

# DIAGNÓSTICO DE SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA SUBTERRÂNEA EM MUNICÍPIOS DO ESTADO DA PARAÍBA – BRASIL

Miriam Cleide C. de Amorim<sup>1</sup>; Everaldo Rocha Porto<sup>2</sup>;  
Ana Nery Barbosa Matos<sup>3</sup> & David Ferreira da Silva<sup>4</sup>

**Resumo** - Embora, no Semi-Árido brasileiro, predomine o embasamento cristalino, com poços apresentando qualidade comprometida por sais, à tecnologia da dessalinização permite a potabilização dessas águas. Desde 1996 vem sendo implantados, equipamentos de dessalinização por osmose inversa visando o atendimento da demanda hídrica para consumo humano. No entanto, dificuldades estão presentes na implantação dos equipamentos, tais como a falta de operação e manutenções adequadas que causam a paralisação dos mesmos, e como a produção de rejeitos, os quais são águas com elevados teores de sais, normalmente despejados ao solo sem qualquer critério, cujo maior impacto tem sido a erosão e a salinidade do solo. Assim, considerando que a Embrapa Semi-Árido pesquisa manejos dos rejeitos, a Fundação Banco do Brasil realizou parceria com a Embrapa, com o objetivo de avaliar 21 sistemas de dessalinização implantados no Estado da Paraíba. O presente artigo tem por objetivo apresentar um diagnóstico da atual situação dos sistemas da Paraíba, principalmente quanto aos aspectos de conservação, manutenção e operacionalização; aos parâmetros técnicos, à qualidade de água e aos impactos ambientais causados pelos rejeitos.

**Abstract** - Although, in the Brazilian Semi-arid, prevail the crystalline rocks, with wells presenting quality committed by salts, the technology of desalting brackish water permits the consumption of those waters by humans. Since 1996 it is being implanted desalting equipments for reverse osmosis seeking the attendance of the water demand for human consumption. However, difficulties are present in the implementation of the equipments, such as the operation procedures and appropriate maintenances that cause the failures of the equipments, and as the rejects production, which are

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Química, M.Sc., Companhia Pernambucana de Saneamento-COMPESA, Petrolina-PE, [miriamcleide@ig.com.br](mailto:miriamcleide@ig.com.br)

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup>. Agrônomo, Ph.D, Pesquisador Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural, C.P. 23, 56300-970, Petrolina-PE, Fone: 87-3862-1711, Fax: 87-3862-1744 e-mail: [erporto@cpatsa.embrapa.br](mailto:erporto@cpatsa.embrapa.br)

<sup>3</sup> Bióloga - Estagiária da Embrapa Semi-Árido, [ananeryb@yahoo.com.br](mailto:ananeryb@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Técnico em Geoprocessamento da Embrapa Semi-Árido, BR 428, Km 152, Zona Rural, C.P. 23, 56300-970, Petrolina-PE, Fone: 87-3862-1711, Fax: 87-3862-1744 e-mail: [david@cpatsa.embrapa.br](mailto:david@cpatsa.embrapa.br)

waters with high levels of salts, usually emptied to the soil without any approach, whose larger impact has been the erosion and the salinity of the soil. Thus, considering that the Semi-arid Embrapa researches handlings of the rejects, the Bank of Brazil Foundation accomplished partnership with Embrapa, with the objective of evaluating 21 desalting systems implanted in the State of Paraíba. This article has for objective to present a diagnosis of the current situation of the systems of Paraíba, mainly with relationship to the conservation aspects, maintenance and operation; to the technical parameters, to the quality of water and the environmental impacts caused by the rejects.

**Palavras-Chave** - água salobra; dessalinização; rejeito.

## INTRODUÇÃO

Novas tecnologias para complementar a baixa disponibilidade de água, de forma sustentável, são almejadas por planejadores e gestores, sendo as águas subterrâneas um importante manancial que contribui para o atendimento da demanda hídrica, tendo um papel de destaque no equacionamento dos problemas da falta de água para consumo humano, no Semi-Árido brasileiro.

Embora, nessa região, predomine o embasamento cristalino, com poços apresentando vazões inferiores a  $3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e qualidade comprometida por elevados teores de sais (Manoel Filho, 1997), estas águas podem atingir a potabilidade, quando submetidas a processos de dessalinização, e ser utilizada principalmente para o consumo doméstico. Por iniciativas dos poderes públicos, vem sendo implantados desde 1996, equipamentos de dessalinização em regiões do Nordeste brasileiro, inicialmente por doações da Fundação Banco do Brasil, Secretaria de Recursos hídricos do Ministério do Meio Ambiente, através do projeto Água Boa (Oliveira, 2001). No entanto, embora a tecnologia da osmose inversa esteja bastante definida e de fato contribua para minimização do problema da falta de água potável no semi-árido, algumas dificuldades ainda estão presentes na implantação dos equipamentos no Nordeste, pois por falta de operações e manutenções adequadas, muitos equipamentos estão paralisados. Estima-se que já foram implantados cerca de 3000 dessalinizadores, e muitos desses encontram-se parados. De acordo com Pessoa (2000), numa pesquisa entre os anos de 1999 e 2000, em dessalinizadores no Estado do Ceará, constatou que 30% estavam parados.

Um outro fator que preocupa quando se fala em expansão do uso da osmose inversa diz respeito aos rejeitos gerados no processo de dessalinização pois, estes são águas com elevados teores de sais, e normalmente são despejados ao solo sem qualquer critério. O fato se agrava pois, em média 60% da água do poço que entra no sistema de dessalinização, é convertida em rejeito,

tornando-se um poluente ambiental (Amorim et al., 1997), quando despejados ao solo indiscriminadamente, não só pela disposição no solo cujo maior impacto tem sido a erosão e a salinidade do solo (Amorim et al, 1997 e Pessoa, 2000), como também alterações na fauna e flora dos locais de despejos.

Considerando que a Embrapa Semi-Árido em parceria com a Companhia de desenvolvimento dos Vales do Rio São Francisco e Parnaíba e com a Compesa – Companhia Pernambucana de Saneamento, pesquisa opções de utilização dos referidos rejeitos (Porto et al, 1997) a Fundação Banco do Brasil realizou parceria com a Embrapa, através do convênio sob processo de número **60/13494-5/01**, no qual estabeleceu-se estratégias técnicas para desenvolvimento e expansão em nível de comunidade, do projeto “Sistema Integrado de Reuso dos Rejeitos da Dessalinização por Osmose Inversa”, adotando como uma das metas o levantamento e avaliação de 21 sistemas de dessalinização doados e implantados no Estado da Paraíba.

