidades, o rejeito do processo da dessalinização não está recebendo qualquer tratamento ou destinação adequada, sendo despejado diretamente no solo e, quando utilizados na irrigação de culturas não há qualquer fundamentação técnico-científica para o seu uso, causando problemas de salinização nos solos. Devido aos impactos causados pelo uso de águas salobras ou de rejeito salino na irrigação no solo, para viabilizar a sua utilização deve-se sempre adotar algumas práticas especiais de manejo da água e do solo para o controle da salinidade. Sendo a maioria das culturas exploradas na região classificadas como sensíveis a moderadamente sensíveis à salinidade, surge a necessidade de melhor caracterizar essas águas, para se estabelecer o manejo adequado das plantas, solo e sistemas de irrigação. Assim, o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade da água para fins de irrigação de comunidades rurais de Mossoró, abastecidas com águas salobras provenientes de poços tubulares, dotados de dessalinizadores, fornecendo estas informações como uma ferramenta de auxílio para o manejo adequado da utilização destas águas na irrigação. Foram selecionadas 30 comunidades rurais para realização das coletas de amostras das águas do rejeito gerado na dessalinização, purificadas e na sua forma natural (água salobra de poço). Nas amostras coletadas foram determinadas a condutividade elétrica da água (CE_a), o pH e concentrações de Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- e CO_3^{2-} ; além disso, a razão de adsorção de sódio (RAS). As análises das amostras de água foram interpretadas quanto aos riscos de salinidade, sodicidade, toxicidade de íons e outros parâmetros de qualidade. Os resultados mostram que as águas dos poços das comunidades rurais estudadas possuem restrições para a sua utilização na agricultura, quanto aos riscos de salinização e sodificação do solo, principalmente as águas das comunidades: São Romão; Boa Fé e Pau Branco; as águas de rejeito da dessalinização possuem elevadas concentrações de sais, principalmente nas comunidades de Boa Fé e Puxa Boi, comprometendo a sua utilização para a irrigação e as águas dessalinizadas, embora possuam baixos teores de sais têm restrições quanto a problemas de infiltração no solo, caso venham a ser empregadas para irrigação.

Palavras-chave: Salinidade; Águas salobras; Irrigação

ABSTRACT

COSME, Christiano Rebouças. **Evaluation of water quality from treatment plants of brackish water in rural zone of the Mossoró, RN.** 2011. 74f. Dissertation (Master degree in Irrigation and Drainage) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2011.

In Brazil, mainly in the semiarid region, a major challenge is to promote the water supply to households in rural areas. Groundwater is identified as a viable alternative to ensure the access of rural communities in the northeast to water from public investment in drilling wells. However, these water sources in most cases have use restrictions for human consumption, because they present problems of salinity. The technology of reverse osmosis has been widely used for treatment of brackish water, with successful experiences in most locations where units have been deployed in water treatment by desalination. Many rural communities in Mossoró, RN, are supplied with water from the aquifer Jandaíra, high salt concentration, which is treated in desalination plants, allowing its use for human consumption. In these communities, the reject brine of the process of desalination is not receiving any treatment or proper disposal, being dumped straight into the ground and, when used in irrigation of crops there are no scientific-technical reasons for their use, causing problems of soil salinization. Due to the impacts caused by the use of brackish or reject brine for irrigation in the soil, to enable their use should always adopt some special practices of water management and soil for salinity control. As the majority of crops grown in the region classified as sensitive to moderately sensitive to salinity, there is the need to better characterize these waters, to establish the appropriate management of plants, soil and irrigation systems. As the majority of crops grown in the region are classified as sensitive to moderately sensitive to salinity, there is the need to better characterize these waters, to establish the appropriate management of plants, soil and irrigation systems. Thus, this study aimed to evaluate the quality of water for irrigation in rural communities of Mossoró, supplied with brackish water from tube wells equipped with desalination, providing this information as a tool to aid the proper management and use of these waters irrigation. 30 rural communities were selected to perform the collection of samples of water from the waste generated in the desalination, purified and in its natural form (brackish water of the well). In the collected samples were determined at electric conductivity (EC_w), pH and concentrations of Na⁺, Ca²⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ e CO₃²⁻, in addition, the sodium adsorption ratio (SAR). The Analyses of water samples were interpreted as to risk of salinity, sodicity, toxicity of ions and other quality parameters. The results show that water of the wells rural communities studied, have restrictions to their use in agriculture, as to risks of salinity and sodicity of the soil, especially the waters of the communities: São Romão, Boa Fé and Pau Branco. the reject brine of the desalination have high concentrations of salts, especially in communities of Boa Fé and Puxa Boi, compromising their use for irrigation, and, the desalinated water, although they have low concentrations of salts have restrictions on the problems of infiltration into the soil, if by chance, are employed in irrigation.

Key-words: Salinity; Brackish waters; Irrigation

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água para irrigação.....	27
Tabela 2 - Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade.....	29
Tabela 3 - Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água.....	31
Tabela 4 - Concentrações de íons em água e respectivos riscos de toxicidade às plantas.....	31
Tabela 5 - Tolerância relativa de algumas culturas a sódio e cloreto em água aplicada por aspersão.....	32
Tabela 6 - Comunidades visitadas onde foram coletadas as amostras das águas para avaliação da qualidade.....	40
Tabela 7 - Características físico-químicas das águas de poços das comunidades rurais de Mossoró, RN.....	43
Tabela 8 - Características físico-químicas das águas de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN.....	44
Tabela 9 - Características físico-químicas das águas dessalinizadas das comunidades rurais de Mossoró, RN.....	45
Tabela 10 - Estatísticas descritivas referentes aos parâmetros das águas das comunidades rurais de Mossoró, RN.....	46
Tabela 11 - Percentagens relativas das diferentes classes de água para água dos poços das comunidades rurais de Mossoró, RN, com base na classificação do USSL.....	48
Tabela 12 - Restrições quanto a problemas de infiltração nos solos causados pela sodicidade da água, em conjunto com a CE.....	51
Tabela 13 - Percentagens de valores normais à água de irrigação, para água dos poços das comunidades rurais de Mossoró, RN.....	51

Tabela 14 - Percentagens relativas das diferentes classes de água para a água de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN, com base na classificação do USSL.....	54
Tabela 15 - Percentagens de valores normais à água de irrigação, para água de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN.....	56
Tabela 16 - Percentagens relativas das diferentes classes de água para a água de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN, com base na classificação do USSL.....	58
Tabela 17 - Percentagens de valores normais à água de irrigação, para água dessalinizada das comunidades rurais de Mossoró, RN.....	59
Tabela 18 - Restrições de uso da água em função do teor de sódio para cada tipo de água analisada.....	61
Tabela 19 - Restrições de uso da água em função do teor de cloreto para cada tipo de água analisada.....	62
Tabela 20 - Restrições de uso da água em função do pH de SDT para cada tipo de água analisada na irrigação localizada.....	63
Tabela 21 - Percentagens dos valores da relação Ca^{2+}/Mg^{2+} e do Índice de Saturação de Langelier (ISL), para os tipos de águas estudadas.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Descrição do fluxo osmótico (A) e condição de equilíbrio das duas soluções (B).....	16
Figura 2 - Equipamento de dessalinização por osmose reversa na comunidade Córrego Mossoró I (A) e fluxo de solvente no processo de osmose reversa (B).....	16
Figura 3 - Diagrama de classificação de água (RICHARDS, 1954).....	30
Figura 4 - Mapa Geológico do município de Mossoró, RN.....	38
Figura 5 - Mapa de localização das comunidades onde foram coletadas as amostras de água.....	39
Figura 6 - Mapa de localização das comunidades em função das formações hidrogeológicas.....	39
Figura 7 - Coleta das amostras na comunidade Cabelo de Negro.....	41
Figura 8 - Coleta das amostras na comunidade São João da Várzea.....	41
Figura 9 - Diagrama de classificação de águas para irrigação da USSL: classificação das águas dos poços das comunidades rurais do município de Mossoró, RN.....	47
Figura 10 - Mapa destacando as comunidades da zona rural de Mossoró, RN que apresentam maiores valores de condutividade elétrica (CE) da água de poço.....	49
Figura 11 - Mapa destacando as comunidades da zona rural de Mossoró, RN que apresentam maiores valores de razão de adsorção de sódio (RAS) da água de poço.....	50
Figura 12 - Diagrama de classificação de águas para irrigação da USSL: classificação das águas de rejeito das comunidades rurais do município de Mossoró, RN.....	52
Figura 13 - Mapa destacando as comunidades da zona rural de Mossoró, RN que apresentam maiores valores de condutividade elétrica (CE) da água de rejeito.....	55

Figura 14 - Mapa destacando as comunidades da zona rural de Mossoró, RN que apresentam maiores valores de Razão de adsorção de sódio (RAS) da água de poço.....	56
Figura 15 - Diagrama de classificação de águas para irrigação da USSL: classificação das águas dessalinizadas das comunidades rurais do município de Mossoró, RN.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 ESCASSEZ DA ÁGUA NO NORDESTE BRASILEIRO.....	13
2.2 A DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA SALOBRA: IMPACTOS E BENEFÍCIOS....	15
2.2.1 Processo de dessalinização por osmose reversa.....	15
2.2.2 Benefícios da água dessalinizada para as comunidades rurais.....	17
2.2.3 Impactos causados pela destinação do rejeito da dessalinização da água.....	18
2.2.4 Manejo da água de rejeito da dessalinização por osmose reversa.....	20
2.3 EFEITOS DA SALINIDADE NO SOLO E NA PLANTA.....	21
2.4 TOLERÂNCIA DAS CULTURAS À SALINIDADE.....	24
2.5 CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO.....	26
2.5.1 Parâmetros que determinam a qualidade da água.....	26
2.5.2 Classificação da água para irrigação.....	28
2.5.2.1 Classes de água quanto ao risco de salinidade.....	28
2.5.2.2 Classes de água quanto ao risco de sodicidade.....	29
2.5.2.3 Classes de água quanto ao risco de toxicidade.....	31
2.6 QUALIDADE DA ÁGUA DE MANANCIAS DO NORDESTE.....	32
2.7 RECURSOS HÍDRICOS DE MOSSORÓ: ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS.....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
3.1.1 Localização e caracterização geográfica.....	36
3.1.2 Aspectos Fisiográficos e geológicos.....	36
3.2 COLETA E ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DAS COMUNIDADES RURAIS DE MOSSORÓ, RN PARA IRRIGAÇÃO.....	46
4.1.1 Águas dos poços.....	47
4.1.2 Águas de rejeito da dessalinização.....	52
4.1.3 Águas dessalinizadas.....	57
4.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS QUANTO À TOXIDEZ DE ÍONS ESPECÍFICOS.....	59
4.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS QUANTO AOS RISCOS DE OBSTRUÇÕES EM PARA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.....	62
5 CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Devido a escassez de recursos hídricos superficiais no Nordeste, a exploração das águas subterrâneas se torna uma importante alternativa para o suprimento hídrico. Nos últimos dez anos, verifica-se que o número de poços perfurados captando água do aquífero Jandaíra tem crescido a uma taxa elevada, como também tem aumentado as vazões de exploração dessas unidades, com poços produzindo até $200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (DINIZ FILHO, 2003).

No município de Mossoró, RN, principalmente na região produtora de frutas, parte da água utilizada para irrigação é proveniente desses poços profundos, que apesar da boa qualidade, apresenta alto custo de obtenção, e, às vezes, inviabiliza seu uso na agricultura (MEDEIROS et al., 2003). Entretanto, há também poços abertos no calcário Jandaíra que mesmo apresentando custo de obtenção mais baixo, possui água com níveis de salinidade elevada. Nos cultivos irrigados desta região, tem sido comum a substituição de água boa, isto é, de baixa condutividade elétrica, por água salobra dos poços rasos, devido ao baixo custo.

Além disso, muitas comunidades rurais de Mossoró são abastecidas com água proveniente do aquífero Jandaíra, a qual é tratada em dessalinizadores, possibilitando sua utilização para consumo humano. No entanto, o uso crescente de equipamentos de dessalinização de água na região, poderá trazer impactos ambientais severos devido ao rejeito produzido, que é composto de água com elevados teores de sais. Dependendo do equipamento e da qualidade da água do poço, a quantidade de rejeito gerado será da ordem de 40 a 70% do total de água salobra retirada do poço (PORTO et al., 2001).

Porém, nessas comunidades, o rejeito do processo da dessalinização não está recebendo qualquer tratamento ou destinação adequada, sendo despejado diretamente no solo e, quando utilizados na irrigação de culturas não há qualquer fundamentação técnico-científica para o seu uso, causando problemas de salinização nos solos.

Devido aos impactos causados ao solo pelo uso de águas salobras na irrigação, devem-se adotar algumas práticas especiais de manejo da água e do solo para o controle da salinidade e viabilidade dos cultivos (AYERS; WESTCOT, 1999). Estas medidas são tomadas com base em informações da qualidade da água de irrigação utilizada; sendo estas avaliadas sob três aspectos importantes: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons.

Levando-se em consideração esses aspectos, objetivou-se avaliar a qualidade das águas provenientes de estações de tratamento de água salobra na zona rural do município de Mossoró, RN.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESCASSEZ DA ÁGUA NO NORDESTE BRASILEIRO

A macrorregião geoeconômica Nordeste (1.542.271 km²) é a segunda do país em população (42.822.100 habitantes em 1990). O Nordeste tem sido com frequência confundido com a zona de incidência das secas, o chamado Polígono das secas (936.993 km²), delimitado – Lei nº 1348 de 10 de fevereiro de 1951 – como área de atuação do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS.

Do território nordestino, 912.208 km², compreendem a parte referida como semiárido, sendo suas características edafoclimáticas semelhantes às de outros semiáridos quentes do mundo como: secas periódicas, solos arenosos, rasos, salinos e pobres em nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. A vegetação do Sertão é a caatinga, que apresenta grande variedade de formações, todas adaptadas à prolongada estação seca.

As temperaturas médias ficam entre 23 e 27 °C e a pluviosidade variam entre 300 e 800 mm ano⁻¹. Os valores médios anuais das chuvas podem ocorrer num só mês ou se distribuir de forma irregular nos 3-5 meses do período chuvoso, com coeficiente de variação superior a 45% (REBOUÇAS, 1997).

A chuva representa a única fonte de realimentação da umidade do solo, do fluxo dos rios e dos aquíferos da região Nordeste. Em termos práticos, a umidade do solo constitui uma reserva localizada de água. Seu maior ou menor aproveitamento sócio-econômico depende das características edáficas do contexto em apreço, do regime de ocorrência das chuvas e fisiologia da vegetação natural ou cultivada.

Historicamente, verifica-se que o nordestino, nas diversas formas de ocupação do território, fundamentou a sua economia no aproveitamento do potencial hídrico localizado, explorando de forma extensiva tanto a agricultura quanto a pecuária. Contudo, face a irregularidade do regime das chuvas e do baixo nível tecnológico e organizacional, dentre outros aspectos subjetivos, não conseguiu condições de consolidação econômica dessas atividades. Por sua vez, tais condições primitivas de uso e ocupação do meio físico muito têm contribuído para a destruição do solo, o empobrecimento das pastagens nativas e a redução das reservas de água localizada.

A região Nordeste compreende dois contextos hidrogeológicos distintos, de extensões quase iguais: o domínio das rochas do substrato geológico cristalino Précambriano, praticamente impermeáveis e subaflorantes; e o das rochas sedimentares, cujas idades vão do Siluriano ao Terciário, nas quais ocorrem importantes horizontes aquíferos. Esse domínio abrange principalmente o estado do Maranhão, 80% do Piauí e cerca de metade dos estados do Rio Grande do Norte e da Bahia (REBOUÇAS, 1997).

No Nordeste do Brasil, os terrenos cristalinos ocupam a maior parte da região (cerca de 515.000 Km², ou seja, 55% da superfície do “Polígono das Secas”), enquanto os depósitos sedimentares abrangem o restante da região de forma disseminada, com extensões variadas e estruturas geológicas diversas (ABAS 2003). As zonas sedimentares situam-se em maior extensão na periferia do Polígono das Secas, onde o problema de falta de água é menos grave, mas onde continuam prevalecendo às condições precárias de abastecimento público, caso evidenciado na maioria das comunidades da região de Mossoró.

A solução hídrica no domínio de rochas cristalinas deverá ter por base o uso eficiente dos Açudes. As águas subterrâneas desse contexto têm alcance complementar limitado por ficarem restritas às zonas de fraturas e manchas aluviais. Os cerca de 30 mil poços tubulares já perfurados nas zonas fraturadas do embasamento cristalino apresentam vazões geralmente inferiores a 5 m³ h⁻¹ e salinidade média da ordem de 2 mil mg L⁻¹ (REBOUÇAS, 1973; COSTA, 1994).

Por sua vez, os domínios sedimentares reservam cerca de 4.000 bilhões de m³ de água doce subterrânea, com aproximadamente 20 bilhões exploráveis por ano, ao abrigo das secas periódicas que assolam a região semiárida. Ademais, as águas subterrâneas têm excelente qualidade para abastecimento doméstico, industrial e irrigação e os cerca de 5 mil poços tubulares já perfurados tem logrado vazões de até 500 m³ h⁻¹ (REBOUÇAS, 1973; COSTA, 1994).