Assim, o presente artigo tem por objetivo apresentar as ações realizadas para o levantamento e avaliação de sistemas de dessalinização implantados no Estado da Paraíba, gerando um diagnóstico da atual situação dos sistemas, principalmente quanto aos aspectos de conservação, manutenção e operacionalização destes equipamentos; aos parâmetros técnicos; à qualidade de água e aos impactos ambientais causados pelos rejeitos.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Com o objetivo de diagnosticar a situação dos dessalinizadores foram realizadas as seguintes atividades:

- georreferenciamento dos sistemas de dessalinização;
- observação do estado de conservação, funcionamento e manutenção dos sistemas;
- levantamento dos parâmetros técnicos e operacionais dos dessalinizadores;
- coleta de amostras de água do poço, do rejeito e da água dessalinizada;
- coleta de amostras de solo.

### ***Municípios avaliados***

Os municípios em que estão localizados os sistemas de dessalinização foram selecionados a partir de uma relação fornecida pela Fundação Banco do Brasil, da qual constam os nomes dos municípios; a localidade que foi beneficiada; e o endereço para contato dos responsáveis pelos sistemas.

### ***Georreferenciamento dos sistemas de dessalinização***

No período de 28/7/2003 a 08/08/2003 foram realizadas viagens aos 21 municípios selecionados. Utilizando o equipamento GPS de navegação foram georreferenciadas a localização de 20 dessalinizadores, identificando-se o local de instalação.

### ***Observação do estado de conservação, funcionamento e manutenção dos sistemas de dessalinização***

Através da aplicação de um questionário e verificações in loco foram realizados os seguintes levantamentos:

- a observação do estado de conservação do sistema,
- se os mesmos encontravam-se em funcionamento,
- realização de manutenções nos sistemas;
- averiguação dos problemas mais comuns ocorridos no sistema; e
- a destinação dos rejeitos gerados no processo de dessalinização.

Quanto ao estado de conservação e manutenção dos sistemas de dessalinização, os mesmos foram avaliados conforme as seguintes situações:

- sistemas em bom estado de conservação;
- sistemas em estado regular de conservação;
- sistemas em mau estado de conservação;
- sistemas em que se realizam serviços de manutenção.

Para averiguar os problemas mais comuns ocorridos nos sistemas, o levantamento seguiu as seguintes premissas:

- sistemas que já apresentaram algum tipo de problema;
- sistemas que nunca apresentaram problemas; e
- problemas mais comuns, ocorridos no sistema.

### ***Levantamento dos parâmetros técnicos e operacionais dos sistemas de dessalinização***

Os parâmetros técnicos dos sistemas foram obtidos a partir da aplicação de um questionário versando sobre informações técnicas operacionais de vazão do poço, do rejeito e da água dessalinizada; e horas de funcionamento dos dessalinizadores.

A partir dos parâmetros técnicos obtidos, foram determinadas as variáveis de performance dos sistemas, isto é, a taxa de rejeição de sais (*TRS*) e o nível de recuperação do sistema (*NR*).

A taxa de rejeição de sais refere-se à capacidade da membrana de rejeitar sais durante o processo de purificação da água. Esta taxa indica a efetividade da remoção de sais e outras espécies químicas pela membrana, possuindo valores que variam de 90 a 99,8% para a maioria dos íons existentes na água, (Buros, 1994). A *TRS* é calculada segundo a equação:

$$\text{TRS (\%)} = [(C_1 - C_2)/C_1] \times 100$$

Onde:  $C_1$  = concentração de sais da água do poço em  $\text{mg.L}^{-1}$

$C_2$  = concentração de sais da água dessalinizada em  $\text{mg.L}^{-1}$

O nível de recuperação refere-se à percentagem da água de alimentação ou água do poço convertida em água doce (Buros, 1994). A recuperação máxima em dessalinizador por osmose inversa depende dos sais presentes na água de alimentação e de sua tendência a se precipitar na superfície da membrana como incrustação mineral. O aumento do nível de recuperação do sistema converte mais água salobra em água doce, o que reduz o volume de água a ser rejeitada e, conseqüentemente, aumenta o valor da concentração de sais dissolvidos na corrente do rejeito, bem como a possibilidade de sua precipitação na superfície da membrana.

O NR de um sistema de osmose inversa pode ser definido de acordo com a equação:

$$\text{NR} = Q_p / (Q_p + Q_r)$$

Onde:  $Q_p$  = Vazão de água dessalinizada

$Q_r$  = Vazão do rejeito

### ***Coleta de amostras de água***

Objetivando avaliar a qualidade da água dos sistemas de dessalinização, e sua relação com as modificações das características dos solos, foram coletadas amostras da água do poço, do rejeito e da água dessalinizada. As amostras foram coletadas, armazenadas em frascos de polietileno, com capacidade para 5 litros, identificadas e enviadas ao Laboratório de Solo e Água da Embrapa Semi-Árido.

No laboratório os seguintes parâmetros foram determinados: condutividade elétrica, pH, cálcio, magnésio, sódio, bicarbonato, sulfato, cloreto segundo metodologia do Standar Methods (APHA, 1985).

Para se determinar os teores iônicos percentuais da água, calcularam-se os valores percentuais dos cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) ou ânion ( $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) em relação à respectiva soma.

No município de São José dos Cordeiros não foi possível coletar amostras de água pois segundo informações do responsável o equipamento nunca chegou a funcionar.

No município de Olivedos o equipamento encontrava-se parado a cerca de três anos e em Queimadas, não foi possível localizar o equipamento, pois o responsável não tinha informação da localização do mesmo.

### ***Coleta de amostras de solo***

Para verificação das condições ambientais e possíveis danos causados pelos rejeitos no solo, foram coletadas com o auxílio do trado, amostras de solo em dois pontos: uma amostra localizada no ponto de despejo dos rejeitos (P<sub>1</sub>) e uma amostra à 100 m do local do despejo do rejeito (P<sub>2</sub>).

As amostras foram coletadas a profundidade de 0 – 30cm, acondicionadas em sacos de polietileno preto com capacidade para 2 litros, identificadas e enviadas ao laboratório de Solos da Embrapa Semi-Árido para análise, segundo metodologia de Richards (1954), para as seguintes características químicas do extrato de saturação: condutividade elétrica, cálcio, magnésio, sódio, bicarbonato, sulfato, cloreto e pH.

Nos municípios de Pedra Lavrada não foi realizada coleta de solo pois o rejeito é destinado à rede de esgotos da cidade.

Em Nova Palmeira, devido à dificuldade de acesso ao local de despejos dos rejeitos, também não foi realizada a coleta de solo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### ***Georreferenciamento dos sistemas de dessalinização***

Dos 21 municípios selecionados para avaliação, no município de queimadas não foi localizado o dessalinizador. A Tabela 1 apresenta a relação dos municípios, o local e o ano de instalação dos dessalinizadores e suas coordenadas geográficas.

**Tabela 1** – Localização e coordenadas geográficas dos sistemas de dessalinização por osmose inversa no Estado da Paraíba.

Município	Local de Instalação	Ano de instalação	Localização geográfica
Alcantil	Barra de Aroeira	1998	7°42'12" S 36°03'42" O
Barra de Santana	Sítio Pedra d'água	1998	7°34'42" S 36°01'01" O
Boa Vista	Caluete	*	7°14'01" S 36°08'21" O
Camalaú	Sítio Cangalha	1997	7°56'10" S 36°53'55" O
Caraúbas	Caraúbas	1997	7°43'46" S 36°29'34" O
Cabaceiras	Cabaceiras	1997	7°29'33" S 36°17'21" O
Caturité	Pedra d'água	1999	7°28'00" S 36°03'23" O
Campina Grande	Carretão	1998	7°10'44" S 36°06'28" O
Cubati	Cubati	*	6°51'42" S 36°21'21" O
Cuité	Bairro das Graças	1999	6°28'53" S 36°09'18" O
Juazeirinho	Sítio Mendonça	1998	7°03'37" S 36°37'16" O
Monteiro	Curupaiti	*	7°49'53" S 36°57'54" O
Mogéiro	Sítio Cabral	1998	7°16'14" S 35°32'30" O
Nova Palmeira	Nova Palmeira	*	6°40'30" S 36°25'05" O
Olivedos	Olivedos	1998	6°59'28" S 36°14'31" O
Pedra Lavrada	Pedra Lavrada	*	6°45'22" S 36°28'13" O
Picuí	Santa Luzia	1998	6°26'04" S 36°17'34" O
São José dos Cordeiros	São José dos Cordeiros	1999	7°23'27" S 36°48'17" O
Serra Branca	Belo Monte	*	7°32'53" S 36°39'36" O
São S. do Umbuzeiro	São S. do Umbuzeiro	*	8°09'07" S 37°00'36" O
Queimadas	◆	◆	◆

\* Os responsáveis não souberam informar quando o dessalinizador foi instalado

◆ Equipamento não localizado.

### ***Observação do estado de conservação, funcionamento e manutenção dos sistemas de dessalinização***

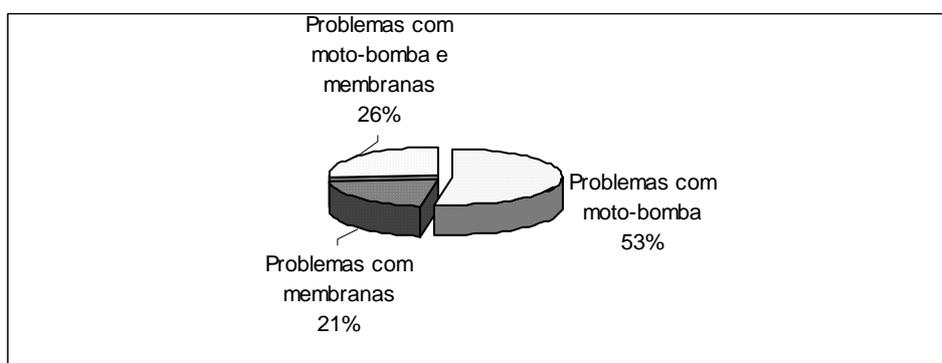
Quanto ao estado de conservação dos sistemas de dessalinização, os resultados mostraram que 61% dos sistemas estavam em bom estado de conservação; 31% estavam em estado regular de conservação e apenas 8% estavam em mau estado de conservação.

Quanto ao funcionamento dos sistemas, observou-se que 62% estavam funcionando; e 38,0% estavam parados entre seis meses e três anos. Dos que estavam em perfeito estado, sempre existe um funcionário da prefeitura ou alguém da própria comunidade responsável pelo equipamento. Dentre os oito paralisados o de São José dos Cordeiros e o de Queimadas não chegaram a ser

implantados; o de Olivedos e o de Mogeiro estavam parados a três anos; o de Nova Palmeira estava parado há dois anos e o de Alcantil há um ano; o de São Sebastião do Umbuzeiro há seis meses e o de Cuité há trinta dias.

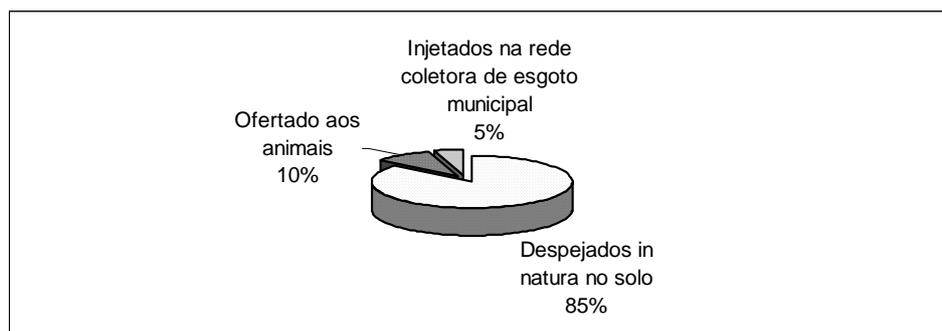
Quanto aos problemas ocorridos e às manutenções, os resultados mostraram que em 76% dos sistemas avaliados são realizados serviços de manutenção; e que 85,7% dos sistemas já apresentaram algum tipo de problema, e 14,3% dos sistemas ainda não apresentaram problemas, em um período médio de 5 anos de funcionamento.

De acordo com os dados do questionário aplicado, os problemas mais comumente ocorridos nos sistemas de dessalinização foram com moto-bomba e com as membranas do equipamento, conforme mostra o gráfico da Figura 1.