Já Soares (2006) ressalta que a escassez de recursos hídricos, qualitativa e quantitativa, é um fato marcante do Nordeste brasileiro, caracterizado pelos períodos de seca prolongadas que afetam a ampla disponibilidade deste recurso. Nesta região, são imprescindíveis investigações sobre o uso de águas salobras na agricultura. Isto porque os graves problemas de escassez, com fortes impactos econômicos e sociais decorrentes, poderiam ser aliviados mediante a exploração de recursos subterrâneos, mesmo reconhecendo-se que suas águas muitas vezes são salobras (DEMÉTRIO et al., 1993).

Apesar da deficiência em recursos hídricos superficiais, poderiam ser extraídos do subsolo da Região Nordeste, sem risco de esgotamento dos mananciais, pelo menos 19.5

bilhões de m³ de água subterrânea (SOARES, 2007). Porém ainda segundo Soares (2007), o uso destas águas subterrâneas é limitado devido aos problemas dos poços situados no interior nordestino, que é a concentração elevada de sais.

No entanto, ressalta Amorim (2001), que o problema da salinização dos mananciais não torna estes recursos inexploráveis pois, a tecnologia da dessalinização permite a viabilização dos mesmos no Nordeste do Brasil onde vem sendo utilizada a técnica da osmose reversa.

2.2 A DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA SALOBRA: IMPACTOS E BENEFÍCIOS

2.2.1 Processo de dessalinização por osmose reversa

Faz-se necessário o conhecimento do processo de dessalinização de osmose reversa, utilizado nos equipamentos instalados nas comunidades da região de Mossoró e que consiste de um tratamento capaz de retirar o sal da água, para produzir água potável, apropriada ao consumo humano. Os dessalinizadores utilizam membranas para a filtração dos sais.

A água se movimenta da condição de maior potencial para a condição de menor potencial, buscando o estado de equilíbrio (LIBARDI, 2005). 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. A este fenômeno se dá o nome de difusão. Quando a difusão se processa por meio de uma membrana semi-permeável, 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 por uma membrana semipermeável, a solução de menor concentração naturalmente cederá o solvente para a outra concentração de maior quantidade de soluto (Figura 1A), 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).

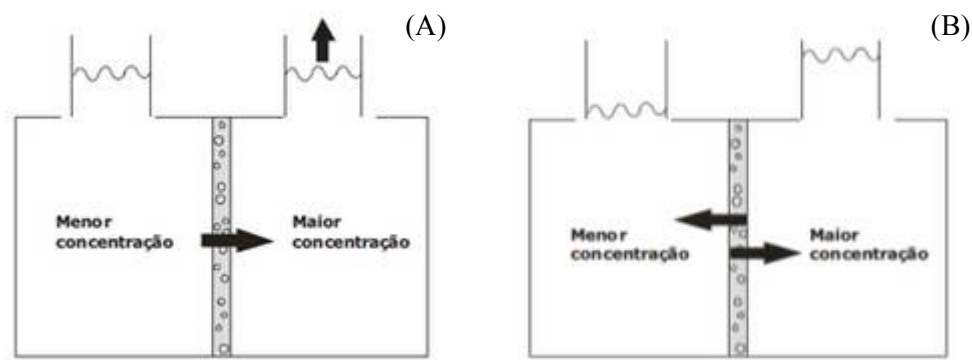


Figura 1 - Descrição do fluxo osmótico (A) e condição de equilíbrio das duas soluções (B).
Fonte: PESSOA, 2000.

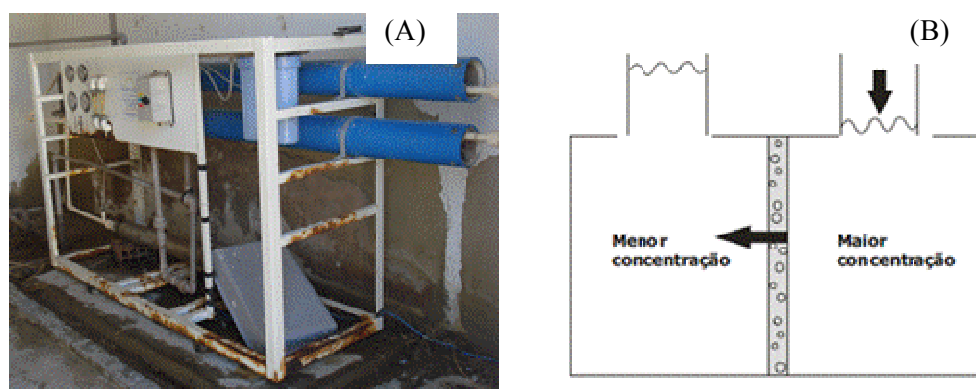


Figura 2 – Equipamento de dessalinização por osmose reversa na comunidade Córrego Mossoró I (A) e fluxo de solvente no processo de osmose reversa (B).
Fonte: Pesquisa de campo 2010 (A), e PESSOA, 2000 (B).

A osmose reversa é um processo de separação em que um solvente é separado de um soluto de baixa massa molecular por uma membrana permeável ao solvente e impermeável ao soluto. 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 (Figura 2A), 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 2B).

Segundo Soares 2006 o processo osmótico pode ser evitado por aplicação de uma determinada pressão, a pressão osmótica, que atua equilibrando o sistema. Logo, considerando que para o processo de dessalinização o interesse seja aumentar o volume de água pura, deve-se aplicar uma pressão superior à pressão osmótica, superando o potencial osmótico da solução mais concentrada, o que acarretará na saída de água pura dela, em

direção à solução menos concentrada. Este processo denomina-se, osmose reversa, pois a água estaria movimentando-se em sentido contrário ao sentido natural da osmose.

De acordo com Amorim (2001), considerando principalmente sua comprovada eficiência quanto a relação custo 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 inversa tornou-se um processo bem estabelecido de dessalinização e vem sendo usada no Nordeste do Brasil em crescente expansão. Segundo Guanaes (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. As vantagens ocorrem na praticidade da instalação e operação do equipamento, na área ambiental por não gerar efluentes químicos e na qualidade de água do permeado isenta de vírus e bactérias.

2.2.2 Benefícios da água dessalinizada para as comunidades rurais

A água é um fator determinante da qualidade de vida da população, porém é um recurso cada vez mais escasso em qualidade no mundo. Neste contexto, o grande problema é que o pouco que se tem está mal distribuído e a grande solução para esse problema é a gestão, ou seja, mudanças profundas que certamente terão implicações políticas, econômicas, sociais e ambientais (ARAÚJO, 2001).

Antes da instalação das unidades de dessalinização nas comunidades, a realidade da vida dos moradores condicionava-se numa situação de luta pela sobrevivência, visto que a região é caracterizada por estação chuvosa com precipitação média anual de 600 mm, sendo estes mal distribuídos num período de três a quatro meses, caracterizando-se assim uma região que apresenta precipitação deficiente e mal distribuída. Além disso, as condições geológicas não permitem a criação de reservatórios superficiais como açudes e barragens, utilizando os moradores outros métodos para armazenamento da água da chuva como as cisternas utilizadas para o suprimento de água durante todo o ano. Contudo, evidenciou-se uma luta de sobrevivência nos anos de baixa precipitação, tendo estas pessoas que se deslocarem quilômetros, para adquirir água para o seu suprimento.

A falta de água tem privado mulheres e crianças do acesso à educação e ao trabalho, pois são forçadas a gastar várias horas para a sua procura e transporte para consumo básico.

Após a implantação do dessalinizador, permitiu-se o acesso a água potável as comunidades, garantindo a melhoria da qualidade de vida. Os equipamentos causaram um extraordinário impacto em comunidades por disponibilizar água potável para as famílias, aliviando-as das incertezas quanto à sua sobrevivência e dos prejuízos causados pelo consumo de água de baixa qualidade e de longas caminhadas em busca da mesma. Como benefícios gerados pelos dessalinizadores, foram apontadas a facilidade de acesso a água de boa qualidade, comparável a água mineral vendida em estabelecimentos comerciais, melhora da saúde da comunidade e a redução do problema de falta de água.

2.2.3 Impactos causados pela destinação do rejeito da dessalinização da água

Mesmo que seja 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 3000 equipamentos, um volume considerável de efluente está sendo gerado. 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 conseqüências para as comunidades que se beneficiam desta tecnologia, como apresentado por Amorim et al, (1997).

Os rejeitos ou subprodutos da dessalinização de água estão sendo despejados no solo, sem nenhum tratamento. 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 maior que 2 dS m^{-1} e a percentagem de sódio trocável (PST) já atingiu valor maior que 15%, nos primeiros 30 cm do solo, nos locais onde os rejeitos são depositados. Porto e Amorim (2001) em estudo com o objetivo de reduzir os impactos causados pela dessalinização de água salobra proveniente do cristalino no trópico semiárido brasileiro, a atriplex (*Atriplex nummularia*) foi cultivada 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). Já na Índia, Rao et al. (1990) comprovaram que a infiltração da salmoura causou contaminação do lençol freático acarretando um aumento dos íons que se relacionam à dureza.

Os rejeitos dos dessalinizadores podem contaminar os mananciais hídricos, 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 conseqüentemente, contribuindo para redução da condutividade hidráulica do solo. Segundo esses mesmo 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).

A concentração das partículas de argila, com a redução da umidade do solo pode ser caracterizada pela curva de encolhimento que relaciona o volume ocupado pelo solo com a umidade. (LIMA; GRISMER, 1990), observaram que solos sódicos encolhem mais acentuadamente com a redução da umidade do que solos normais, apresentando densidade aparente maior, provavelmente como conseqüência da desestruturação do solo que elimina os poros. As diferenças notadas no encolhimento dos solos permitiram observar, através 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.

2.2.4 Manejo da água de rejeito da dessalinização por osmose reversa

Dentre as práticas de manejo utilizadas para controle da salinização dos solos está a lâmina de lixiviação. Esta lâmina, que controla a acumulação de sais na zona radicular das culturas irrigadas, depende da concentração salina da água, do método de aplicação e da precipitação pluviométrica e das características físicas e químicas do solo (KELLY, 1963). O nível de sais na zona radicular deve ficar abaixo do nível nocivo às plantas, razão da recomendação de monitoramento da salinidade na zona radicular, verificando a eficiência do manejo adotado no controle da salinidade.

Quanto mais salina for a água de irrigação ou mais sensível for a cultura, maior deverá ser a fração de lixiviação para que seu rendimento seja aceitável (AYERS, 1977; PIZARRO, 1985; AYERS; WESTCOT, 1999). O princípio básico para se evitar a salinização de um solo é manter o equilíbrio entre a quantidade de sais que é fornecida ao solo, através da irrigação, com a quantidade de sais que é retirada através da drenagem. Em regiões de climas áridos, ou muito ventilados, a evaporação da água enriquece o solo com os solutos, potencializando o perigo da salinização. A remoção de sais da zona radicular para manter a solução do solo em nível de salinidade compatível com a tolerância da cultura depende da manutenção do balanço de sais. Essa lixiviação de sais é o fator mais significativo para se evitar a salinização das áreas irrigadas (RHOADES; LOVEDAY, 1990; HOORN; ALPHEN, 1994).

Desta forma, o método de irrigação que minimiza o estresse mátrico, como na irrigação por gotejamento, pode ser usado para reduzir os efeitos nocivos da água de irrigação salina em solos salinos, bem como a alta fração de lixiviação pode ser usada para amenizar a acumulação de níveis elevados de salinidade em regiões mais profundas da zona radicular (HOFFMAN et al., 1990; AYERS; WESTCOT, 1999).

2.3 EFEITOS DA SALINIDADE NO SOLO E NA PLANTA

As utilizações de águas com teores elevados de sais para a prática da irrigação podem causar efeitos negativos no solo e na planta, devido ao acúmulo de sais no mesmo, em decorrência das sucessivas irrigações.

Para Nunes Filho (1984) e Lima (1997), o uso dessas águas para irrigação somado à falta de um manejo apropriado de lixiviação de 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 àquelas 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. De fato, Kramer (1983) aponta que plantas que crescem em substratos salinos mantêm seu turgor e chama atenção pelo fato de que suculência é uma característica comum entre as halófitas. 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 o efeito no crescimento, de níveis similares de potencial osmótico e mátrico, é diferente. 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).

Plantas muito sensíveis à salinidade também absorvem água do solo juntamente com os sais permitindo que haja toxidez na planta por excesso de sal absorvido. Este excesso promove desbalanceamentos e danos ao citoplasma resultando em danos principalmente na bordadura e no ápice das folhas, a partir de onde a planta perde, por transpiração, quase que tão somente água, havendo nestas regiões acúmulo do sal translocado do solo para a planta, e obviamente intensa toxidez de sais.

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. A explicação científica deste fenômeno é complicada. Em geral 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). Para 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.

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. De acordo com Tester e Davenport (2003), 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. 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).

O excesso de um íon pode provocar deficiência de outro, devido à precipitação de elementos ou inibição de outros (GHEYI; MEDEIROS, 1991). Malavolta (1980), destaca também, o efeito particular do pH sobre a disponibilidade de alguns micronutrientes. 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.

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, por exemplo, 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. Este compartimento de sal é que permite às plantas halófitas viverem em ambiente salino.

Para esse 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).

A redução dos efeitos dos sais sobre as plantas podem ser reduzidas 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.

2.4 TOLERÂNCIA DAS CULTURAS À SALINIDADE

Todas as águas utilizadas para irrigação contêm naturalmente sais de origem natural, bem como todos os solos irrigados, porém normalmente com teores mais elevados em relação às águas (AYERS; WESTCOT, 1999). Segundo estes mesmos autores, o objetivo principal da irrigação é proporcionar para as culturas a quantidade de água necessária, no momento oportuno, para o seu ótimo crescimento, evitando assim, a diminuição de seus rendimentos ocasionados pela falta da água durante as etapas de seu desenvolvimento.

No entanto, irrigações sucessivas provocam a acumulação de sais no solo, aumentando a força de retenção da água no solo, por seu efeito osmótico. Este aumento na salinidade do solo leva a planta à seca fisiológica, que está relacionada à redução da absorção de água pelas raízes, mesmo quando o solo encontra-se úmido (SOARES, 2007).

As diferentes espécies e cultivares de plantas reagem diferentemente à salinidade, isto é, cada espécie de planta ou cultivar tolera até certa salinidade sem reduzir o rendimento potencial, também chamado salinidade limiar (SL), a partir da qual passa a diminuir a produtividade à medida que se incrementa a salinidade do solo (AYERS; WESTCOT, 1999). Assim, a determinação da tolerância à salinidade crítica para as principais culturas exploradas, é de fundamental importância para o manejo adequado das áreas irrigadas.

A tolerância aos sais de determinada cultura é afetada por diversos fatores, dentre eles o estágio de desenvolvimento, a duração da exposição, as condições ambientais, as propriedades do solo, o tipo e a intensidade do manejo (MAAS; HOFFMAN, 1977). Para

esses autores, o comportamento produtivo de uma cultura sob condições de salinidade pode ser representado pela seguinte equação: $Y = 100 - b (CE_{es} - SL)$, onde: Y = rendimento potencial em “%”; CE_{es} = salinidade do extrato de saturação do solo em “dS m⁻¹”; SL = salinidade limiar da cultura em “dS m⁻¹” e b = diminuição do rendimento por aumento unitário da salinidade acima do valor de SL em “% por dS m⁻¹”. Segundo Ayers e Westcot (1999), o conceito de tolerância é muito útil para se comparar e selecionar as culturas.

De acordo com Maas e Hoffman (1977), existem diferenças de tolerância entre as espécies e entre cultivares, e de uma mesma espécie pode haver variações entre variedades por adaptação ao meio em que se desenvolveram e, ainda, para uma mesma variedade, o nível de tolerância pode variar entre as fases fenológicas da cultura.

A tolerância das culturas ao estresse salino pode ser definida em nível de produção comercial, como a capacidade da planta suportar os efeitos do excesso de sais presentes na solução do solo, sem haver perdas significativas de seus rendimentos, quando comparados com os rendimentos obtidos sob condições não salinas (MAAS, 1990).

Nem todas as culturas respondem igualmente à salinidade; algumas produzem rendimentos economicamente aceitáveis sob altos níveis de salinidade, enquanto outras são sensíveis a níveis relativamente baixos (AYERS; WESTCOT, 1999). Tal fato pode ser justificado pela melhor capacidade de adaptação osmótica de algumas plantas, que permite absorver, mesmo em meio salino, quantidade suficiente de água. Ainda segundo os autores, a tolerância à salinidade de algumas culturas pode alcançar valores entre 8 e 10 vezes a tolerância de outras. A amplitude dessa tolerância relativa permite maior uso das águas de salinidade moderada e aumenta a faixa aceitável das águas salinas consideradas adequadas para irrigação.

Muitos estudos ainda buscam respostas mais específicas quanto os efeitos da salinidade nas culturas e sua tolerância à salinidade, como Sousa et al., (2011), observaram a influência negativa da salinidade da água de irrigação sobre as variáveis porcentagem de emergência e o índice de velocidade de emergência para o clone BRS 275. O mesmo comportamento foi observado por Bezerra et al. (2002) trabalhando com cajueiro anão precoce. Já Carneiro et al. (2002), pesquisando a tolerância a salinidade do cajueiro anão-precoce, concluíram que este é mais tolerante à salinidade durante a germinação do que na fase de desenvolvimento inicial e, ainda, para o crescimento inicial o limite de salinidade da água de irrigação é de 1,48 dS m⁻¹. Siqueira et al. (2005), observaram, em estudo com a cultura do algodoeiro colorido marrom cv CNPA 2002/26 submetida a estresse salino, que a

irrigação com águas de até 3,50 e 3,58 dS m⁻¹ de condutividade elétrica, não afetou o número de folhas nem a área foliar, respectivamente.