**Figura 1** – Problemas ocorridos nos sistemas de dessalinização avaliados.

Quanto ao destino dos rejeitos, constatou-se que são realizados três tipos de manejo: a) o despejo diretamente no solo; b) a sua oferta aos animais; c) e a injeção na rede coletora de esgoto municipal. Conforme pode ser observado na Figura 2, em 85% dos sistemas avaliados o rejeito é despejado ao solo sem qualquer tratamento prévio; em 10% são ofertados aos animais e em 5%, que corresponde a apenas um sistema, os rejeitos são injetados na rede coletora de esgotos do município. Aqui é importante observar que esta prática de despejos na rede de esgotos, a qual não deixa de ser um problema ambiental pois, estes rejeitos certamente encontrarão um corpo d'água receptor, e que terá suas características alteradas, esta indo de encontro ao Artigo 23 da Resolução Conama 20/86 que diz que, “os rejeitos não poderão conferir ao corpo receptor características em desacordo com o seu enquadramento”, e como é sabido, os altos teores de sais do rejeito poderá aumentar a salinidade do corpo d'água receptor.



**Figura 2** - Destino dos rejeitos dos 20 sistemas de dessalinização avaliados e seu percentual de ocorrência.

### ***Parâmetros técnicos e operacionais dos sistemas de dessalinização***

A Tabela 2 apresenta os dados operacionais dos sistemas de dessalinização conforme informações obtidas através da aplicação dos questionários aplicados aos responsáveis. De acordo com os dados os equipamentos funcionam em média  $8,0 \text{ h.d}^{-1}$ , porém existem variações entre 12 e  $3 \text{ h.d}^{-1}$ , como tempos máximos e mínimos de operação.

Os poços apresentaram vazão média de  $3,84 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  sendo a vazão máxima de  $9,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  e a vazão mínima de  $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Nos sistemas de Caraúbas, Caturité, Cubati e Queimadas, a vazão não foi obtida pois os responsáveis não souberam informar.

O dessalinizador de Barra de Santana apresentou a maior taxa de rejeição  $98,7\%$ , estando dentro da faixa de operação da osmose inversa, que é de 90 a  $99,8\%$ . A menor taxa de rejeição foi de  $77,1\%$  em Juazeirinho, e, a taxa de rejeição média de todos os sistemas foi de  $88,5\%$ .

O nível de recuperação médio dos dessalinizadores foi de  $42,0\%$ , ou seja para cada 1000 litros de água salobra apenas 420 litros são convertidos em água doce, representando um volume bastante elevado de rejeitos despejados no solo, no entanto, a maximização do nível de recuperação do sistema, ou a tentativa de menor produção de rejeitos, deve respeitar o limite de recuperação do mesmo, isto é a concentração em que ocorre a precipitação de qualquer espécie química dissolvida no rejeito. A recuperação máxima foi de  $57\%$  para o dessalinizador de Cubati e a mínima foi de  $31\%$  para o dessalinizador de Serra Branca.

**Tabela 2** – Dados operacionais e variáveis de performance dos sistemas de dessalinização.

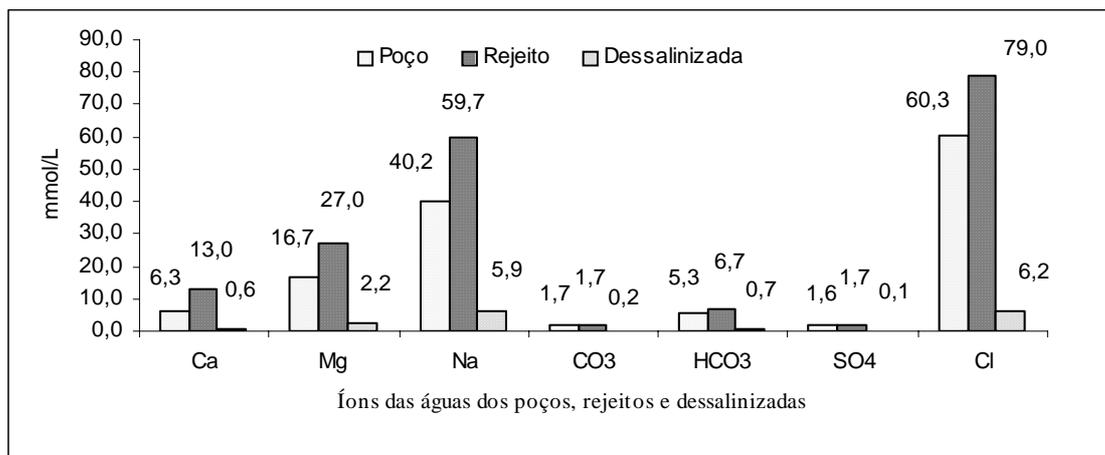
Município	Vazão do poço <sup>1</sup> (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Vazão de água dessalinizada* (L.h <sup>-1</sup> )	Vazão de rejeito* (L.h <sup>-1</sup> )	Taxa de rejeição (%)	Nível de recuperação (%)	Horas de funcionamento <sup>1</sup> (h.d <sup>-1</sup> )
Alcantil <sup>2</sup>	4,5	NM <sup>2</sup>	NM <sup>2</sup>	NM <sup>2</sup>	NM <sup>2</sup>	12
Barra de Santana	3,8	1500	1500	98,7	50	8
Boa Vista	2,2	540	1040	91,2	34	10
Camalaú	5,6	600	900	98,5	40	8
Caraúbas	NSI <sup>3</sup>	NM <sup>2</sup>	NM <sup>2</sup>	♦	♦	12
Cabaceiras	4,6	900	900	84,3	50	8
Caturité	NFPM <sup>4</sup>	NFPM <sup>4</sup>	NFPM <sup>4</sup>	♦	♦	8
Campina Grande	2,5	600	900	91,2	40	6
Cubati	NSI <sup>3</sup>	1600	1200	79,5	57	8
Cuité <sup>5</sup>	0,6	1400	2100	88,4	40	10
Juazeirinho	9,0	800	1600	77,17	33	8
Monteiro	0,7	1600	2400	95,9	40	4
Mogéiro <sup>7</sup>	6,5	400	600	♦	40	12
Nova Palmeira <sup>6</sup>	4,0	♦	♦	♦	♦	10
Olivedos <sup>7</sup>	NI <sup>2</sup>	♦	♦	♦	♦	♦
Pedra Lavrada	0,9	400	500	♦	44	6
Picuí	0,6	450	600	78,00	43	6
São José dos Cordeiros <sup>8</sup>	4,0	♦	♦	♦	♦	♦
Serra Branca	5,0	1000	2200	90,3	31	3
São S. do Umbuzeiro <sup>9</sup>	3,1	1000	1300	♦	43	12
Queimadas <sup>8</sup>	♦	♦	♦	♦	♦	♦

\*Medidos in loco; <sup>1</sup>Dados obtidos com os responsáveis pelo sistema; <sup>2</sup>Não medido, parado há mais de 1 ano; <sup>3</sup>Responsável não soube informar; <sup>4</sup>Não foi possível medir, responsável não encontrado; <sup>5</sup>Equipamento parado há trinta dias; <sup>6</sup>Equipamento parado há dois anos; <sup>7</sup>Equipamento parado há três anos; <sup>8</sup>Equipamento nunca foi instalado; <sup>9</sup>Equipamento parado há seis meses; ♦Não determinado por falta de dados operacionais devido ao dessalinizador estar sem funcionar.

### **Qualidade de água do poço, do rejeito e da água dessalinizada**

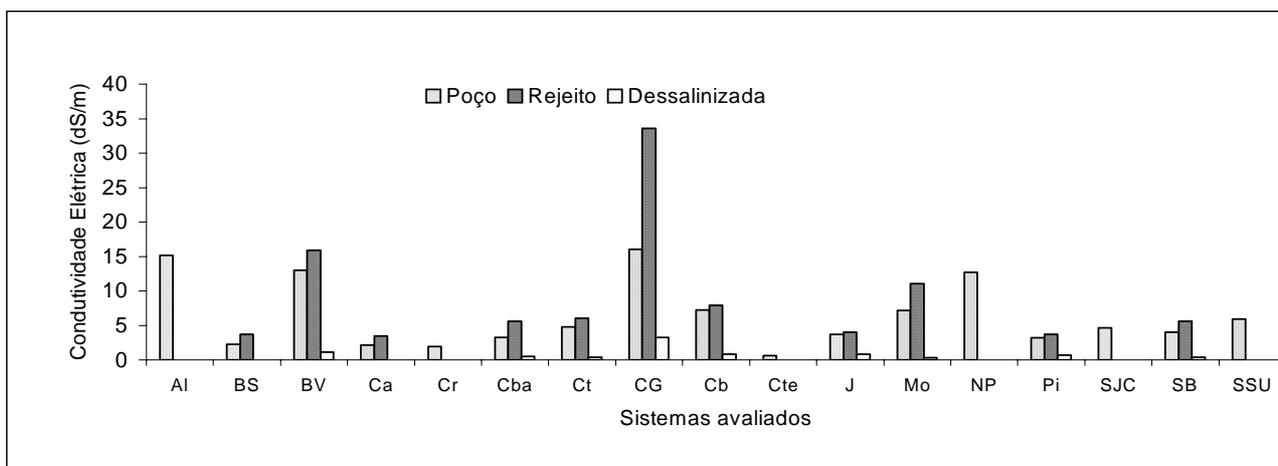
A Figura 3 mostra os valores médios em mmol/L dos cátions e ânions das águas dos poços, dos rejeitos e das águas dessalinizadas dos sistemas de dessalinização avaliados. Observa-se que os

íons de maior presença nas águas dos poços foram o cloreto, o sódio e o magnésio e, podendo o mesmo ser observado na água do rejeito e na água dessalinizada.



**Figura 3** – Valores médios em mmol/L, dos íons das águas dos poços, dos rejeitos e das águas dessalinizadas dos sistemas de dessalinização avaliados

A Figura 4 apresenta a condutividade elétrica (dS/m) da água dos poços, da água do rejeito e da água dessalinizada de todos os sistemas avaliados.



**Figura 4** - Condutividade elétrica (dS/m) da água dos poços, da água do rejeito e da água dessalinizada de todos os sistemas avaliados.

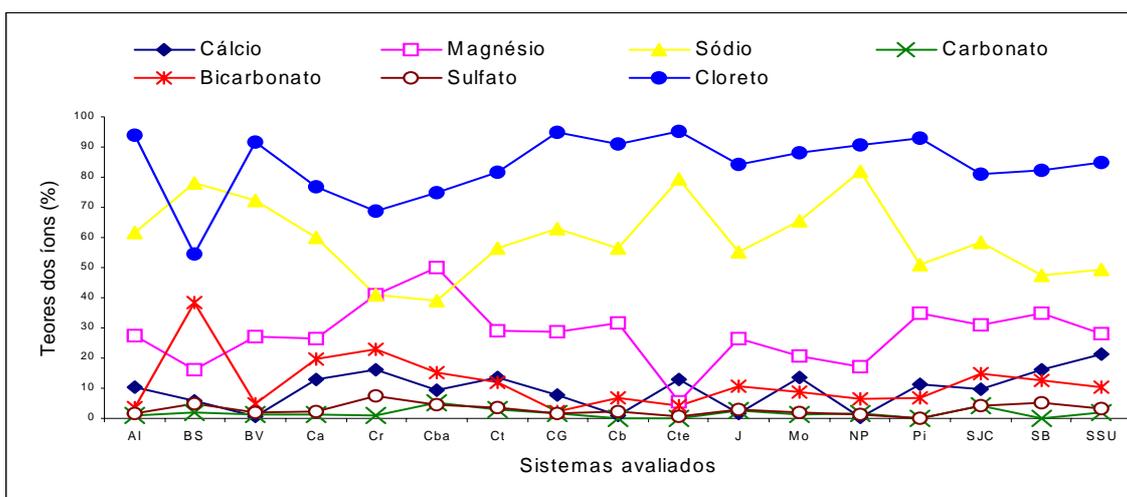
Analisando-se a condutividade elétrica das águas dos poços, observa-se que os maiores valores ocorreram nos municípios de Campina Grande, Alcantil, Boa Vista, Nova Palmeira, e Monteiro, com valores de 16,30 dS/m; 15,60 dS/m; 13,01 dS/m; 12,72 dS/m; e 7,14 dS/m respectivamente, sendo classificadas segundo a Resolução N° 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) como águas salobras, imprópria para o consumo humano, sendo portanto passíveis de dessalinização.