2.5 CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

A irrigação é uma prática indispensável nas regiões áridas e semi-áridas em virtude da ocorrência de déficit hídrico para culturas na época seca. A acumulação de água no período chuvoso alternado com o aumento de evaporação na estação seca promovem uma variação quantitativa e qualitativa no teor de sais das águas com implicações para uso na irrigação (NUNES FILHO et al., 1991) e esta, pode ser fator de salinização quando não manejada adequadamente (PIZARRO, 1985; HOORN; ALPHEN, 1988). Desta forma, torna-se imprescindível a avaliação da qualidade da água como medida preventiva dos processos de salinização gradativos pelo acúmulo de sais oriundos de irrigações sucessivas.

Assim, as águas que se destinam a irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos: salinidade, sodicidade e toxicidade de íons, variáveis fundamentais na determinação da qualidade agronômica das mesmas.

2.5.1 Parâmetros que determinam a qualidade da água

O excesso de sais na zona radicular tem em geral um efeito deletério no crescimento das plantas que se manifesta por uma equivalente redução na taxa de transpiração e crescimento. A excessiva salinidade reduz o desenvolvimento devido ao aumento de energia que precisa ser despendida para absorver água do solo e ao ajustamento bioquímico necessário para sobreviver sob estresse (RHOADES et al., 1992).

A CE é o parâmetro mais empregado para expressar a concentração de sais solúveis na água. A determinação é rápida e tem boa precisão para a maioria das águas (DONEEN, 1975). Este parâmetro é o oposto da resistividade elétrica e corresponde à medida da capacidade de uma água em conduzir eletricidade, crescendo proporcionalmente à medida que a concentração de sais aumenta.

O risco de sodicidade passou a ser avaliado com mais segurança relacionando a RAS corrigida (RAS^o) com a salinidade da água, estimada pela equação: $RAS^o = Na/((Ca^o + Mg)/2)^{1/2}$; em que: Na = Concentração de sódio na água, $mmol_c L^{-1}$; Ca^o = Concentração de cálcio na água, corrigida pela relação HCO_3^-/Ca ($mmol_c L^{-1}$) e CE_a ($dS m^{-1}$), Mg = Concentração de Magnésio na água, em $mmol_c L^{-1}$.

A RAS^o , conforme procedimento sugerido por Suarez (1981), facilita o entendimento das alterações que ocorrem com o cálcio na água do solo através de reações com carbonatos e silicatos. Como as águas do nordeste do Brasil, normalmente são pobres em sulfatos (Medeiros, 1992), este estimador é mais adequado para prever riscos de sodificação ou de infiltração de água no solo.

Outros parâmetros como: pH, potássio, carbonatos, bicarbonatos e sulfatos também são considerados quando da avaliação da qualidade da água de irrigação. Nas águas ricas em bicarbonato há uma tendência de precipitação, principalmente do cálcio, em forma de carbonato, à medida que a solução do solo se torna mais concentrada, aumentando o risco de sodicidade (YARON, 1973; KOVDA et al., 1973; BOHN et al., 1985)

Em resumo, os parâmetros básicos de avaliação da qualidade de água para irrigação, acompanhados dos respectivos símbolos e unidades internacionais adotadas estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água para irrigação.

Parâmetros	Símbolo	Unidade
Acidez	pH	-
Condutividade elétrica	CE_a	$dS.m^{-1}$ (25 °C)
Cálcio	Ca^{2+}	$mmol_c L^{-1}$
Magnésio	Mg^{2+}	$mmol_c L^{-1}$
Sódio	Na^+	$mmol_c L^{-1}$
Potássio	K^+	$mmol_c L^{-1}$
Cloreto	Cl^-	$mmol_c L^{-1}$
Sulfato	SO_4^{2-}	$mmol_c L^{-1}$
Carbonato	CO_3^{2-}	$mmol_c L^{-1}$
Bicarbonato	HCO_3^-	$mmol_c L^{-1}$
Nitrogênio	$(NH_4^+ + NO_3^- + NO_2^-)$	$mg L^{-1}$
Boro	B	$mg L^{-1}$
Sólidos dissolvidos totais	SDT	$mg L^{-1}$
Relação de adsorção de sódio	RAS^o	$(mmol_c L^{-1})^{1/2}$

2.5.2 Classificação da água para irrigação

2.5.2.1 Quanto ao risco de salinidade

Numa avaliação qualitativa, as águas se dividem em quatro classes de salinidade, à medida que aumenta a concentração de sais e conseqüentemente sua condutividade elétrica, recebendo denominações sucessivas de C₁, C₂, C₃ e C₄, com os limites apresentados por Richards (1954) (USSL) e, por conveniência, também adotados como índices de salinidade por Frenkel (1984), conforme mostra a Tabela 2, com as seguintes interpretações:

C₁: água de baixa salinidade. Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muito pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade. Se necessário alguma lixiviação de sais, esta é conseguida em condições normais de irrigação, exceto em solos de muito baixa permeabilidade;

C₂: água de média salinidade. Pode ser usada sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais. Em quase todos os casos se adequada ao cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade;

C₃: água de alta salinidade. Não pode ser usada em solos com drenagem deficiente. Mesmo com drenagem adequada podem ser necessárias práticas especiais de controle da salinidade, devendo, portanto, ser utilizada na irrigação de espécies vegetais de alta tolerância aos sais. Os riscos apresentados por esta classe de água podem ser amenizados quando da utilização do método de irrigação localizada mantendo o solo continuamente úmido;

C₄: água de muito alta salinidade. Não é apropriada para irrigação sob condições normais, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação de sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes aos sais.

Tabela 2 - Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade

Classe de Salinidade	Richards (1954)	UCCC ¹	Risco de Salinidade	Ayers e Westcot (1991)	
	Faixas de CE_a ($dS\ m^{-1}$)			Faixa de CE_a ($dS\ m^{-1}$)	Problema de Salinidade
C ₁	< 0,25	< 0,75	Baixo	< 0,7	nenhum
C ₂	0,25 - 0,75	0,75 - 1,50	Médio	0,7 - 3,0	moderado
C ₃	0,75 - 2,25	1,50 - 3,00	Alto	> 3,0	severo
C ₄	> 2,25	> 3,00	Muito alto	-	-

¹ UCCC - University of California Committee of Consultants (FRENKEL, 1984; PIZARRO, 1985)

A salinidade afeta tanto o crescimento das plantas como a produção e qualidade do produto, se manifestando principalmente na redução da população e desenvolvimento das culturas, com sintoma similar ao causado por estresse hídrico (Rhoades *et al.*, 1992) As culturas, no entanto, se comportam diferentemente quanto à tolerância a sais na água de irrigação desde as mais tolerantes como o algodão até as mais sensíveis como a maioria das hortaliças.

2.5.2.2 Quanto ao risco de sodicidade

A classificação das águas de irrigação com respeito a RAS se baseia essencialmente no efeito do sódio trocável nas condições físicas do solo causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade. Richards (1954) dividiu as águas em quatro classes tomando por base valores limites da RAS, em função da CE_a , com as seguintes interpretações:

S₁ ($RAS < 18,87 - 4,44 \log CE_a$): água de baixa sodicidade ou com baixa concentração de sódio. Pode ser usada para irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis perigosos de sódio trocável. Entretanto, culturas sensíveis como fruteiras de caroço: pessegueiro, ameixeira, abacate etc., podem acumular quantidades prejudiciais de sódio.

S₂ ($18,87 - 4,44 \log CE_a < RAS < 31,31 - 6,66 \log CE_a$): água de sodicidade média ou com média concentração de sódio. Em solos de textura fina (argilosos) o sódio dessa classe de água representa um perigo considerável de dispersão com redução de permeabilidade. Por

outro lado, essas águas podem ser usadas em solos de textura grossa (arenosos) ou em solos orgânicos de boa permeabilidade.

S_3 ($31,31 - 6,66 \log CE_a < RAS < 43,75 - 8,87 \log CE_a$): água de alta sodicidade ou com alta concentração de sódio. Pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, necessitando de práticas especiais de manejo: boa drenagem, alta lixiviação e adição de condicionadores químicos ou orgânicos.

S_4 ($RAS > 43,75 - 8,87 \log CE_a$): água de muito alta sodicidade ou de muito alta concentração de sódio. É uma classe inadequada para irrigação exceto quando sua salinidade é baixa ou média e quando a dissolução do cálcio do solo e a aplicação de condicionadores não se tornam antieconômica.

Baseado nas classes descritas no presente item juntamente com os do item anterior foi elaborado o diagrama de classificação das águas quanto aos riscos de salinização e sodificação dos solo, conhecido como diagrama de Richards (RICHARDS, 1954) (Figura 3).

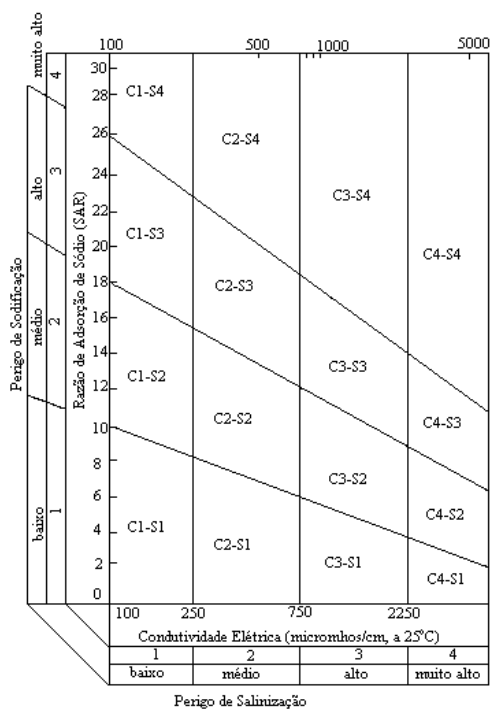


Figura 3 - Diagrama de classificação de água (RICHARDS, 1954).

A recomendação de Ayers e Westcot (1999), quanto ao perigo de sódio, restringe-se a três classes de sodicidade, obtidas relacionando-se a RAS^0 com a salinidade da água de irrigação, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água.

RAS ^o (mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	CLASSES DE SODICIDADE ¹		
	S ₁	S ₂	S ₃
	Sem Problemas	Problemas Crescentes	Problemas Severos
CE _a (dS m ⁻¹).....		
0-3	> 0,70	0,70 - 0,20	< 0,20
3-6	> 1,20	1,20 - 0,30	< 0,30
6-12	> 1,90	1,90 - 0,50	< 0,50
12-20	> 2,90	2,90 - 1,30	< 1,30
20-40	> 5,00	5,00 - 2,90	< 2,90

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999).

2.5.2.3 Quanto ao risco de toxicidade

Os elementos mais propensos a causarem toxidez nas plantas, em decorrência de concentrações elevadas na água de irrigação, são: sódio, cloro e boro. Quanto aos riscos que apresentam, de acordo com Ayers e Westcot (1999) podem ser divididos em três classes (Tabela 4). Na irrigação por aspersão foliar, quando há uma exposição direta da parte mais sensível da planta à água contendo elevados teores de sais, os problemas de toxicidade tendem a se intensificarem (MAAS, 1986; AYERS; WESTCOT, 1999) e as culturas se subdividem quanto ao limite de tolerância ao sódio e cloreto conforme a Tabela 5.

Tabela 4 - Concentrações de íons em água e respectivos riscos de toxicidade às plantas

Íon	Classes de toxicidade da água ¹		
	T ₁ Nenhum problema	T ₂ Problema moderado	T ₃ Problema severo
Sódio ou Cloreto (mmol _c L ⁻¹ .)			
- Irrigação por superfície	< 3	3 - 9	> 9
- Irrigação por aspersão	< 3	> 3	-
Boro (mg L ⁻¹)	< 0,7	0,7 - 3,0	>3,0

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

Tabela 5 - Tolerância relativa de algumas culturas a sódio e cloreto em água aplicada por aspersão

Concentração de Na ⁺ ou Cl ⁻ que causa dano foliar (mmol _c L ⁻¹) ¹			
< 5,0	5 - 10	10 - 20	>20
Ameixeira	Batatinha	Alfafa	Algodoeiro
Amendoeira	Pimentão	Cártamo	Beterraba-Assucareira
Citros	Tomateiro	Cevada	Couve-flor
Damasqueiro	Videira	Gergelim	Girassol
		Milho/Sorgo	Morangueiro
		Pepino	

¹Adaptado de Maas (1985).

Medeiros e Gheyi (1994) enfatizam a necessidade do desenvolvimento de um sistema de classificação de água, próprio para as condições brasileiras, como medida para se ter um prognóstico seguro de seu efeito quando usada em irrigação. Enquanto não se define um sistema de tal natureza se sugere que, para classificação quanto a salinidade seja utilizada a proposição do UCCC citada por Frenkel (1984) e Pizarro (1985) por não ser conservadora como a de Richards (1954) nem generalista como a apresentada por Ayers e Westcot (1999). Com respeito a sodicidade ou problemas de infiltração e a toxicidade iônica, as diretrizes apresentadas por Ayers e Westcot (1999) são adequadas.

2.6 QUALIDADE DA ÁGUA DE MANANCIAS DO NORDESTE

No Nordeste semiárido do Brasil, os reservatórios de água de maior capacidade de armazenamento, geralmente, contém água de boa qualidade para irrigação, com pequena variação na composição ao longo do ano. Medeiros (1992), estudando as águas utilizadas na pequena irrigação nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, constatou que existem consideráveis variações nas suas características durante o ano, principalmente naquelas oriundas de poços amazonas e naturais, em leitos de rios, riachos e pequenos e médios Açudes. Além dessas fontes, poderia se acrescentar as águas contidas em lagoas, como de maior variação na composição química em relação ao tempo ou estação climática.

Em levantamentos de avaliação de qualidade de água para irrigação realizados em Estados do Nordeste e considerando como de boa qualidade as que apresentam níveis de salinidade entre baixo e médio, foram observados os seguintes percentuais para as fontes incluídas nessa categoria: 74,3% na microregião homogênea de Catolé do Rocha na Paraíba (COSTA ; GHEYI, 1984); 64% no sertão de Pernambuco (NUNES FILHO et al., 1991); 71,9 % a 75% no Seridó e Zona Oeste do Rio Grande do Norte (PEREIRA et al., 1992; MARTINS, 1993); 75% nas pequenas propriedades irrigadas do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba (MEDEIROS, 1992).

Em linhas gerais, em torno de 70% das fontes de água avaliadas em Estados do Nordeste foram consideradas de boa qualidade para irrigação. Considerando apenas esse aspecto poderia se esperar que as áreas irrigadas com águas dessa qualidade não desenvolvessem problemas por acumulação de sais, o que não é verdade. Estima-se entre 25 % e 30% a porcentagem de áreas afetadas por sais nos perímetros irrigados do Nordeste (GOES, 1978; CORDEIRO ; MILLAR, 1978). Este fato deve-se essencialmente ao manejo de irrigação adotado, sob condição de intensa evaporação e drenagem deficiente, em solos de textura franco siltosa a argilosa, predominantes nas áreas de aluviões, onde se concentra a maioria dos perímetros irrigados. Também vale ressaltar que os solos destes perímetros, naturalmente já tinham algum problema de salinidade, porém o manejo inadequado da irrigação provocou a acumulação de sais por falta de drenagem ou promoveu a elevação do lençol freático, com conseqüente aumento das áreas salinizadas.

Medeiros (1992) e Audry e Suassuna (1995), estudando a qualidade das águas usadas para irrigação em 95 propriedades localizadas nos Estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, nos anos de 1988 a 1992, verificaram variação da CE entre 0,25 e 1,50 dS m⁻¹. Por outro lado, em aproximadamente 78% das águas analisadas houve semelhanças na composição química, predominando o cloreto e o sódio, enquanto as concentrações de cálcio e o magnésio foram praticamente iguais.

De acordo com Silva Júnior et al., (1999), na época de estiagem os Açudes e poços têm seus níveis de concentração de sais mais elevados, sobretudo nesta época, quando também são mais elevadas a temperatura e a evapotranspiração da região e as culturas exigem maior suprimento de água a fim de atender às suas necessidades fisiológicas sendo afetadas, portanto, com maior intensidade, observa-se então, a importância do conhecimento de sua qualidade para evitar os problemas consequentes.

Estudos realizados por Leprun (1983), em condições do Nordeste, observaram que a salinidade da água varia, em média, na seguinte ordem: Açudes < rios < cacimbões < poços

rasos, havendo também grande variação na composição da água de Açudes, entre a estação chuvosa e a seca. O autor observou que a composição iônica das diferentes fontes é a seguinte: $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^-$.

Em várias partes do mundo de águas de qualidade inferior (alta salinidade) para irrigação vêm sendo utilizadas com êxito. Entretanto, segundo Rhoades et al. (2000), a utilização dessas águas depende das condições de uso, incluindo-se culturas, clima, solos, métodos de irrigação e práticas de manejo, o que torna as classificações de água quanto à qualidade não aconselhada para avaliar a adequabilidade da água para irrigação.

No Nordeste brasileiro a região da Chapada do Apodi, no Estado do Rio Grande do Norte, um dos principais pólos frutícolas do Brasil, a principal fonte de água para irrigação é subterrânea, cuja captação é feita a partir de dois tipos de aquífero: o Arenito Assu, caracterizado por apresentar águas de baixa salinidade com CE variando entre 0,4 e 0,75 dS m^{-1} , cuja captação de água é feita através de poços profundos a 1000 m de profundidade com alto custo de captação e o calcário Jandaíra, com profundidade em torno de 100 m, caracterizado por apresentar água com níveis elevados de salinidade e cuja composição química é constituída de elevadas concentrações de sódio, cálcio, magnésio, bicarbonatos e cloretos, com CE variando entre 1,3 a 4,7 dS m^{-1} e com baixo custo de obtenção (MEDEIROS, 1992; OLIVEIRA ; MAIA, 1998, MEDEIROS, 2003).

Segundo Maas (1990), a qualidade da água é apenas um dos fatores que determinam o tipo e a intensidade das práticas de manejo para o uso seguro de águas salinas na irrigação; outros fatores, a exemplo da tolerância das culturas a salinidade, a qualidade da água, as propriedades do solo e o clima, devam ser considerados.

2.7 RECURSOS HÍDRICOS DE MOSSORÓ: ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

O município de Mossoró encontra-se totalmente inserido nos domínios da bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, sendo banhado pela sub-bacia do Rio Apodi, que o atravessa na direção SW-NE, tendo como principais tributários: a Norte, o córrego Gangorra; a Sul, o Rio do Carmo, os riachos: do Bonsucesso, do Nogueira, Grande, do Inferno, Fundo e Olho d'Água, além do córrego do Bastião; a Leste, os riachos: da Suçuarana, Poço dos Bois, Xique xique, Passagem Velha, São Raimundo, Pai Antônio e o Córrego Jerimum; a Oeste, os riachos

Campo do Junco, Grande, Cabelo Negro e córrego do Virgílio. Os principais corpos de acumulação são os Açudes públicos: Barragem Passagem de Pedras, Barragem de Baixo (250.000 m³), Barragem do Saco, Barragem Lagoa de Paus, Barragem Mossoró (100.000 m³) e os Açudes comunitários: Barragem Santana (100.000 m³), Dos Pintos (100.000 m³) e Favela (500.000 m³). O padrão de drenagem é do tipo dendrítico e os cursos d'água têm regime intermitente (MME, 2005).

O município de Mossoró está inserido no Domínio Hidrogeológico Intersticial e no Domínio Hidrogeológico Cárstico-fissural. O Domínio Intersticial é composto de rochas sedimentares do Grupo Barreiras, Depósitos Colúvio-eluviais, Depósitos Flúvio-lagunares e dos Depósitos Aluvionares (MME, 2005). O sistema aquífero Barreiras tem ampla distribuição na costa brasileira, aflorando de forma descontínua desde a região Norte até a Sudeste. Constitui um aquífero predominantemente livre que ocupa uma área de 176.532 km². O sistema aquífero Barreiras tem grande participação no abastecimento de várias capitais brasileiras, particularmente das capitais litorâneas nordestinas de São Luís, Belém, Fortaleza, Natal e Maceió. No Estado do Rio Grande do Norte, o Barreiras apresenta águas predominantemente cloretadas sódicas e secundariamente bicarbonatadas (sódicas e cálcicas). As suas águas são pouco mineralizadas com valores de sólidos totais dissolvidos variando entre 11 e 1.211 mg L⁻¹, com média de 120 mg L⁻¹, e não apresentam restrições de uso (Diniz Filho et al., 2000). O Domínio Cárstico-fissural é constituído pelos calcários da Formação Jandaíra. O sistema aquífero Jandaíra tem natureza cárstico-fraturada com uma área de recarga de 11.589 km², que corresponde a partes dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, no contexto da Bacia Sedimentar Potiguar. O aquífero jandaíra é intensamente utilizado para a irrigação na região da chapada do Apodi, especialmente na região de Baraúna (RN).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização e caracterização geográfica

O trabalho foi realizado em comunidade rurais do município de Mossoró, RN, aonde foram instalados estações de tratamentos de água salobra pelo projeto água boa e água de beber dos governos Federal e Estadual

O município de Mossoró situa-se na mesorregião Oeste Potiguar e na microrregião Mossoró, limitando-se com os municípios de Tibau, Grossos, Areia Branca, Serra do Mel, Assu, Upanema, Governador Dix-Sept Rosado, Baraúna e o Estado do Ceará, abrangendo uma área de 2.100 km² (Figura 4). A sede do município tem uma altitude média de 16 m e coordenadas 05°11'16,8" de latitude sul e 37°20'38,4" de longitude oeste, distando da capital cerca de 277 km, sendo seu acesso, a partir de Natal, efetuado através da rodovia pavimentada BR-304.

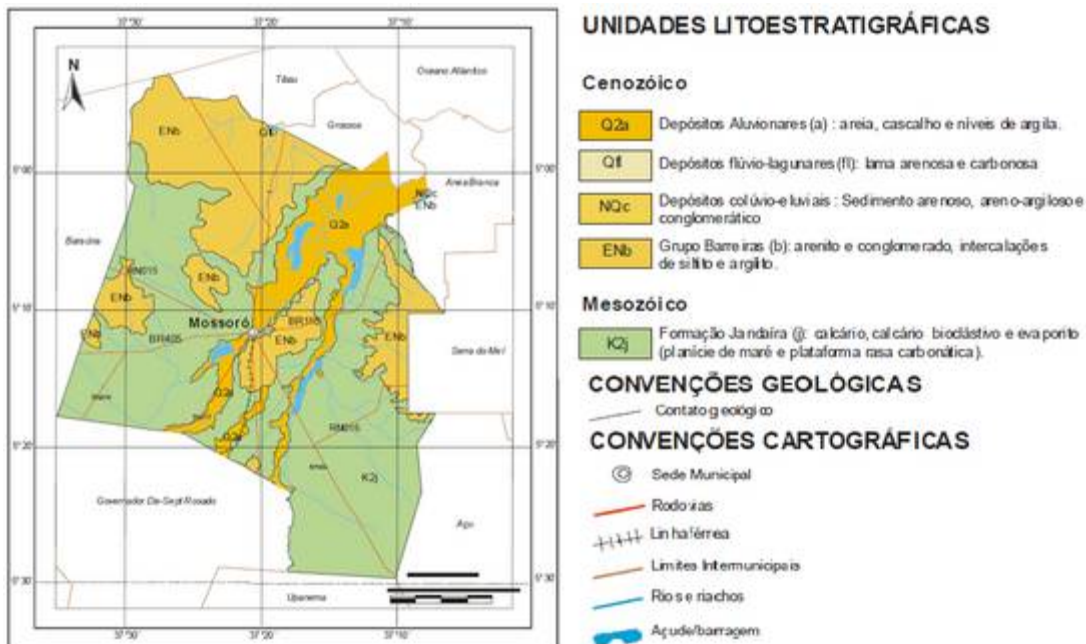
3.1.2 Aspectos Fisiográficos e geológicos

Criado pela lei nº 246 de 15/03/1852, o município de Mossoró foi desmembrado do município de Assu, pertence à microrregião denominada de "Mossoró", O clima da região é do tipo BSw^h, segundo Köppen, isto é, clima semiárido, onde a estação chuvosa atrasa para o outono, sendo a maior incidência de chuvas do verão para o outono. As chuvas têm distribuição bastante irregular no tempo e no espaço, aumentando sobremaneira o risco climático. A média anual de precipitação é de aproximadamente 680 mm. Devido à baixa latitude e à ausência de fatores geográficos influenciadores, a temperatura apresenta-se sem grande variação anual. A umidade relativa é predominantemente baixa em toda a região. As temperaturas máximas e mínimas do ar têm valores médios iguais a 33,3 e 22,7 °C, respectivamente (CARMO FILHO et al, 1991).

A vegetação dominante no município de Mossoró é a caatinga, geralmente constituída por uma mistura de espécies arbóreas e herbáceas (MENDES, 1986). Para Lima (1999), a caatinga arbustivo-arbórea, vegetação de caráter mais seco com abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixas e espalhadas, exemplos: jurema preta, mufumbo, facheiro, faveleiro, xique-xique e marmeleiro. Possui também o Carnaubal, vegetação natural onde a espécie predominante é a palmeira e a carnaúbeira. Os carnaubais são espaçados e iluminados, e a vegetação Halófila, que suporta alta salinidade natural do solo em decorrência da penetração da água do mar nas regiões baixas marginais dos cursos d' água. Observa-se ocorrência de uma vegetação típica do clima árido, destacando o pirrixiu e o bredo, às vezes consorciados com carnaubais.

Os solos do município de Mossoró são de medianamente profundos a rasos, apresentando, em geral, boa porosidade e permeabilidade, que fazem com que sejam moderadamente drenados. São solos de textura argilosa ou argilo-arenosos. Durante os meses secos, tornam-se extremamente duros e apresentam gretas de contração que alcançam até 2 cm de largura. O município de Mossoró apresenta ótimos solos para a exploração agrícola, entre eles, os cambissolos, com elevada fertilidade natural podem, entretanto, apresentar deficiência de fósforo (nos solos calcários) ou elevados teores de sódio (nos solos salinos e salino-sódicos). Os solos das margens dos rios Mossoró e do Carmo são, em geral, enquadráveis como de aptidão agrícola regular a boas para níveis de manejo primitivo. Sobre eles se desenvolve uma agricultura de vazante bastante intensa, notadamente devido à possibilidade de utilização dos mesmos durante o período de estiagem.

O município de Mossoró encontra-se inserido, geologicamente, na Província Borborema, sendo constituído pelos sedimentos da Formação Jandaíra (K2j), do Grupo Barreiras (ENb), depósitos Colúvios-eluviais (NQc), Flúvio-lagunares (Qfl) e depósitos Aluvionares (Q2a), como pode ser observado na Figura 4.



Fonte: Ministério de Minas e Energia

Figura 4 – Mapa Geológico do município de Mossoró, RN

3.2 COLETA E ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Inicialmente foram pesquisadas as comunidades rurais do município de Mossoró, RN, na qual tinham como fonte de abastecimento hídrico poços com água salobra com tratamento de água para consumo por meios da dessalinização por osmose reversa (dessalinizadores), a partir dos cadastros na Prefeitura do Município. Com base nas informações acerca da localização dos poços das comunidades rurais de Mossoró, contidas no Projeto de Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (MME, 2005), e com o auxílio do software Google Earth[®], foram localizadas as comunidades rurais e, a partir daí, foram selecionadas 30 comunidades em um total de 48, tendo como critério de seleção a facilidade de acesso (Figura 5) e a formação hidrogeológica onde se encontram cravados os poços (Figura 6). Posteriormente, foi realizado o planejamento das datas das visitas às comunidades dividindo-as em grupos em função da sua localização, num total de seis visitas, sendo essas a fim de coletar amostras de água do poço, dessalinizada e rejeito do processo da dessalinização da água salobra. As campanhas de coletas de amostras foram realizadas de setembro a outubro

de 2010, por ser um período crítico na região quanto a precipitação. A Tabela 6 lista as comunidades visitadas, detalhando as datas das visitas e a localização do dessalinizador, através de suas coordenadas UTM, coletadas com auxílio de um aparelho receptor GPS Garmim etrex®.



Figura 5 – Mapa de localização das comunidades onde foram coletadas as amostras de água.

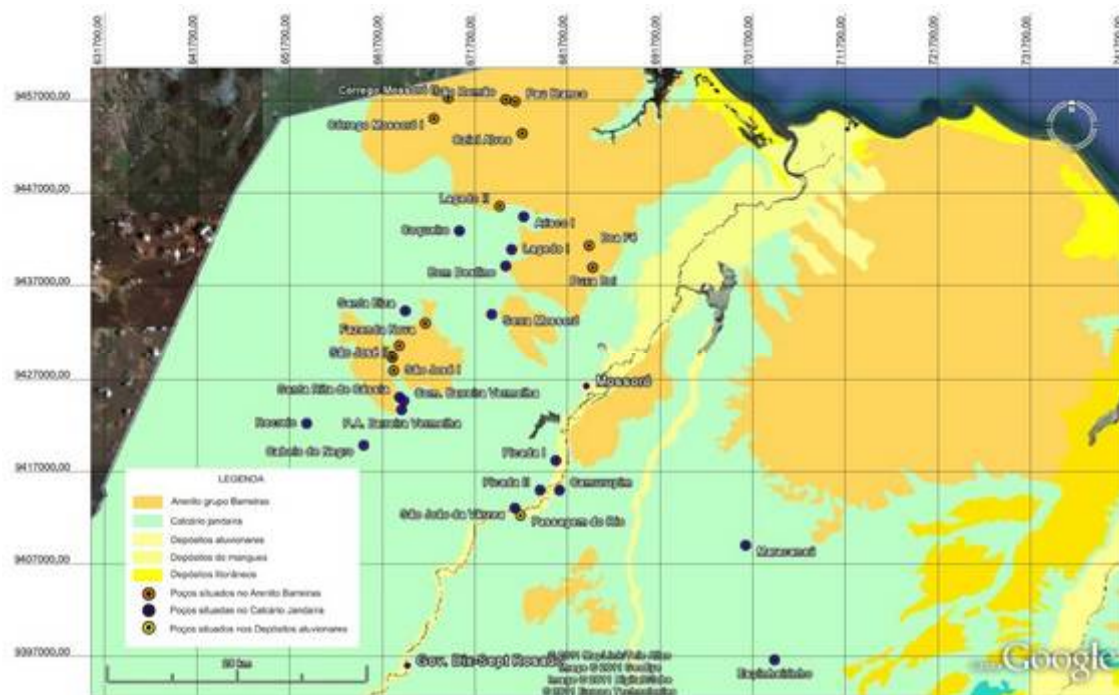


Figura 6 – Mapa de localização das comunidades em função das formações hidrogeológicas

Tabela 6 – Comunidades visitadas onde foram coletadas as amostras das águas para avaliação da qualidade.

Data da visita	Comunidades	Coordenada UTM do dessalinizador			
			Datum -WGS 84 / Zona UTM - 24 M		
15/09/2010	Boa Fé	E	684075	S	9441345
	Puxa Boi	E	684435	S	9438886
	Oziel Alves	E	676973	S	9453487
	São Romão	E	675227	S	9457149
	Córrego Mossoró I	E	667418	S	9455195
	Córrego Mossoró II	E	669002	S	9457410
22/09/2010	Lagedo I	E	675696	S	9441016
	Lagedo II	E	674452	S	9445681
	Arisco I	E	677034	S	9444529
	Coqueiro	E	670513	S	9444078
	Bom Destino	E	675043	S	9439254
	Serra Mossoró	E	673476	S	9434068
29/09/2010	Assent. Barreira vermelha	E	663602	S	9424039
	Com. Barreira Vermelha	E	663851	S	9424998
	Santa Rita de Cássia	E	663381	S	9425393
	Cabelo de Negro	E	669442	S	9420253
	Recreio	E	653302	S	9422675
07/10/2010	Santa Elza	E	664120	S	9434548
	Fazenda Nova	E	666264	S	9433190
	São José I	E	662779	S	9428266
	São José II	E	663423	S	9430815
	São Cristóvão	E	662659	S	9429684
14/10/2010	Passagem do Rio	E	676331	S	9412516
	Camurupim	E	680582	S	9415182
	Picada I	E	680235	S	9418381
	Picada II	E	678478	S	9415206
21/10/2010	São João da Várzea	E	675738	S	9413299
	Maracanaú	E	700659	S	9409009
	Espinheirinho	E	703648	S	9396001

Em cada comunidade foram coletadas amostras de três tipos de água: água do poço (AP); água de rejeito da dessalinização (AR) e água dessalinizada (AD), sendo uma amostra para cada tipo de água, observando-se os critérios para análise, conforme Palacios e Aceves (1970), ou seja, acondicionando as amostras em garrafas plásticas, opacas, de 500 mL, hermeticamente fechadas e conduzidas para análise laboratorial, as figuras 7 e 8 mostram

quando da coleta das amostras nas comunidades Cabelo de Negro e São João da Várzea, respectivamente. Ressalva-se a impossibilidade de coleta de algumas amostras de água de poço nas comunidades: Passagem do Rio; Picada II; São João da Várzea; Coqueiro; Lagedo II; Córrego Mossoró II e Ozziel Alves, em virtude de problemas no poço. Como também nas comunidades Camurupim (água de rejeito) e Lagedo I (água de rejeito e dessalinizada), devido a problemas nos dessalinizadores destas comunidades. Totalizando assim 80 amostras (23 amostras de AP; 28 amostras de AR e 29 amostras de AD).