Conseqüentemente, os rejeitos dos mesmos sistemas apresentaram os maiores valores de condutividade, 33,6 dS/m para o sistema de Campina Grande; 15,94 dS/m para o sistema de Boa Vista e 11,08 dS/m para o sistema de Monteiro. Estes valores indicam que para cada litro de rejeito despejado no solo estão sendo colocados cerca de 21,5g, 10,2g e 7,09g de sais, respectivamente.

A condutividade elétrica média da água do poço, do rejeito e da água dessalinizada dos sistemas foi de 6,33 dS/m, 9,15 dS/m e 0,77 dS/m respectivamente.

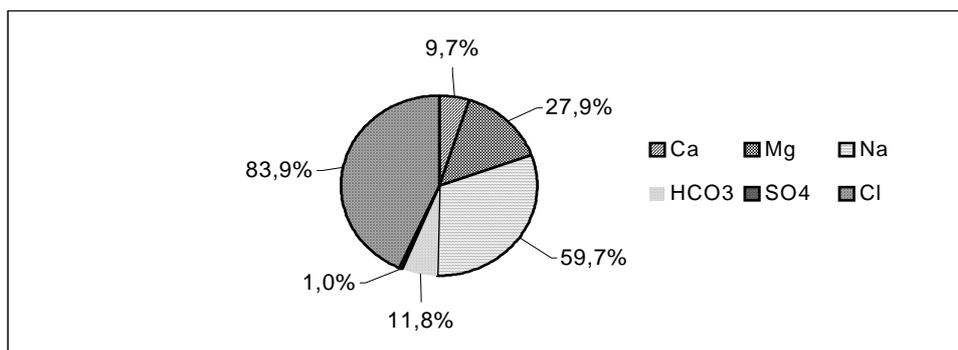
Nos municípios de Alcântil, Caraúbas, Cuité, Mogeiro, Nova Palmeira, São José dos Cordeiros e São Sebastião do Umbuzeiro e Oivedos, não foram coletadas amostras de rejeito, pois os equipamentos encontravam-se parados por problemas operacionais.

A Figura 6 mostra os teores dos íons (%) das águas dos poços dos sistemas de dessalinização avaliados, e revela que o íon cloreto que teve maior ocorrência conforme Figura 5, apresenta também maior teor iônico percentual, com valores percentuais do íon cloreto de 95,2%, para os poços do sistema de Cuité; de 94,8% para Campina Grande; 93,9% em Alcântil; e 91,7% em Boa Vista, apresentando as águas mais cloretadas, porém as menos bicarbonatadas. Os íons de maiores teores que seguem o cloreto foram o sódio e o magnésio, e os menores teores foram carbonato e sulfato.

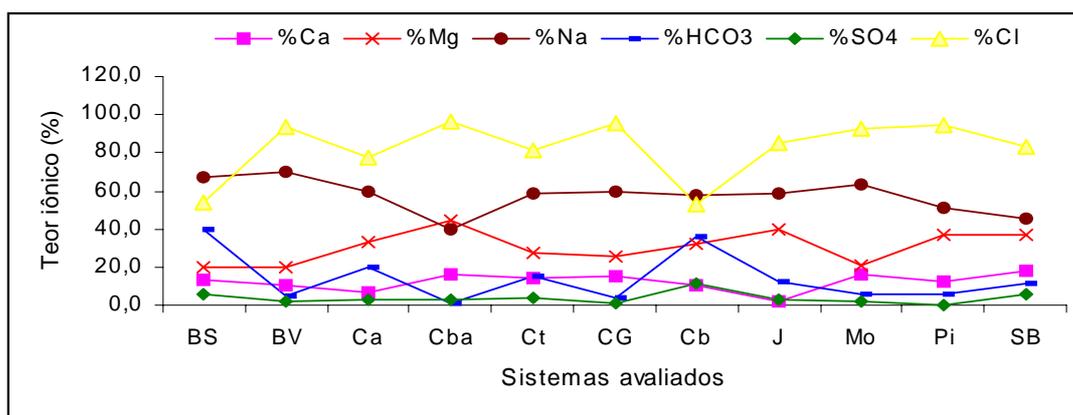


**Figura 5** – Teores dos íons (%) das águas dos poços dos sistemas de dessalinização avaliados.

Com base nos dados da Figura 5, a Figura 6 apresenta os teores iônicos médios para as águas dos poços. O íon cloreto apresentou um teor médio percentual de 83,9%, seguido do íon sódio com valor de 59,7%, do íon magnésio com valor de 27,9%, do íon bicarbonato com 11,8%, do íon cálcio com 9,7% e o sulfato com 1,0%.



**Figura 6** – Teores iônicos médios das águas dos poços dos sistemas avaliados



**Figura 7** - Teores dos íons (%) das águas dos rejeitos dos sistemas de dessalinização avaliados.

A Figura 7 mostra os teores dos íons (%) das águas dos rejeitos dos sistemas de dessalinização avaliados, e revela que o íon cloreto que teve maior ocorrência na água dos poços conforme Figura 5, apresenta também maior teor iônico percentual, com valores percentuais de 96,52%, no sistema de Cubati; de 95,7% em Campina Grande; de 94,2% em Picuí; 93,3% em Boa Vista; e 92,8% em Monteiro. Os teores iônicos médios foram de 82,5% para o cloreto; 57,3% para o sódio; 30,5% para o magnésio; 14,01% para o bicarbonato; 12,6% para o cálcio e 3,5% para o sulfato. Estes valores são bastante próximos aos valores encontrados nas águas dos poços.

### **Resultados das análises de solo**

A Tabela 3 apresenta os valores dos íons (mmol/L), da condutividade elétrica (dS/m) e o pH do extrato de saturação das amostras do solo coletadas na profundidade de 0-30 cm, no local de despejo dos rejeitos (in loco) e distante 100 metros deste local.

**Tabela 3** – Condutividade elétrica (dS/m), íons (mmol/L), e pH do extrato de saturação dos solos coletados no local de despejo dos rejeitos e distando 100m do local de despejo dos rejeitos.