Figura 7 - Coleta das amostras na comunidade Cabelo de Negro



Figura 8 - Coleta das amostras na comunidade São João da Várzea

As análises físico-químicas das amostras de água foram realizadas no Laboratório de Fertilidade e Nutrição de Plantas do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA . Nas amostras, com a finalidade de avaliar a qualidade destas águas para fins de irrigação , foram determinadas os seguintes parâmetros: condutividade elétrica (CE em dS m^{-1}), potencial hidrogeniônico (pH), as concentrações de Sódio (Na^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Potássio (K^+), Cloreto (Cl^-), Carbonato (CO_3^{2-}) e Bicarbonato (HCO_3^-), de acordo com as metodologias propostas por Richards (1954) e EMBRAPA (1997). Realizou-se, também, o cálculo da RAS, da Dureza e de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT). Foi realizada a estatística descritiva de todos os parâmetros analisados, com auxílio do software estatístico Assistat[®].

As águas foram classificadas e interpretadas quanto os riscos de salinidade e sodicidade, de acordo com os parâmetros do United States Salinity Laboratory - USSSL, de Riverside, que é baseado nos estudos realizados por Richards (1954), confeccionando-se um diagrama de classificação para cada tipo de água analisada, utilizando a ferramenta Excel[®], considerando também, as diretrizes da FAO para a avaliação da qualidade da água para irrigação (AYERS ; WESTCOT, 1999). Além, disso foram avaliados os riscos de toxidez de íons específicos da amostras das águas visando sua utilização agrícola e manejo adequado da irrigação.

Foram construídos mapas para identificar as comunidades que apresentaram águas de poços e de rejeito, com alto risco de salinização dos solos (elevadas CE da água) e de sodicidade (águas com elevada RAS), com auxílio do software Google Earth[®]

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 7, 8 e 9 mostram, respectivamente, os resultados das análises físico-químicas das águas de poços, de rejeito e dessalinizadas das comunidades rurais de Mossoró, RN.

Tabela 7 – Características físico-químicas das águas de poços das comunidades rurais de Mossoró, RN

Identificação	pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	SDT
		dS m ⁻¹	mmol _c L ⁻¹						mg L ⁻¹		
Assent. Barreira Vermelha	7,52	1,55	0,05	2,86	18,00	8,10	18,00	8,30	0,00	0,79	1240,0
Comum. Barreira Vermelha	7,62	1,58	0,10	2,50	15,80	11,50	20,00	7,60	0,00	0,68	1264,0
Santa Rita de Cássia	7,70	1,28	0,12	2,06	13,50	10,60	16,60	7,70	0,40	0,59	1024,0
São José II	7,81	1,01	0,13	1,74	9,50	12,00	12,00	7,80	0,60	0,53	808,0
São Cristóvão	7,46	1,46	0,07	2,73	15,20	9,20	18,40	7,80	0,00	0,78	1168,0
São José I	7,63	1,38	0,14	2,35	14,10	11,00	19,20	7,50	0,00	0,66	1104,0
Cabelo de Negro	7,93	0,91	0,18	1,28	9,50	6,70	6,00	8,20	0,80	0,45	728,0
Recreio	7,21	1,19	0,04	2,07	14,60	8,00	14,40	8,40	0,00	0,61	952,0
Picada I	7,53	2,75	0,05	4,97	21,60	17,90	55,60	8,40	0,00	1,12	2200,0
Passagem de Rio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Camurupim	7,59	4,25	0,01	0,80	31,20	21,30	88,80	9,50	0,00	0,16	3400,0
Picada II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
São João da Várzea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maracanaú	7,47	2,52	0,70	3,96	3,00	26,20	2,40	6,60	0,20	1,04	2016,0
Espinheirinho	7,46	3,21	0,57	11,56	19,70	23,90	7,20	5,90	0,30	2,48	2568,0
Serra Mossoró	6,64	1,26	0,25	2,55	5,60	10,80	7,20	0,00	7,90	0,89	1010,0
Santa Elza	7,05	1,72	0,08	4,58	8,50	9,10	14,80	0,40	5,10	1,54	1378,0
Fazenda Nova	6,72	0,92	0,04	1,62	4,60	8,50	5,00	0,30	6,10	0,63	739,7
Coqueiro II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lajedo II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bom Destino	7,45	0,60	0,40	4,35	10,00	7,50	6,20	0,00	12,20	1,47	479,6
Arisco I	7,04	0,52	0,12	7,23	11,20	4,20	10,00	0,00	9,90	2,61	416,0
Lajedo I	7,04	0,81	0,16	1,25	4,80	4,40	10,60	0,00	7,80	0,6	645,6
São Romão	6,97	1,52	0,05	43,26	9,30	3,20	15,60	0,00	7,40	17,30	1213,0
Puxa Boi	6,59	0,63	0,86	4,05	20,30	2,00	0,00	0,00	1,10	1,20	504,0
Pau Branco	6,93	0,22	3,83	72,73	12,90	4,00	53,80	0,00	3,70	25,02	176,0
Córrego Mossoró II	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oziel Alves	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Boa Fé	7,13	0,88	4,10	247,05	27,80	38,50	51,00	0,00	4,30	42,91	704,0
Córrego Mossoró I	6,70	1,22	0,05	2,79	7,70	2,30	5,20	0,00	6,30	1,25	972,0

Tabela 8 – Características físico-químicas das águas de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN

Identificação	pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	SDT
Assent. Barreira Vermelha	7,63	1,93	0,07	4,13	20,70	12,80	23,80	8,50	0,00	1,01	1544,0
Comum. Barreira Vermelha	7,57	1,77	0,11	3,20	18,50	13,70	25,40	7,90	0,00	0,80	1416,0
Santa Rita de Cássia	7,70	1,37	0,12	2,14	10,30	12,40	16,40	7,20	0,00	0,64	1096,0
São José II	7,94	1,70	0,21	2,78	14,30	16,10	17,00	10,90	0,50	0,71	1360,0
São Cristóvão	7,71	2,20	0,11	4,45	19,00	16,50	30,00	9,10	0,00	1,06	1760,0
São José I	8,08	1,76	0,18	3,13	16,30	11,70	28,80	9,00	0,90	0,84	1408,0
Cabelo de Negro	8,02	1,06	0,24	1,72	9,50	11,80	8,20	11,00	0,90	0,53	848,0
Recreio	6,96	1,73	0,09	4,40	24,30	7,60	19,60	11,90	0,00	1,10	1384,0
Picada I	7,60	3,16	0,13	5,45	26,00	21,00	59,60	8,90	0,00	1,12	2528,0
Passagem de Rio	7,70	1,92	0,08	3,48	4,60	9,90	43,40	5,30	0,00	1,29	1536,0
Camurupim	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Picada II	8,15	1,70	0,11	0,76	11,10	14,70	6,60	11,50	0,50	0,21	1360,0
São João da Várzea	7,70	1,91	0,39	5,15	16,70	23,30	51,20	8,30	1,20	1,15	1528,0
Maracanaú	7,61	3,58	0,81	13,23	12,20	37,80	20,40	8,70	0,10	2,65	2864,0
Espinheirinho	7,63	3,43	0,57	12,55	20,30	26,40	46,60	6,60	0,30	2,60	2744,0
Serra Mossoró	6,92	1,71	0,36	3,49	9,50	12,60	9,20	0,00	11,70	1,05	1368,0
Santa Elza	7,37	0,89	0,14	11,98	14,30	12,40	25,40	0,90	7,80	3,28	712,0
Fazenda Nova	7,34	1,24	0,05	2,17	8,50	7,60	6,60	0,70	9,00	0,76	995,2
Coqueiro II	7,62	0,34	0,19	2,17	7,00	8,10	5,60	0,00	52,30	0,79	274,1
Lajedo II	7,18	3,41	0,15	15,83	22,00	1,60	26,40	0,00	8,90	4,61	2728,0
Bom Destino	7,55	0,58	0,38	4,31	14,50	1,60	7,00	0,00	11,60	1,52	465,4
Arisco I	7,20	0,64	0,18	10,17	14,00	2,20	15,00	0,00	13,10	3,57	512,0
Lajedo I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
São Romão	6,94	2,48	0,08	83,07	10,70	7,40	14,80	0,00	7,50	27,61	1984,0
Puxa Boi	6,79	4,48	0,30	187,75	13,30	9,20	35,40	0,00	4,90	55,98	3584,0
Pau Branco	7,05	2,52	0,46	6,64	10,20	13,40	13,20	0,00	7,70	1,93	2016,0
Córrego Mossoró II	6,71	1,31	0,11	3,64	6,40	4,00	7,80	0,00	5,30	1,60	1044,8
Oziel Alves	7,11	2,81	0,16	87,56	12,30	6,90	20,80	0,00	7,80	28,26	2248,0
Boa Fé	6,92	7,46	0,48	246,61	28,60	14,30	9,40	0,00	7,40	53,25	5968,0
Córrego Mossoró I	6,71	1,31	0,06	3,12	6,80	8,10	7,80	0,00	6,10	1,14	1048,8

Tabela 9 – Características físico-químicas das águas dessalinizadas das comunidades rurais de Mossoró, RN

Identificação	pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	SDT
Assent. Barreira Vermelha	6,55	0,03	0,01	0,21	0,00	0,03	1,60	0,80	0,00	1,70	24,0
Comum. Barreira Vermelha	7,40	0,10	0,02	0,33	0,00	0,02	2,00	1,00	0,00	3,32	80,0
Santa Rita de Cássia	7,65	0,18	0,03	0,39	0,00	0,00	3,60	1,30	0,00	0,00	144,0
São José II	7,09	0,01	0,02	0,14	0,00	0,00	1,00	0,80	0,00	0,00	8,0
São Cristóvão	6,63	0,07	0,02	0,29	0,00	0,00	3,20	0,90	0,00	0,00	56,0
São José I	6,58	0,07	0,03	0,32	0,00	0,00	2,20	1,10	0,00	0,00	56,0
Cabelo de Negro	7,22	0,01	0,02	0,10	0,00	0,20	1,20	1,20	0,00	0,33	8,0
Recreio	7,87	0,29	0,02	0,66	0,00	0,20	4,00	2,10	0,00	2,10	232,0
Picada I	6,28	0,14	0,01	0,24	0,00	1,80	3,40	1,00	0,00	0,26	112,0
Passagem de Rio	7,08	0,11	0,02	0,32	0,00	0,00	3,00	3,00	0,00	0,00	88,0
Camurupim	6,88	0,22	0,01	0,48	0,50	1,00	4,60	1,70	0,00	0,55	176,0
Picada II	7,70	0,37	0,04	0,29	3,10	4,30	3,20	4,10	0,00	0,15	296,0
São João da Várzea	6,95	0,34	0,07	0,91	1,20	1,30	43,20	1,20	0,00	0,82	272,0
Maracanaú	7,23	0,56	0,16	3,51	0,00	0,00	7,00	1,00	0,00	0,00	448,0
Espinheirinho	7,10	0,29	0,06	1,15	0,00	0,20	51,40	0,90	0,00	3,63	232,0
Serra Mossoró	5,88	0,19	0,06	0,70	1,50	1,70	2,60	0,00	0,80	0,55	153,2
Santa Elza	5,08	0,04	0,00	0,23	0,10	0,20	1,00	0,00	1,20	0,60	28,1
Fazenda Nova	5,52	0,07	0,00	0,28	0,20	1,30	1,20	0,00	1,50	0,32	55,0
Coqueiro II	6,89	0,15	0,04	0,51	0,20	0,60	1,60	0,00	11,50	0,81	117,5
Lajedo II	6,36	0,38	0,02	1,99	0,30	0,20	3,60	0,00	3,20	3,99	301,3
Bom Destino	7,74	0,31	0,13	1,47	0,20	0,20	1,80	0,00	3,90	3,29	246,9
Arisco I	5,96	0,10	0,01	0,50	0,10	0,10	1,20	0,00	1,70	1,60	82,3
Lajedo I	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
São Romão	6,12	0,13	0,02	0,90	0,30	0,30	1,40	0,00	1,50	1,64	107,3
Puxa Boi	6,14	0,36	0,06	2,99	0,00	0,00	2,60	0,00	1,10	0,00	286,2
Pau Branco	5,15	0,15	0,07	0,76	0,50	0,30	1,00	0,00	1,60	1,20	122,5
Córrego Mossoró II	6,17	0,20	0,02	0,96	1,00	0,60	1,60	0,00	1,80	1,07	163,4
Oziel Alves	5,05	0,16	0,01	0,98	0,30	0,20	1,20	0,00	2,30	1,96	128,1
Boa Fé	6,90	0,63	0,10	40,61	1,90	1,50	6,20	0,00	1,60	31,15	504,0
Córrego Mossoró I	5,98	0,30	0,02	1,02	1,60	0,50	1,80	0,00	2,40	0,99	238,6

Observa-se, pelos resultados das análises físico-químicas que, com exceção do pH, houve uma grande variabilidade dos valores de CE, RAS, e SDT, bem como dos teores dos vários íons analisados, comprovados pelos elevados coeficientes de variação destes parâmetros (Tabela 10). Esta grande variação nos resultados obtidos deve-se ao fato do pequeno número de amostras analisadas, em virtude da quantidade de comunidades existentes na região do estudo. No entanto, evidencia a importância da caracterização destas águas de

forma individual para cada comunidade onde se deseja utilizar essas águas na agricultura, ou seja, evitar a extrapolação de resultados de análise de água de determinada comunidade para outra, possibilitando desta forma um correto planejamento e manejo da sua utilização na agricultura.

Tabela 10 – Estatísticas descritivas referentes aos parâmetros das águas das comunidades rurais de Mossoró, RN

Amostra de água	pH			CE (dS m ⁻¹)			RAS		
	Md ¹	D.P. ²	C.V. ³	Md	D.P.	C.V.	Md	D.P.	C.V.
Poço	7,26	0,39	5,41	1,43	0,95	66,56	4,56	10,25	224,76
Rejeito	7,40	0,42	5,71	2,14	1,44	66,94	7,18	15,40	210,40
Dessalinizada	6,59	0,79	12,10	0,21	0,18	86,13	2,13	5,70	266,69
Amostra de água	Dureza (mmol L ⁻¹)			SDT (mg L ⁻¹)			Ca ²⁺ (mmol L ⁻¹)		
	Md	D.P.	C.V.	Md	D.P.	C.V.	Md	D.P.	C.V.
Poço	1251,08	682,90	66,56	1147,31	763,31	66,53	13,42	7,23	53,92
Rejeito	1333,92	548,41	41,11	1719,92	1151,88	66,97	14,35	6,20	43,20
Dessalinizada	51,29	78,80	153,63	171,34	147,68	86,19	0,44	0,74	166,25
Amostra de água	Mg ²⁺ (mmol L ⁻¹)			Na ⁺ (mmol L ⁻¹)			K ⁺ (mmol L ⁻¹)		
	Md	D.P.	C.V.	Md	D.P.	C.V.	Md	D.P.	C.V.
Poço	11,33	8,85	78,03	18,70	52,40	280,20	0,52	1,10	210,70
Rejeito	12,33	7,79	63,22	26,25	58,51	222,87	0,22	0,13	80,63
Dessalinizada	0,57	0,90	156,97	2,18	7,43	340,93	0,037	0,038	100,70
Amostra de água	Cl ⁻ (mmol L ⁻¹)			CO ₃ ²⁻ (mmol L ⁻¹)			HCO ₃ ⁻ (mmol L ⁻¹)		
	Md	D.P.	C.V.	Md	D.P.	C.V.	Md	D.P.	C.V.
Poço	19,90	21,62	108,73	4,10	97,61	4,00	3,22	3,83	119,00
Rejeito	21,47	14,63	68,15	4,51	4,67	103,56	5,91	10,08	170,50
Dessalinizada	5,63	11,68	207,47	0,76	0,99	131,10	1,24	2,25	181,44

¹Média; ² Desvio Padrão; ³Coeficiente de Variação (%)

4.1 CLASSIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS QUANTO AO RISCO DE SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO

Partindo dos valores de CE e RAS, foram classificadas as águas dos poços, as águas de rejeito e as águas dessalinizadas das comunidades rurais do município de Mossoró, RN,

quanto ao perigo de salinidade e sodicidade, de acordo com os critérios propostos para a classificação das águas para irrigação do United States Salinity Laboratory - USSSL, de Riverside, e considerando também, diretrizes da FAO para a avaliação da qualidade da água (AYERS ; WESTCOT, 1999).

4.1.1 Água dos poços

Na Figura 9, podemos observar que, com exceção da comunidade Pau Branco, todas as comunidades apresentaram a água de seus respectivos poços, classificadas a partir da categoria C₂ (águas de salinidade média), chegando até a categoria C₄ (águas de salinidade muito alta).

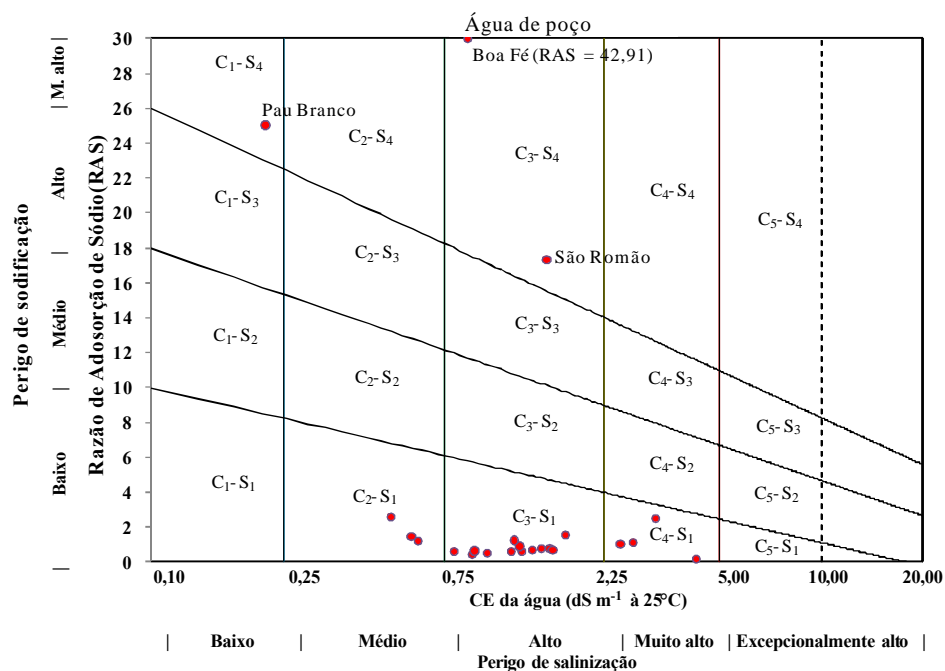


Figura 9 - Diagrama de classificação de águas para irrigação da USSSL: classificação das águas dos poços das comunidades rurais do município de Mossoró, RN

Objetivando uma melhor visualização das informações da Figura 9, elaborou-se a Tabela 11 que mostra uma síntese dos percentuais das classificações da água, quanto a sua

qualidade para a irrigação, de acordo com as diretrizes do USSL para as águas dos poços analisadas. Apenas 13,04 % das águas dos poços das comunidades rurais estudadas são classificadas em C₂S₁, que são águas consideradas boas para a prática da irrigação, por apresentarem um nível médio de salinidade e baixo de sodicidade, podendo ser usadas em solos que permitam uma lixiviação moderada de sais, como os solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos, e se prestam ao cultivo da maioria dos vegetais. Enquadram-se nesta classificação as comunidades Bom Destino, Arisco I e Puxa Boi.

Tabela 11 – Percentagens relativas das diferentes classes de água para água dos poços das comunidades rurais de Mossoró, RN, com base na classificação do USSL

Amostra de água	Classes	Perigo de		%	Qualidade da água
		Salinidade	Sodicidade		
Poço	C ₁ S ₄	Baixo	Muito Alto	4,35	Ruim
	C ₂ S ₁	Médio	Baixo	13,04	Boa
	C ₃ S ₁	Alto	Baixo	56,52	Regular
	C ₃ S ₄	Alto	Muito Alto	8,70	Ruim
	C ₄ S ₁	Muito Alto	Baixo	17,39	Ruim

As águas dos poços são predominantemente C₃S₁, com 56,52% das águas, e são consideradas de qualidade regular, apesar do baixo nível de sodicidade, mas devido ao alto teor de sais; incluem-se nesta classificação as águas dos poços das comunidades Barreira Vermelha (assentamento), Barreira vermelha (comunidade), Santa Rita de Cássia, São José I, São José II, São Cristóvão, Cabelo de Negro, Recreio, Serra Mossoró, Santa Elza, Fazenda Nova, Lagedo I e Córrego Mossoró. Estas águas sofrem restrições quanto a sua utilização para a irrigação, não podendo ser utilizada em solos com drenagem deficiente, por depositarem no solo uma grande quantidade de sais, que conseqüentemente se acumulam no solo próximo a zona radicular das plantas, aumentando a cada irrigação seus teores, podendo vir a gerar problemas de salinidade no solo, afetando sua estrutura e comprometendo o rendimento das culturas sensíveis aos sais.

Para viabilizar a utilização das águas com elevada salinidade, necessita de adoção de práticas especiais de manejo da água e do solo para o controle da salinidade como a drenagem e lâmina de lixiviação. Neste caso, por exemplo, poderiam ser cultivadas irrigando-se com estas águas, culturas moderadamente sensíveis à salinidade como abóbora, alface, batata-doce, melancia, melão, milho, girassol e mamona (AYERS ; WESTCOT, 1999)

Somam-se 30,44% as águas dos poços das comunidades rurais que são de elevada restrição para uso na irrigação; destes 17,39% são C_4S_1 e restringem-se quanto a salinidade, nesta classificação estão as comunidades com maiores níveis de salinidade da água dos poços, quais sejam: Camurupim ($4,25 \text{ dS m}^{-1}$), Espinheirinho ($3,21 \text{ dS m}^{-1}$), Picada I ($2,75 \text{ dS m}^{-1}$) e Maracanaú ($2,52 \text{ dS m}^{-1}$), conforme destacado no mapa da Figura 10. Águas com elevados níveis salinos com CE próximas ou superiores a $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, têm seu uso na irrigação condicionado a uma série de fatores que dependem do tipo de solo, do clima da região e de manejo da água. Considerando boas condições de manejo do sistema água-solo-planta, culturas tolerantes podem ser cultivadas, tais como mamão, abacaxi e algodão são exemplos destas culturas (AYERS ; WESTCOT, 1999).



¹Nome da comunidade (CE da água do poço em dS m^{-1})

Figura 10 – Mapa destacando as comunidades da zona rural de Mossoró, RN que apresentam maiores valores de condutividade elétrica (CE) da água de poço

Constatou-se que 8,70% das amostras de água tem elevadas restrições quanto a salinidade e sodicidade (C_3S_4), representada pelas comunidades São Romão e Boa Fé, ainda, 4,35% possuem elevada restrição quanto a sodicidade (C_1S_4), representado pela comunidade Pau Branco. Estas águas apresentaram elevada Razão de Adsorção de Sódio (RAS), devido às elevadas concentrações de sódio, sendo portanto, águas que com severas restrições para o seu uso na irrigação, devido ao elevado risco de sodificação do solo. Estas comunidades apresentam-se geograficamente próximas, estando seus poços situados na área de abrangência do Sistema Aquífero Jandaíra (Bacia Sedimentar Potiguar) (Figura 6 e Figura 11).

De acordo com Diniz Filho et al. (2000), as águas do Sistema Aquífero Jandaíra são predominantemente cloretadas mistas, podendo apresentar-se também como cloretadas sódicas, evidenciando assim, os elevados níveis de sódio nas águas dos poços de algumas comunidades, influenciando diretamente na sua qualidade para irrigação. O processo de salinização no aquífero ocorre, predominantemente, pela dissociação da calcita e dolomita, que são os principais minerais componentes da matriz rochosa desta formação (MENDONÇA et al., 2002).



¹Nome da comunidade (RAS da água do poço)

Figura 11 – Mapa destacando as comunidades da zona rural de Mossoró, RN que apresentam maiores valores de Razão de adsorção de sódio (RAS) da água de poço

A sodificação do solo causa problemas na infiltração de água no solo tornando a capacidade de drenagem natural do solo reduzida. A infiltração refere-se à capacidade com que a água transpassa a superfície de um solo sendo este processo medido em termos de velocidade. Segundo Ayers e Westcot (1999), de uma maneira geral, a infiltração de água no solo aumenta com o aumento da salinidade e diminui com a sua redução ou com o aumento no teor de sódio em relação ao cálcio e magnésio, que é medido pela razão de adsorção de sódio (RAS).

Desta forma, os problemas de infiltração relacionados com a qualidade da água de irrigação que está sendo utilizada devem ser avaliados através dos valores da CE e RAS da água em conjunto. Considerando estes dois fatores e as diretrizes da FAO (AYERS ; WESTCOT, 1999), das águas de poço estudadas, 73,91% não provocam problemas de infiltração no solo, 17,39% têm grau de restrição de ligeira a moderada e apenas 8,70%

apresentam-se com restrições severas a sua utilização na irrigação por serem potenciais causadores de problemas de infiltração nos solos (Tabela 12). Morais et al., (1998), analisando um banco de dados com 1077 amostras de águas da região de Mossoró, RN, onde predominavam amostras de poços tubulares, encontrou resultados semelhantes aos do presente estudo, os valores percentuais de 55,52%, 38,82% e 5,66%, correspondendo na mesma ordem aos graus de restrição citados no presente estudo.

Tabela 12 – Restrições quanto a problemas de infiltração nos solos causados pela sodicidade da água, em conjunto com a CE

Grau de restrição ¹	Amostra de água		
	Poço	Rejeito	Dessalinizada
Nenhuma	73,91	75,00	0,00
Ligeira a moderada	17,39	17,86	37,93
Severa	8,70	7,14	62,07

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

Com relação aos teores dos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- e Cl^- presentes nos diferentes tipos de águas estudadas, a média de amostras de água com teores de íons dentro dos limites normais para as águas dos poços foi de 68,8%. Apenas o cátion Mg^{2+} e o ânion CO_3^{2-} , apresentaram número de amostras com teores além dos considerados normais, enquanto que para os demais íons (Ca^{2+} , Na^+ , HCO_3^- e Cl^-) mais de 80% das amostras apresentaram teores normais para águas de irrigação, segundo Ayers e Westcot (1999) (Tabela 13).

Tabela 13 – Percentagens de valores normais à água de irrigação, para água dos poços das comunidades rurais de Mossoró, RN.

Parâmetros ¹	Valores Normais	Unidade	Poço
Conteúdo de sais			
CE	0 - 3,0	dS m ⁻¹	91,3
SDT	0 - 2000	mg L ⁻¹	82,61
Cátions e Ânions			
Ca^{2+}	0 - 20	mmol _c L ⁻¹	82,61
Mg^{2+}	0 - 5	mmol _c L ⁻¹	26,09
Na^+	0 - 40	mmol _c L ⁻¹	86,96
CO_3^{2-}	0 - 0,1	mmol _c L ⁻¹	39,19
HCO_3^-	0 - 10	mmol _c L ⁻¹	95,65
Cl^-	0 - 30	mmol _c L ⁻¹	82,61
Vários			
pH	6 - 8,5	-	100
RAS	0 - 15	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	86,96

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

4.1.2 Águas de rejeito da dessalinização

Na Figura 12, podemos observar no diagrama que em termos de classificação da água para irrigação, as águas de rejeito da dessalinização das comunidades, em sua maioria, mantiveram as mesmas classificações das águas dos poços, mesmo após passarem pelo processo de dessalinização por osmose reversa. Com relação à salinidade, 80,95% das amostras mantiveram a classificação e quanto à sodicidade, 95% das amostras mantiveram a mesma classificação de antes. Porém os valores de CE destas águas são superiores aos das águas de poços proporcionados pelo aumento nas concentrações dos sais contidos na água residuária do processo de dessalinização, para se ter uma idéia, exceto para as comunidades Boa Fé, Puxa Boi e Lajedo II (comunidades com maior diferença entre as CE's das água de poço e rejeito), a água CE dos rejeitos é em média $0,83 \text{ dS m}^{-1}$, maior que a CE das água dos poços.

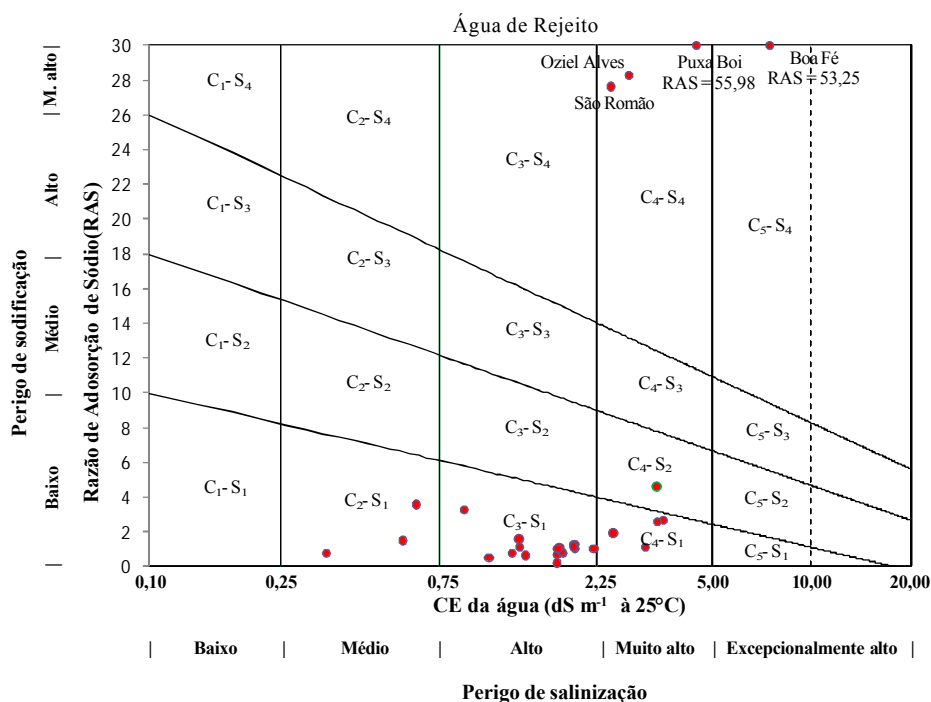


Figura 12 - Diagrama de classificação de águas para irrigação da USSL: classificação das águas de rejeito das comunidades rurais do município de Mossoró, RN

Apesar de estas águas serem mais salinas, a classe C_3S_1 também é predominante com 57,14 % dos rejeitos salinos estudados, porém havendo uma maior quantidade de classes de classificação da água, seis classes ao invés de cinco (das águas dos poços) (Tabela 14). A

predominância de uma mesma classe de classificação para as águas de poço e rejeito, deve-se ao fato de que o intervalo entre as classes C₃ e C₄ da classificação da USSL ser de 1,5 dS m⁻¹, que corresponde a quase o dobro da média do aumento dos níveis de salinidade das águas de rejeitos quando da sua dessalinização, contribuindo para a predominância da classe C₃. Apesar disto deve-se atentar para o quão salino são as águas de rejeito da dessalinização, alertando para a necessidade de cuidados especiais com relação ao seu destino e um manejo adequado para a sua reutilização.

As comunidades que possuem o rejeito salino com maiores condutividades elétricas são por ordem decrescente são: Boa Fé (7,46 dS m⁻¹); Puxa Boi (4,48 dS m⁻¹); Maracanaú (3,58 dS m⁻¹); Espinheirinho (3,43 dS m⁻¹); Lajedo II (3,41 dS m⁻¹); Picada I (3,16 dS m⁻¹); Oziel Alves (2,81 dS m⁻¹); Pau Branco (2,52 dS m⁻¹) e São Romão (2,48 dS m⁻¹), a Figura 13 destaca estas comunidades. Uma preocupação surgente nestas comunidades é a deposição adequada destes rejeitos, uma vez que podem contaminar os mananciais hídricos, 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 (Amorim et al., 2004). 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 maior que 12,0 dS m⁻¹ e a percentagem de sódio trocável (PST) já atingiu valor maior que 15%, nos primeiros 30 cm do solo, nos locais onde os rejeitos são depositados.

Desta forma, buscando amenizar estes potenciais riscos, algumas alternativas de reutilização do rejeito estão sendo estudadas, como o cultivo de espécies halófitas, dentre as quais a erva-sal (*Atriplex nummularia* L.) é uma das mais importantes, que devido ser originária de regiões áridas, o gênero *Atriplex* vem de destacando há algumas décadas, principalmente por conseguir produzir e manter uma abundante fitomassa, mesmo em ambientes de alta aridez e salinidade, adaptando-se muito bem a regiões com baixas precipitações (Porto et al., 2001). Outros autores como Amorim et al. (2004) e Dubon e Pinheiro (2001) observaram resultados também promissores ao investigar o crescimento da tilápia (*Oreochromis* SP), em águas de elevada salinidade. Além da piscicultura, a carcinicultura também vem sendo empregada no aproveitamento da água de rejeito. Um grupo de pesquisa da EMBRAPA investiga a viabilidade de criação de camarão (*Panaeus vannamei*).

Outra alternativa que vem sendo estudada para o reuso do rejeito da dessalinização é sua utilização na composição da solução nutritiva para o cultivo hidropônico de diversas

hortaliças, que surge como uma forma interessante para destinar este resíduo como mostra os resultados de pesquisas de diversos autores (SOARES, 2007; DIAS 2010; SANTOS 2010b e SANTOS 2010b). Uma vez que os cultivos hidropônicos podem constituir uma vantagem quando se utiliza água salobra, pois neste sistema, inexistente o potencial mátrico, devido ao estado de saturação que as plantas estão submetidas, fato que pode possibilitar o aumento da resposta das culturas à salinidade (SOARES, 2007).

Tabela 14 – Percentagens relativas das diferentes classes de água para a água de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN, com base na classificação do USSL

Amostra de água	Classes	Perigo de ¹		%	Qualidade da água
		Salinidade	Sodicidade		
Rejeito	C ₂ S ₁	Médio	Baixo	10,71	Boa
	C ₃ S ₁	Alto	Baixo	57,14	Regular
	C ₄ S ₁	Muito Alto	Baixo	14,29	Ruim
	C ₄ S ₂	Muito Alto	Médio	3,57	Ruim
	C ₄ S ₄	Muito Alto	Muito Alto	10,71	Ruim
	C ₅ S ₄	Excep. Alto ²	Muito Alto	3,57	Ruim

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

²Excepcionalmente alto

As comunidades, Boa Fé e São Romão, continuam a se destacar das demais comunidades com relação aos níveis de sódio contidos na água de rejeito produzida por elas, como também as comunidades Oziel Alves e Puxa Boi (Figura 14). Vale salientar que a comunidade “Oziel Alves”, classificada como C₄S₄, portanto, uma água imprestável à irrigação, não possui a classificação para a água do poço em virtude de impossibilidade, quando da visita à comunidade, da coleta de uma amostra deste tipo de água, devido a problemas técnicos no poço, enquanto que a comunidade Puxa boi foi a que sofreu maior modificação da qualidade da água de rejeito em relação à do poço (C₂S₁) para a de rejeito (C₄S₄). Para a utilização deste rejeito na hidroponia, por exemplo, deve-se ter cuidado com os elevados teores de sódio, que podem causar problemas de toxidez em culturas sensíveis a elevados teores de sódio.