	Ponto de despejo								100 m do ponto de despejo								
	dS/m	mmol/L								dS/m	mmol/L						
Localidade	CE	Ca	Mg	Na	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	pH	CE	Ca	Mg	Na	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	pH	
Alcantil	4,4	7,0	10,0	32,0	6,5	4,4	37	8,01	1,2	4,0	4,0	6,0	6,0	1,7	6,0	7,71	
Barra de Santana	1,5	3,0	3,0	11,0	6,0	1,8	8,0	8,31	0,2	2,0	1,0	1,3	2,5	0,4	2,0	6,90	
Boa Vista	4,0	5,0	5,0	34,0	3,5	0,1	37	7,81	1,4	5,5	2,5	7,0	2,5	0,6	11,0	7,24	
Camalaú	1,0	2,0	3,0	6,0	4,0	0,4	8,0	7,80	1,5	4,0	1,0	11	5,5	1,4	15,0	7,10	
Caraúbas	1,0	3,0	3,0	7,6	4,0	2,8	7,0	7,95	0,2	2,0	1,0	0,8	5,2	0,02	1,0	7,01	
Cabaceiras	2,5	7,0	7,0	7,0	4,0	0,6	21	7,85	1,2	5,0	4,0	3,5	2,5	2,6	6,0	7,68	
Caturité	5,9	6,0	8,0	18,0	6,5	3,4	30	8,36	2,0	7,0	5,0	7,3	4,5	0,8	15,0	7,90	
Campina Grande	26,8	25,0	55,0	200,0	4,5	8,0	253	7,75	1,1	4,0	3,0	4,4	2,5	0,6	7,0	6,92	
Cubati	3,6	4,0	3,0	21,0	17	7,9	20	8,83	0,6	5,0	1,0	1,5	4,0	0,7	3,0	7,65	
Cuité	1,5	3,5	2,5	8,6	2,5	1,0	13	6,62	1,1	4,0	2,0	3,4	4,0	0,7	6,5	5,93	
Juazeirinho	12,7	18,0	48,0	75,0	4,0	2,9	120	7,52	0,4	2,0	3,0	2,7	2,5	0,3	5,0	6,73	
Monteiro	4,7	8,0	7,0	45,0	5,5	2,9	51	7,88	1,5	9,0	4,0	1,5	3,0	0,7	10,0	7,47	
Mogeirol	0,9	2,5	3,0	3,0	3,0	0,5	5,0	7,75	0,1	2,0	3,0	0,9	2,5	0,02	3,0	7,74	
Picuí	1,5	6,0	4,0	2,6	3,0	0,3	9,0	6,32	0,4	2,0	1,0	0,8	2,0	0,4	2,0	5,78	
Serra Branca	10,5	44,0	40,0	100,0	4,5	1,0	162	7,46	0,9	5,0	2,5	2,6	4,5	0,5	5,0	7,17	
São S. do Umb.	18,4	72,0	48,0	60,0	4,0	12,7	158	7,34	2,0	3,0	8,0	4,0	0,7	11,0	1,7	7,91	
<b>Média</b>	<b>6,3</b>	<b>13,5</b>	<b>15,6</b>	<b>39,4</b>	<b>5,2</b>	<b>3,2</b>	<b>58,7</b>	<b>7,70</b>	<b>1,0</b>	<b>4,0</b>	<b>2,6</b>	<b>3,9</b>	<b>3,6</b>	<b>0,8</b>	<b>6,8</b>	<b>7,20</b>	

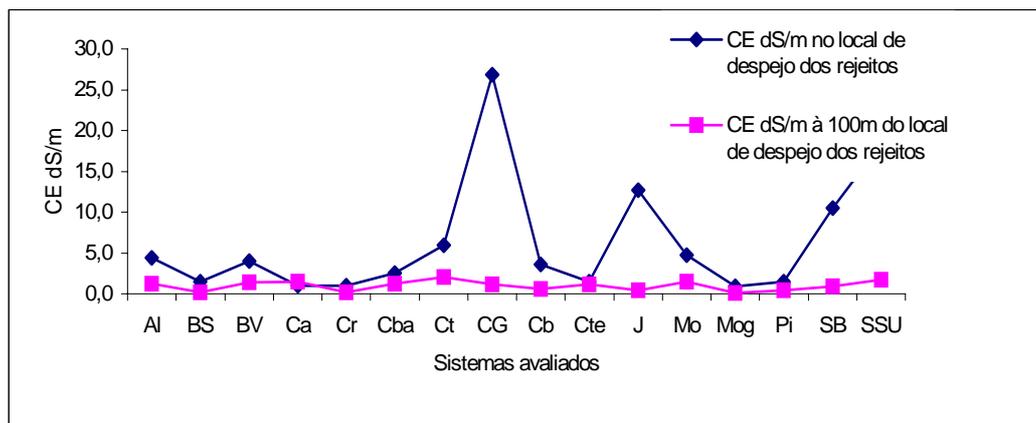
Os dados da Tabela 3 mostram que os elementos predominantes no solo no ponto do despejo dos rejeitos são o cloreto e o sódio, apresentando grande potencial de desfloculação do solo.

Os sistemas de São Sebastião do Umbuzeiro, Alcantil e Mogeirol, embora parados a seis meses e a 1 e 4 anos respectivamente, ainda apresentam seus solos com condutividades elétricas elevadas no ponto de despejo dos rejeitos, com percentuais de aumento de 90,6%, 72,7% e 88,9%.

A Figura 8, mostra que em 93,8% dos casos avaliados, o aumento da condutividade elétrica no solo foi significativo, evidenciando a influência dos despejos do rejeito. Os casos mais significativos foram observados nos sistemas dos municípios de Campina Grande, Juazeirinho, Serra Branca e São Sebastião do Umbuzeiro, cujo aumento de condutividade elétrica do solo foi de 97,6%; 95,7%; 91,1% e 90,6% respectivamente. Isto se explica devido aos rejeitos dos referidos sistemas apresentarem também as maiores condutividades elétricas, conforme Figura 4.