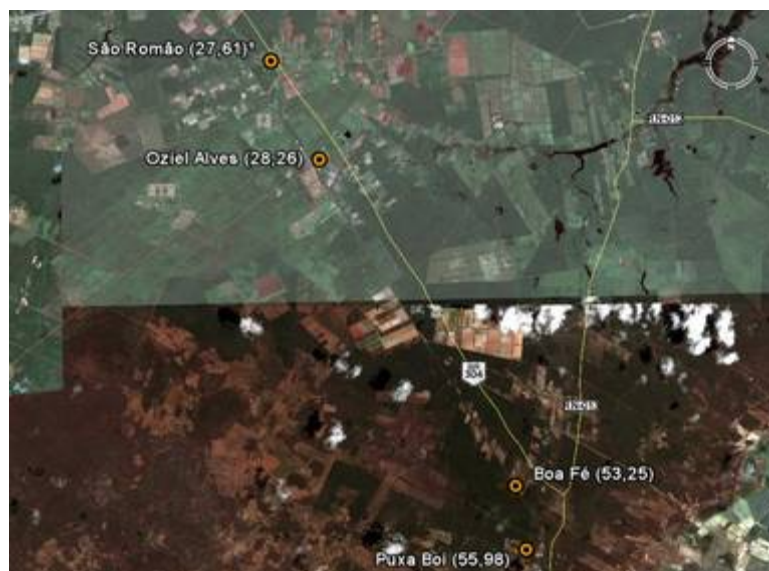


¹Nome da comunidade (CE da água do poço em dS m⁻¹)

Figura 13 – Mapa destacando as comunidades da zona rural de Mossoró, RN que apresentam maiores valores de condutividade elétrica (CE) da água de rejeito

De acordo com os parâmetros para avaliação da qualidade da água proposta por Ayers e Westcot (1999), para a água de rejeito (Tabela 15), estas porcentagens de valores normais, respectivamente, para CE e SDT foram 78,57% e 71,43%, representando uma redução da qualidade deste tipo de água que para a CE foi em torno de 13,0% e para SDT da ordem de 11,0%. Das amostras de águas de rejeito analisadas, 67,86% têm restrições ligeiras a moderadas, enquanto que 21,43% restrições severas, totalizando, desta maneira, 89,29% de águas de rejeito das comunidades rurais com limitações à sua utilização na irrigação, sendo portanto, potenciais causadores de impactos ao solo e aos mananciais hídricos que por ventura sejam depositadas.

As águas de rejeito, com relação aos problemas de sodicidade do solo (Tabela 12) apresentaram uma menor porcentagem no que diz respeito a severas restrições de uso do que as águas dos poços, sendo de 7,14%, o que pode ser atribuído ao fato de que as águas de rejeito da dessalinização por osmose reversa, em geral, apresentam maiores concentrações de sais e conseqüentemente CE mais elevada, o que proporciona mesmo em águas de elevada RAS a manutenção das propriedades físicas do solo com relação à infiltração (OSTER ; SCHROER, 1979).



¹Nome da comunidade (RAS da água do poço)

Figura 14 – Mapa destacando as comunidades da zona rural de Mossoró, RN que apresentam maiores valores de Razão de adsorção de sódio (RAS) da água de poço

Com relação às concentrações dos íons, elevado percentual de águas de rejeito possuem teores de Ca, Na, HCO₃ e Cl⁻, dentro dos níveis considerados normais (Tabela 15), Já para o íons CO₃⁻ e principalmente o Mg, uma baixa quantidade de águas estão dentro da faixa considerada normal para estes elementos. Todas as águas tiveram pH normal, e a maioria apresentou RAS entre 0 e 15 (mmol_c L⁻¹)^{1/2}.

Tabela 15 – Percentagens de valores normais à água de irrigação, para água de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN

Parâmetros ¹	Valores Normais	Unidade	Rejeito
Conteúdo de sais			
CE	0 - 3,0	dS m ⁻¹	78,57
SDT	0 - 2000	mg L ⁻¹	71,43
Cátions e Ânions			
Ca ²⁺	0 - 20	mmol _c L ⁻¹	78,57
Mg ²⁺	0 - 5	mmol _c L ⁻¹	14,29
Na ⁺	0 - 40	mmol _c L ⁻¹	85,71
CO ₃ ²⁻	0 - 0,1	mmol _c L ⁻¹	42,86
HCO ₃ ⁻	0 - 10	mmol _c L ⁻¹	85,71
Cl ⁻	0 - 30	mmol _c L ⁻¹	82,14
Vários			
pH	6 - 8,5	-	100
RAS	0 - 15	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	85,71

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

4.1.3 Águas dessalinizadas

O principal objetivo da dessalinização nas comunidades rurais de Mossoró é a obtenção de água dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano, visando o abastecimento doméstico. Mesmo assim, estas águas foram também classificadas quanto sua qualidade para irrigação, visando à possibilidade de sua utilização na agricultura como acontece em vários países do Oriente-Médio como Arábia Saudita e Israel, além da Espanha, onde 22,4% do total de água dessalinizada são usados para agricultura (BELTRÁN ; KOO-OSHIMA, 2006). No entanto, ressalva-se a necessidade de estudos da viabilidade econômica da utilização de água salobra dessalinizada na agricultura na região semiárida nordestina.

No diagrama da USSL mostrado na Figura 15 para as amostras de água dessalinizada das comunidades rurais, podemos observar a capacidade que os dessalinizadores instalados nas comunidades têm de gerar uma água com concentrações reduzidas de sais, caracterizada pela presença de apenas duas classes de água quanto os níveis de sais (C_1 e C_2).

De acordo com esta classificação, 96,55% das amostras de água dessalinizada são águas boas para a prática da irrigação, sendo que deste total 65,52% são águas C_1S_1 e 31,03 são C_2S_1 , ou seja, mesmo com o processo de dessalinização a condutividade elétrica de algumas comunidades foram superiores a $0,25 \text{ dS m}^{-1}$, com destaque nas comunidades Maracanaú ($CE = 0,56 \text{ dS m}^{-1}$) e Boa Fé ($CE = 0,63 \text{ dS m}^{-1}$) (Figura 15).

Como se pode observar também a comunidade Boa Fé apresentou teores elevados de sódio, o que implicou em um valor elevado da RAS da água ($RAS = 31,15 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{1/2}$), sendo classificada como C_2S_4 , neste caso, uma possível ineficiência da membrana seletiva do dessalinizador, pode ser a causa disto, visto a também o valor da CE da água dessalinizada desta comunidade que foi a maior entre todas as demais comunidades.

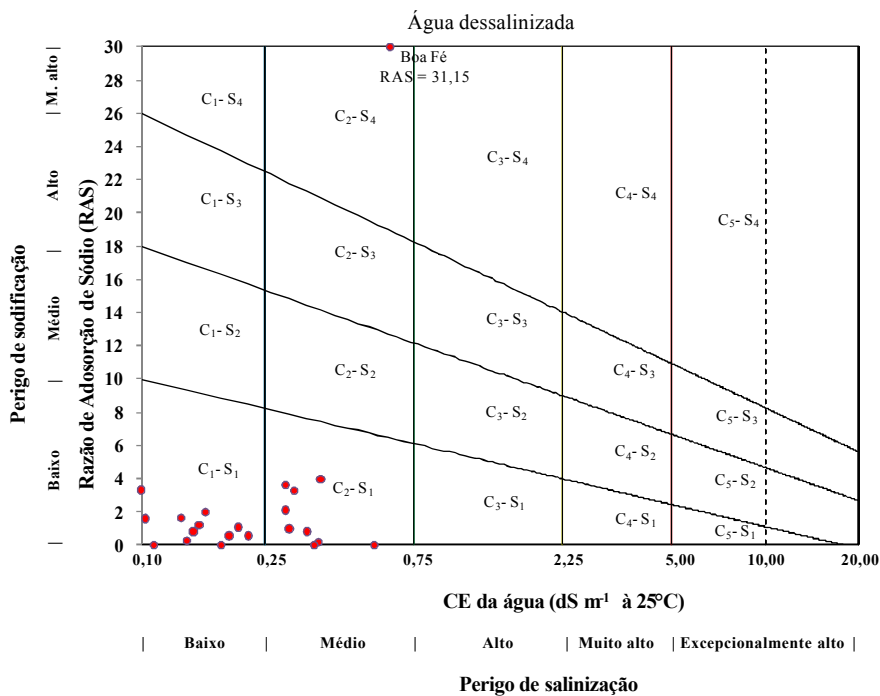


Figura 15. Diagrama de classificação de águas para irrigação da USSL: classificação das águas dessalinizadas das comunidades rurais do município de Mossoró, RN

Apesar da classificação da USSL apontar as águas dessalinizadas, com exceção de apenas uma, como apropriadas à irrigação (Tabela 16), quando se faz uma análise conjunta considerando a CE e a RAS de acordo com as diretrizes de Ayers e Westcot (1999), verificou-se que em todos os casos as águas apresentaram alguma restrição quanto a causarem problemas de infiltração no solo (Tabela 12), sendo que deste total, 62,07 % apresentaram severas restrições, segundo Ayers e Westcot (1999), independente do valor da RAS, as águas de salinidade muito baixa (condutividade abaixo de $0,2 \text{ dS m}^{-1}$), que é o caso da maioria das águas dessalinizadas, causam invariavelmente problemas de infiltração

Tabela 16 – Percentagens relativas das diferentes classes de água para a água de rejeito das comunidades rurais de Mossoró, RN, com base na classificação do USSL

Amostra de água	Classes	Perigo de		%	Qualidade da água
		Salinidade	Sodicidade		
dessalinizada	C ₁ S ₁	Baixo	Baixo	65,52	Excelente
	C ₂ S ₁	Médio	Baixo	31,03	Boa
	C ₂ S ₄	Médio	Muito Alto	3,45	Ruim

Com relação às concentrações de íons, as águas dessalinizadas apresentaram teores elevados apenas para o CO_3^{2-} em mais da metade das comunidades rurais (51, 72%), enquanto que para os demais íons os teores foram normais em mais de 90,0% das comunidades. Porém, o pH de 24,14% das águas dessalinizadas não estão em conformidade com os padrões de Ayers e Westcot (1999) (Tabela 17), sendo estes sempre menores que o limite mínimo do intervalo de normalidade proposto, ou seja, são águas levemente ácidas.

Tabela 17 – Percentagens de valores normais à água de irrigação, para água dessalinizada das comunidades rurais de Mossoró, RN

Parâmetros ¹	Valores Normais	Unidade	Dessalinizada
Conteúdo de sais			
CE	0 - 3,0	dS m-1	100
SDT	0 - 2000	mg L-1	100
Cátions e Ânions			
Ca^{2+}	0 - 20	mmol _c L ⁻¹	100
Mg^{2+}	0 - 5	mmol _c L ⁻¹	100
Na^+	0 - 40	mmol _c L ⁻¹	96,55
CO_3^{2-}	0 - 0,1	mmol _c L ⁻¹	48,28
HCO_3^-	0 - 10	mmol _c L ⁻¹	96,55
Cl^-	0 - 30	mmol _c L ⁻¹	93,1
Vários			
pH	6 - 8,5	-	75,86
RAS	0 - 15	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	96,55

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

4.2 QUALIDADE DAS ÁGUAS QUANTO À TOXIDIZ DE ÍONS ESPECÍFICOS

Alguns íons contidos nas águas de irrigação podem gerar outros problemas além da salinização dos solos, como é o caso da toxicidade de alguns íons específicos, que afetam diretamente à planta, desta forma, a toxicidade origina-se quando certos íons, absorvidos pela planta juntamente com a água do solo, acumulam-se nos tecidos foliares durante a transpiração da planta em determinadas quantidades suficientemente grandes para causarem

danos aos processos fisiológicos das plantas, e conseqüentemente, reduzir o rendimento das plantas sensíveis. Os íons tóxicos comumente encontrados nas águas de irrigação são o cloreto, sódio e o boro, podendo causar danos pela ação individual ou pela suas interações. A toxicidade dos íons em razão da absorção excessiva do Na^+ e Cl^- causam distúrbios na absorção ou distribuição dos nutrientes gerando efeitos sobre a nutrição mineral das plantas (YAHYA, 1998).

Partindo das diretrizes apontadas por Ayers e Westcot (1999), para a toxicidade de íons específicos de acordo com o método de irrigação utilizado, verificou-se que com relação à toxicidade por sódio, nas amostras de água analisadas independentemente do sistema de irrigação utilizado, 43,48%, das águas dos poços apresentaram restrições ligeiramente moderadas a severas, enquanto que para as águas de rejeito este percentual aumentou bastante, atingindo 78,57%, devido ao aumento da concentração do sódio provocado pela dessalinização da água (Tabela 18). Todavia, as águas que não apresentam restrições, 56,52% e 21,43%, respectivamente, para poço e rejeito, podem causar problemas, uma vez que a toxicidade devida aos íons de sódio pode se manifestar mesmo com quantidades relativamente baixas desses íons.

Os sintomas típicos da toxidez por sódio aparecem geralmente, sob a forma de queimaduras ou necrose ao longo das bordas foliares. Frequentemente, a toxicidade do sódio é afetada pela disponibilidade de cálcio no solo, sendo mais manifestada quando a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ são menores que à unidade. De acordo com a Tabela 21, para 30,43% das águas de poços analisadas, a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ é menor que a unidade e 42,56% das águas de rejeito, têm estas mesmas características, o que tornam os efeitos potenciais do sódio ligeiramente maiores. Além disso, concentrações elevadas de sódio em relação ao potássio podem inativar enzimas e inibir a síntese protéica (TAIZ ; ZEIGER, 2006).

Tabela 18 – Restrições de uso da água em função do teor de sódio para cada tipo de água analisada

Grau de restrição ¹		Frequência (%)		
		Poço	Rejeito	Dessalinizada
Irrigação por superfície				
Na ⁺ < 3,0	Nenhuma	56,52	21,43	93,10
3,0 < Na ⁺ < 9,0	Ligeira a moderada	26,09	46,43	3,45
Na ⁺ > 9,0	Severa	17,39	32,14	3,45
Irrigação por aspersão				
Na ⁺ < 3,0	Nenhuma	56,52	21,43	93,10
Na ⁺ > 3,0	Ligeira a moderada	43,48	78,57	6,90
	Severa	-	-	-

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

Com relação à toxicidade pelo íon cloreto (Tabela 19), tal como o íon sódio, os percentuais de restrição foram iguais para os três tipos de água independentemente do sistema de irrigação considerado. Porém os percentuais de restrição foram bem superiores aos do sódio. Apenas 8,70% das águas dos poços analisadas não têm nenhuma restrição para a sua utilização, ou seja, mais de 90,0% destas águas apresentam restrições ligeiramente moderadas a severas. A situação é mais preocupante quando verificam-se os percentuais de restrição para as águas de rejeito, onde 100,0% das amostras apresentaram restrições de ligeira a severas para ambos os sistemas de irrigação, para a irrigação por superfície 67,86% das amostras apresentam severas restrições.

Os íons cloreto não são adsorvidos pelas partículas do solo, portanto, são bastante móveis sendo facilmente absorvidos pelo sistema radicular das plantas e translocados até as folhas, acumulando-se nestes tecidos devido à transpiração, principalmente em regiões de climas mais quentes, como a região semiárida, que favorecem a altas taxas de transpiração. Quando a concentração de cloreto nas folhas excede o limite tolerado pela planta, ocorrem os danos que têm como sintomas característicos: necroses e queimaduras nas folhas. Segundo Flores (1990), excessos de cloreto no protoplasma ocasionam distúrbios em relação ao balanço iônico (K⁺ e Ca²⁺ em relação ao Na⁺), bem como os efeitos específicos destes íons sobre as enzimas e membranas.

Tabela 19 – Restrições de uso da água em função do teor de cloreto para cada tipo de água analisada

Grau de restrição ¹		Frequência (%)		
		Poço	Rejeito	Dessalinizada
Irrigação por superfície				
Cl ⁻ < 4,0	Nenhuma	8,70	0,00	82,76
4,0 < Cl ⁻ < 10,0	Ligeira a moderada	34,78	32,14	10,34
Cl ⁻ > 10,0	Severa	56,52	67,86	6,90
Irrigação por aspersão				
Cl < 4,0	Nenhuma	8,70	0,00	82,76
Cl > 4,0	Ligeira a moderada	91,30	100,00	17,24
	Severa	-	-	-

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

4.3 QUALIDADE DAS ÁGUAS QUANTO AOS RISCOS DE OBSTRUÇÕES PARA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Os sistemas de irrigação localizada são projetados para aplicar a água ao solo lentamente através de pequenos orifícios, denominados emissores de água, que podem ser obstruídos por sedimentos e substâncias químicas, contidos frequentemente nas águas de irrigação. A obstrução dos emissores é apontada como um dos mais difíceis problemas enfrentados na operação de sistemas de irrigação localizada. Assim, em se tratando de irrigação localizada, além dos aspectos relacionados aos riscos de salinidade, sodicidade e toxicidade, que são os principais fatores considerados na avaliação da qualidade das águas, devem ser também avaliados aqueles que permitam antever os riscos potenciais de obstruções em emissores na irrigação localizada, principalmente, por ser um método de irrigação bastante empregado no Rio Grande do Norte, com cerca de 9.799,0 ha com irrigação localizada, sendo grande parte deste total na região produtora de melão de Mossoró/Baraúna.

Segundo os parâmetros de Ayers e Westcot (1999), a maior parte das águas dos poços e rejeito estudadas, 73,91% e 64,29%, respectivamente, apresentam restrições ligeiras a moderadas para a sua utilização para irrigação em sistemas localizados devido os valores de pH levemente alcalinos (entre 7 e 8) (Tabela 20), sendo severas as restrições para 10,71% das

águas de rejeito, isto deve-se ao fato de que elevados valores de pH favorecem a precipitação química, a qual se origina pelo excesso de carbonatos ou sulfatos de cálcio ou Magnésio, ou pela oxidação de Ferro formando um precipitado férrico de coloração marrom avermelhado. As obstruções causadas pelas precipitações químicas de materiais como o carbonato e o sulfato de cálcio são produzidas de forma gradativa, sendo assim, mais difíceis de serem localizadas.

Tabela 20 – Restrições de uso da água em função do pH de SDT para cada tipo de água analisada na irrigação localizada

Grau de restrição ¹		Frequência (%)		
		Poço	Rejeito	Dessalinizada
Irrigação localizada				
pH < 7,0	Nenhuma	26,09	25,00	65,52
7,0 < pH < 8,0	Ligeira a moderada	73,91	64,29	34,48
pH > 8,0	Severa	0,00	10,71	0,00
SDT ² < 500	Nenhuma	13,04	10,71	96,55
500 < SDT < 2000	Ligeira a moderada	68,57	60,71	3,45
SDT > 2000	Severa	17,39	28,58	0,00

¹Adaptado de Ayers e Westcot (1999)

²SDT em mg L⁻¹

Para a determinação do risco de obstrução pelo teor de cálcio presente nas águas subterrâneas, recomenda-se utilizar o Índice de Saturação de Langelier (ISL), que é a diferença entre o pH medido e o pH_C (pH teórico). Valores positivos de ISL indicam tendência de formação de precipitados de CaCO₃; valores negativos são indícios de que o CaCO₃ se manterá dissolvido em solução, não produzindo precipitados químicos. Com base nestas informações foi elaborada a Tabela 21, onde observamos que 73,91% das águas de poços apresentam ISL positivo, enquanto que quase a totalidade, 92,86% das águas de rejeito têm ISL positivo, explicitando a problemática da utilização destas águas em sistemas de irrigação localizado, uma vez que águas com ISL positivo, requerem medidas preventivas para utilização, como controlar o pH da água e limpar periodicamente o sistema de irrigação com ácidos (ácido clorídrico ou ácido sulfúrico). Segundo Nakayama e Buchs (1986) e Ayers e Westcot (1999) o ISL deve situar-se em torno de -0,5 para que os riscos de formação de precipitados sejam evitados.

Tabela 21 – Percentagens dos valores da relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ e do Índice de Saturação de Langelier (ISL), para os tipos de águas estudadas

Tipo de amostra de água	Relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$			ISL		
	<1,0	1,0	>1,0	<0,0	0,0	>0,0
	Frequência (%)					
Poço	30,43	0,00	69,57	26,09	0,00	73,91
Rejeito	42,56	0,00	57,14	7,14	0,00	92,86
Dessalinizada	68,97	10,34	20,69	51,72	0,00	48,28

5 CONCLUSÕES

De maneira geral, as águas dos poços das comunidades rurais estudadas possuem restrições para a sua utilização na agricultura, quanto aos riscos de salinização e sodificação do solo, principalmente as águas das comunidades: São Romão; Boa Fé e Pau Branco.

As águas de rejeito da dessalinização possuem elevadas concentrações de sais, principalmente nas comunidades de Boa Fé e Puxa Boi, comprometendo a sua utilização para a irrigação.

As águas dessalinizadas, embora possuam baixos teores de sais, apresentam restrições quanto a problemas de infiltração no solo, caso venham a ser empregadas para irrigação.

As concentrações dos íons das águas estudadas apresentaram grande variação entre as amostras das diferentes comunidades, principalmente nas amostras de águas dessalinizadas.

Todas as águas de rejeito apresentaram restrições moderadas a severas quanto à toxicidade de cloreto para os métodos de irrigação por superfície e aspersão.

73,91% das águas de poços e 92,86% das águas de rejeito, apresentam potenciais riscos de obstruções por precipitados de CaCO_3 para irrigação localizada.

REFERÊNCIAS

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.** Disponível em: <<http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-007.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2011.

ARAÚJO, A. **Água, o próximo apagão.** Fortaleza: Jornal o Povo, p. 3-11, 7 de out. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - ABAS. **Água subterrânea, Minimização das conseqüências da seca no Nordeste.** 2003. 40 p. Disponível em <http://www.abas.org/imagens/publicacoes/estudos_sedezero.PDF>. Acesso em: 23 jan. 2011.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J.A. **Salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação, no sertão nordestino.** Recife: Fundação Joaquim Nabuco/CNPq, 1995, 128p.

AYERS, R.S. Quality of water for irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, Nova Iorque, n.103, p.135-54, 1977.

AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** Trad. GHEYI, H. R., MEDEIROS, J. F., DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1999. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1).

BELTRÁN, J. M.; KOO-OSHIMA, S. Water desalination for agricultural applications. **Land and water discussion paper 5**, Itália, 2006, 49p.

BEZERRA, I. L.; GHEYI, H. R.; FERNANDES, P. D.; SANTOS, F. J. S.; GURGEL, M. T.; NOBRE R. G. Germinação, formação de porta enxertos e enxertia de cajueiro anão-precoce sob estresse salino. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.420-424, 2002.
BOHN, H.L., McNEAL, B.L., O'CONNOR, G.A. **Soil chemistry**. 2.ed. New York: J. Wiley e Sons, 1985. 341p.

CARMO FILHO, F.; ESPÍNDOLA SOBRINHO, J.; MAIA NETO, J.M. Dados meteorológicos de Mossoró (Jan de 1988 a Dez de 1990). Mossoró: ESAM/FGD, 1991, 121p. **Coleção Mossoroense**.

CARNEIRO, P. T.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L. Germinação e crescimento inicial de genótipos de cajueiro anão-precoce em condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.199-206, 2002.

COSTA, R.G., GHEYI, H.R. Variação da qualidade da água de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha, PB. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.19, n.8, p.1021-5, ago. 1984.

COSTA, W. **Água subterrânea e o desenvolvimento sustentável do semi-árido Nordeste. Brasília**. Projeto ÁRIDAS–RH, SEPLAN/PR, 1994.

CORDEIRO, G.G., MILLAR, A.A. Problemas de sais mas áreas em operação agrícola do projeto de irrigação de São Gonçalo. In: CONGRESSO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, Salvador, 1978, **Anais...** Brasília: ABID, 1978. p.20.

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

DEMÉTRIO, J.G.A.; DOHERTY, F.R; ARAUJO FILHO, P.F.; SCHEFFER, S. Qualidade de água subterrânea no nordeste brasileiro. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 45., Recife, 1993. **Anais ...** Recife: UFPE, 1993. p. 79.

DIAS, N. S.; LIRA, R. B.; BRITO, B. L.; SOUSA NETO, O. N.; FERREIRA NETO, M.; OLIVEIRA, A. M. Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.755-761. 2010.

DINIZ FILHO, W.D.O. FIGUEREDO, E.M. **Diagnóstico preliminar das causas que afetam o rebaixamento de nível potenciométrico do aquífero Jandaíra – Região de Baraúna, RN.** SERHID – Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte. (Relatório Técnico), 2003.

DINIZ FILHO, J.B.; MELO, J.G.; BARROSO, T.T.; DUARTE, U. **Potencialidades e consumo de águas subterrâneas no médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Ceará-Mirim/RN.** In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., e CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 11., Fortaleza, 2000. Fortaleza: ABAS/AHLSUD/IAH, 2000. CD-ROM

DONEEN, L.D. Water quality for irrigated agriculture. In: POLJAKOFF-MAYBER, A., GALE, J. (eds.) **Plants in saline environments.** Berlin: Springer-Verlag, 1975. cap.4, p.56-76. (Ecological Studies, 15).

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos.** Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FLORES, H.E. 1990. Polyamines and plant stress In: LASCHER, R.G.; CUMMING, J.R. **Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms.** New York, Wiley-liss, p. 217-39.

FRENKEL, H. Reassessment of water quality criteria for irrigation. In: SHAINBERG, I., SHALHEVET, J. **Soil salinity under irrigation.** Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.143-72.

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.

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

GOES, C.S. **Problemas de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e a ação da pesquisa com vistas a seu equacionamento.** Recife: MINTER/SUDENE, 1978. 20p.

HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. (editors). **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph, ASAE Monograph. 1990. 1040 p.

HOORN, J.W. van; ALPHEN, J.G. van. **Salinity control; salinity control, salt balance and leaching requirement of irrigated soils**. Wageningen: Agricultural University of Wageningen, 1988. (Lectures notes for the Twenty-ninth International Course on Land Drainage, 1990).

HOORN, J. W. van; ALPHEN, J. G. van. Salinity control. In: RITZEMA, H.P. 2ed. **Drainage: principles and applications**. Wageningen: ILRI, 1994, cap.15, p.533-600p. ILRI Publication, 16

KELLEY, W.P. Use of saline irrigation water. **Soil Science**, Baltimor, v.95, p.385-391, 1963.

KOVDA, V.A., YARON, B., SHALHEVET, Y. Quality of irrigation water. In: KOVDA, V.A., BERG, C. van den, HAGAN, R.M. (eds.). **International source book on irrigation, drainage and salinity**. London: HUTCHINSON/ FAO/UNESCO, 1973. Cap.7, p.177-205.

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.

LAUHLI, A., EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. In: TANJI, K. K (ed.). **Agricultural salinity assessment and management manual**. New York: ASCE, p.113-137. 1990.

LEPRUN, J.C. Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste. In: **Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro**. Recife: SUDENE, 1983. P. 91-142

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.; GRISMER, M. E. 1994. Application of fracture mechanics to cracking of saline soils. **Soil Science** 158(2):86-96.

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**. 1998. 87 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LIMA, D. A. Notas para a fitogeografia de Mossoró, Grossos e Areia Branca. Mossoró, RN : Fundação Vingt-un Rosado, 1999 (**Coleção Mossoroense**, Série "B", v. 1717).

MAAS, E. V.; HOFFMAN. Crop salt tolerance - Current assessment.. **Journal of Irrigation and Drainage**. 103(IR2):115-134. 1977.

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

MAAS, E.V. Salt tolerance of plants. **Applied Agriculture Research**, v.1, n.1, p.12-26, 1986.

MAAS, E. V. Crop salt tolerance. In: TANJI, K. K. **Agricultural salinity assessment and management**. New York: ASCE, 1990. cap. 13, p. 262-304.

MAAS, E.V. 1984 Salt tolerance of plants. In: **The Handbook of Plant Science in Agriculture**. CHRISTIE, B.R. (ed). Editora CRC, Boca Raton, Florida.

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

MARTINS, L.H. **Avaliação da qualidade da água nos mananciais superficiais disponíveis para irrigação na Zona Oeste Potiguar**. Mossoró: ESAM, 1993. 97p (Monografia de Especialização).

MEDEIROS, J.F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos estados do RN, PB e CE**. Campina Grande: UFPB/CCT/DEAg, 1992. 173p. (Dissertação de Mestrado).

MEDEIROS, J.F.; GHEYI, H. R. **A qualidade da água de irrigação**. Mossoró, ENA/ESAM. 1994. 60p. (ESAM, boletim técnico-científico, 22).

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

MENDES, B. V. **Alternativas tecnológicas para a agropecuária do semiárido**. 2 ed. São Paulo: Nobel, 1986.

MENDONÇA, L.A.R.; SANTIAGO, M.M.F.; FERNANDES, M.A.B.; FRISCHKORN, H.; LIMA, J.O.G. **Mecanismos de salinização dos aquíferos cársticos nas chapadas do Araripe e Apodi**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. Florianópolis: ABAS, 2002. CD-ROM.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA -MME. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte**. Recife, CPRM/PRODEEM, 2005. 11p.

MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E.; OLIVEIRA, M. Qualidade da água para irrigação em amostras Analíticas do banco de dados do departamento de Solos e geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, RN. **Caatinga**, Mossoró, RN, 11(1/2):75-83, 1998

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Trickle irrigation for crop production: Design, operation and management. Amsterdam: **Elsevier Science Publishers**, 1986. 383p.

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.

NUNES FILHO, J., GUERRA, C.A.M., SOUZA, A.R., SÁ, V.A.L., SOARES, M.J.C.C. Qualidade da água de Açudes, para fins de irrigação no sertão de Pernambuco. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna.**, Brasília, n.44, p.35-39, 1991.

OLIVEIRA, O.; MAIA, C.E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, n.1, p.17-21, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

OSTER J.D.; SCHROER F.W. Infiltration as influenced by irrigation water quality. **Soil Sci. Soc. Amer. J.** 43:444-447. 1979

PALACIOS, V.O., ACEVES, N.E. **Instructivo para el muestro, registro de datos e interpretacion de la calidad del agua para riego agrícola**. Chapingo: Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, 1970. 49p. (Rama de Riego y Drenaje, 15).

PEREIRA, F.A.M., HOLANDA, J.S. de, MEDEIROS, J.d'A.F., BRITO, R.A.L. Qualidade de água para irrigação no Seridó-RN. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9. 1991, Natal. **Anais...** Fortaleza, 1992. 2v. em 5. (Tomo 1). p.543-62.

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

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

PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; SILVA JÚNIOR, L. G. A. Uso do rejeito de dessalinização de água salobra para irrigação da erva-sal (*Atriplex nummularia*). **Revista Brasileira da Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 111-114, 2001.

QUEIROZ, J. H.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In GHEYI, H.R; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. de (ed). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997, p. 69-111.

RAO, N.S.; VENKATESWARA R.T.N.; RAO, G.B.; RAO, K.V.G. Impact of reject water from the desalination plants on groundwater quality. **Desalination**, 1990. v.78. p.429-437.

REBOUÇAS, A. C. **Le problème de l'eau dans la zone semi-aride du Brésil- Evaluation des ressources, orientation pour la mise en valeur**. Strasbourg, 1973. Thèse (doctorat D'État), Université de Strasbourg, France, 285 p.

REBOUCAS, A. C. **Água na região Nordeste: desperdício e escassez**. Estud. av. [online]. 1997, vol.11, n.29, pp. 127-154. ISSN 0103-4014.

- REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba, USP/ESALQ. Depto. Física e Meteorologia. 1993. 505p.
- RHOADES, J. D.; LOVEDAY, J.G. Salinity in irrigated agriculture. In: Stewart, D. R.; Nielsen, D. R. (eds.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1990. p.1089–1142. *Agronomy*, 30
- RHOADES, J.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Trad. H. R. Gheyi, J. R. Sousa, J. E. Queiroz. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 48
- RICHARDS, L.A. (ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory., 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- RUSSO, D.; BRESLER, E.. Scaling soil hydraulic properties of a heterogeneous field. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44(4):681-684. 1980
- SANTOS, A. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.961-969, 2010a.
- SANTOS, R. S. S.; DIAS, N. S.; SOUSA NETO, O. N.; GURGEL, M. T. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra no cultivo da alface (*Lactuca sativa L.*) em sistema hidropônico NFT. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, p.983-989, 2010b.
- SILVA JÚNIOR, L.G.A.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.11-17, 1999.
- SIQUEIRA, E. C.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; SOARES, F. A. L.; BARROS JÚNIOR, G.; CAVACANTI, M. L. F. Crescimento do algodoeiro colorido sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, (Suplemento), p.263-267, 2005.
- SOARES, T. M.; SILVA, I. J. O.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes de dessalinizadores por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 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. 268 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SOUSA, A. B. O.; BEZERRA, M. A.; FARIAS, F. C. Germinação e desenvolvimento inicial de clones de cajueiro comum sob irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.390–394, 2011 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG

SUAREZ, D.L. Relation between pHc and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, n.45, p.469-75, 1981.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 719p.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ Tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, v.91, n.5, p.503-527, 2003.

YAHYA, A. Salinity effects on growth and on uptake and distribution of sodium and some essential mineral nutrients in sesame. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 7, p.1439-1451, 1998.

YARON, B. Water suitability for irrigation. In: YARON, B.; DANFORS, E.; VAADIA, Y. (eds.). **Arid zone irrigations**. Berlin: Springer-Verlag. 1973. Cap. 4, p. 71-85. (Ecological Studies, 5).