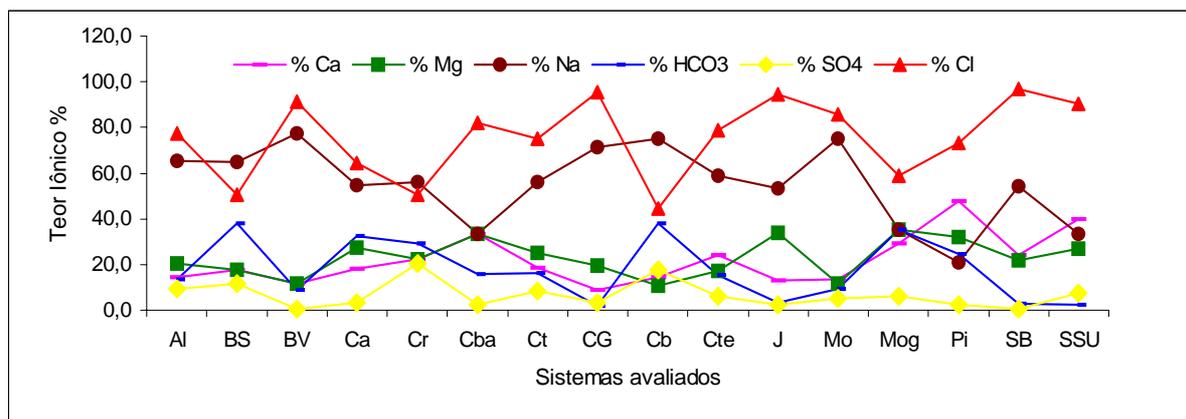
A condutividade elétrica média do solo em contato com o rejeito e à 100m do ponto do despejo foi de 6,3 dS/m e 1,0 dS/m, respectivamente. Pode-se observar ainda que também houve

modificações nos valores de pH sendo os casos mais significativos observados nos municípios de Alcantil, Barra de Santana e Caturité.



**Figura 8** – Condutividade elétrica (dS/m) das amostras de solo no local de despejo dos rejeitos e à 100m deste local.

A Figura 9 mostra os teores dos íons (%) dos solos no local de despejo dos rejeitos, e revela que o íon cloreto que teve maior ocorrência conforme Figuras 3 e 7, apresenta maior teor iônico percentual, com valores percentuais de 96,7%, para o sistema de Serra Branca; 95,3% para Campina Grande; 94,6% para Juazeirinho; 91,1% para o sistema de Boa Vista e 90,4% para São Sebastião do Umbuzeiro. O percentual do íon cloreto nos solos não seguiu a mesma ordem de percentual nos rejeitos, porém os sistemas que apresentaram maiores percentuais foram os mesmos.



**Figura 9** – Teores dos íons (%) dos solos no ponto de despejo dos rejeitos.

## CONCLUSÕES

De acordo com a avaliação dos sistemas de dessalinização e com base nos dados obtidos nos questionários, pode-se afirmar que:

- Em geral os dessalinizadores encontraram-se em bom estado de conservação, com um percentual de 61%, e percentual de 62% de funcionamento, porém os dessalinizadores que param de funcionar ficam grandes períodos parados, visto que há equipamentos parados a 3 anos. O que se observa é que a falta de pessoal qualificado dificulta não só as manutenções preventivas como as corretivas dos sistemas;

- O problema mais comum que ocorre nos sistemas é com o conjunto moto-bomba e com as membranas;

- Os poços apresentaram vazão média de  $3,84 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ; a taxa de rejeição média de sais foi de 88,5%, estando um pouco abaixo da taxa de rejeição da osmose inversa que é de cerca de 98%, porém os resultados das análises da água dessalinizada, mostraram que as mesmas estão em conformidade com os níveis de potabilidade; o nível de recuperação médio dos sistemas foi de 42%, estando bem abaixo da faixa ideal para menor produção de rejeitos que é de 70% e compatibilidade com a técnica da osmose inversa, pois 58% da água salobra dos poços avaliados são convertidos em rejeitos;

- Os poços com maior salinidade foram os dos municípios de Campina Grande, Alcantil, Boa Vista, Nova Palmeira e Monteiro; conseqüentemente os rejeitos dos respectivos dessalinizadores apresentaram as maiores salinidades;

- Os íons de maior ocorrência nas águas dos poços e dos rejeitos foram o  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$  e o  $\text{SO}_4^{--}$ , classificando-as como águas cloretadas sódicas; conseqüentemente os elementos predominantes nos solos em contato com o rejeito foram o  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ;

- Em 85% dos sistemas os rejeitos são despejados no solo sem qualquer critério, e em 90% das formas de despejo a questão ambiental não está sendo considerada visto que a prática de injetar o rejeito na rede coletora de esgotos também é uma forma de contaminação ambiental;

- Os solos que serviram de depósito dos rejeitos foram afetados pelo acúmulo de sais; os efeitos dos rejeitos foram bastante significativos em 93,8% dos sistemas, porém os municípios de Campina Grande, Juazeirinho, Serra Branca e São Sebastião do Umbuzeiro foram os casos mais significativos; esta forma de manejo dos rejeitos ameaça o surgimento de um novo processo de degradação do solo e meio ambiente semi-árido, fato que exige alternativas de manejo que estejam de acordo com as características do meio ambiente local, permitindo o desenvolvimento do processo de melhoria da oferta hídrica no semi-árido, sem deixar de preservar o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AFHA. American Public Health Association Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 16 th. Ed. American Public Health Ass. Washington, 1985.

- [2] Amorim, M.C.C.; Silva Júnior, L.G.A.; Porto, E, R. Efeito de Sais no Solo Provenientes de Rejeitos da dessalinização por Osmose Inversa no Semi-Árido Pernambucano. XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola; de 21 a 25 de Julho/97 – Campina Grande-PB.
- [3] Buros, O.K. Desalting as environmentally friendly water treatment process, Water Treatment Technology Report No. 13, sep.1994.
- [4] Porto, E.R, Amorim, M.C.C. de, Araújo, O. J., Silva Júnior, L.G.A. Aproveitamento dos Rejeitos da Dessalinização. In: Simpósio Sobre Captação De Água De Chuva No Semi-Árido Brasileiro, 1., 1997. Petrolina, PE. Anais... Petrolina; Embrapa Semi-Árido.
- [5] Manoel Filho, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In. Hidrologia: Conceitos e Aplicações. Fortaleza: CPRM,1997.
- [6] Oliveira, R.C.G. **Efeitos sócio-ambientais do uso da tecnologia de dessalinização no município de Caturité-Pb.** 2001.120p. Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB.
- [7] Pessoa, L.C.C. **Análise de desempenho e do impacto ambiental dos dessalinizadores por osmose reversa.** 2000. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE.
- [8] BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de Junho de 1986.** Estabelece a Classificação de águas doces, salobras e salinas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, p.11.350, 30 jul.1986.
- [9] Richards, L.A. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Washington: USDA, 1954. 172p. (Manual de Agricultura, 60).