



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

INSTITUTO DE QUÍMICA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

JOILMA DA SILVA MENEZES

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO CASEIRO PARA
DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA PARA DESSEDENTAÇÃO
HUMANA**

SALVADOR

2009

JOILMA DA SILVA MENEZES

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO CASEIRO PARA
DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA PARA DESSEDENTAÇÃO
HUMANA**

Dissertação submetida: Programa de Pós Graduação em Química,
Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia como requisito
parcial para obtenção do grau de Mestre em Química.

Orientadora: Prof.^a Dra. Vânia Palmeira Campos

SALVADOR

2009

JOILMA DA SILVA MENEZES

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO CASEIRO PARA
DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA PARA DESSEDENTAÇÃO
HUMANA**

Dissertação submetida: Programa de Pós-Graduação em Química,
Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia como
requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Química.

Orientadora: Prof.^a Dra. Vânia Palmeira Campos

Aprovada _____/_____/_____

BANCA ENXAMINADORA

SALVADOR

2009

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, por ter me ajudado em todos os momentos de minha vida;
Aos meus pais José Gomes de Menezes e Maria Elza da Silva por todo carinho, amor e incentivo para comigo;
Ao meu noivo Wilhan Sales da Cruz por todo incentivo, amor, e compreensão nos momentos de ausência.
Aos meus amados e queridos irmãos Joelza, Joelma, Flávia, Isaura e Joab pelo grande incentivo e carinho por mim;
Aos meus sobrinhos que alegra meus finais de semana com suas energia contagiante: Adelmo, Larissa, Mateus, Biatris, Bruna, Maria Gabriela, Dauane e Dayellen.
A minha querida tia Noêmia por ter me mostrado que estudar é uns dos caminhos mais fácies para se conquistar sonhos;
A minha querida orientadora Vânia por ter acreditado em mim.

AGRADECIMENTOS

São tantos e tão especiais...

A minha orientadora, Vânia, sempre presente e contribuindo de maneira sincera durante todo o curso de Mestrado e no processo de construção deste trabalho.

A todos do CEAJAT, em especial Jorge do Espírito Santos, que me incentivaram e torceram pela conclusão deste trabalho.

Aos colegas do LAQUAM, Angela, Sonilda, Engles, Fernando Mota, Adriana Oliveira, Sidney, Marcos, Carolina Leonor, Rodolfo, Bety e Simone agradeço pelo ambiente propício de idéias, incentivo, apoio e amizade.

Aos meus queridos amigos, Andrea, Aline e Jaqueline, sempre presentes nos momentos mais difíceis dando aquela grande força na realização deste trabalho, Vocês são maravilhosas. Obrigada por tudo.

Ao meu amigo Tadeu, **sem palavras...**

Muito obrigada Jorge (LAQUAM) pelo apoio técnico dado na realização prática deste trabalho. Ufa, quantas águas você carregou amigo! Sempre disposto a ajudar.

Aos professores do curso de Pós-graduação em química da UFBA pelo conhecimento transmitido e pelo carinho comigo.

À minha família por tudo que fizeram por mim, pela educação e pelos princípios que me passaram.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso deste trabalho.

“As coisas talvez melhorem. São tão fortes as coisas!
Mas eu não sou as coisas e me revolto.”

Carlos Drummond de Andrade

RESUMO

Para tornar potáveis águas salobras ou salinas, é necessário fazer a dessalinização, processo que normalmente exige alto investimento e recursos tecnológicos complexos para a produção em larga escala. Neste caso, o preço da água para o consumidor final torna-se muito mais elevado, devido à menor oferta e gastos envolvidos. O objetivo geral desse trabalho foi desenvolver um dispositivo caseiro para dessalinização de pequenas quantidades de água para o uso em dessedentação humana para aplicação em regiões com água de salinidade inadequada para beber, utilizando material biológico, como sementes de espécies de plantas do Semi-Árido baiano ou com possível cultivo naquela região. A metodologia empregada no trabalho foi baseada na medida da salinidade da água antes e após o contato com o material biológico. Dez tipos diferentes de sementes foram estudados: Amendoa (*Terminalia Catappa L.*), Umbu (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam.*), Moringa (*Moringa Oleifera Lam*), Mulungu (*Erythrina verna Vell*), Umburana (*Erythrina verna Vell*), Bucha Vegetal (*Luffa Cylindrica*), Algaroba (*Prosopis juliflora*), Abobora (*Cucúrbita Pepo L.*), Girassol (*Helianthus Annus*), e Mesocarpo e Endocarpo do Coco (*Cocos Nucifera*) e para os experimentos utilizou-se água de salinidade 0,7‰ (baixa salobridade de ocorrência freqüentemente no semi-árido baiano). Após o contato da água salobra com o material biológico determinava-se a concentração de sódio remanescente na água, representando o NaCl, não sorvido pelo material biológico, principal sal responsável pela salinidade da água. Para análise de sódio foi usado a técnica analítica da fotometria de chama (Micronal, Mod. B462). Na escolha final do sorvente a ser usado no dispositivo caseiro foi considerado prioritário, além da maior capacidade de sorção de sais, menor teor de sal intrínseco e abundância na região semi-árida e/ou com possibilidade de adaptação para cultivo naquela região. A semente de umbu (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam.*) apresentou maior capacidade de sorção de sais da água salobra, principalmente quando seca a 250° C, por 1 hora. Dessa forma desenvolveu-se um dispositivo caseiro para dessalinização de água, em pequenas quantidades, suficientes para o uso familiar em dessedentação humana, a partir desta semente tratada segundo indicação neste trabalho, podendo transformar água de baixa salobridade, mas imprópria para beber (> 0,5 a ≈ 1,5 ‰) em água doce e baixar a alta dureza de águas a níveis de aceitação para consumo humano. O estudo da adsorção dos sais em umbu realizado para explicar o processo de dessalinização da água salobra usando-se material produzido por secagem e moagem da semente do umbu, atendeu ao modelo de Langmuir e permitiu estimar a capacidade máxima de adsorção de sódio pelo umbu a 30, 40 e 50°C em: 52,6, 165 e 250 mg g⁻¹ respectivamente. Desta forma, 1 L de água salobra de salinidade entre 0,6 e 1,2‰, como aquelas do Semi Árido baiano testadas, pode ter seu teor de sal removido com apenas 1g daquelas sementes tratadas segundo indicação neste trabalho e aquecendo a água a 50°C.

Palavras Chaves: Dessalinização, Água salobra, Semi Árido.

ABSTRACT

To make salt or brackish water in drinking water, it is necessary to do the desalination, which normally requires high investment and complex technological resources for a large scale production. In this case, the price of water to consumers becomes expensive, due to lower supply and expense involved. The aim of this work was to develop a homemade device for desalting small amounts of water for human to quench thirst in regions with drinking water with inadequate salinity, using biological materials such as seeds of plant species of the Semi-Arid of Bahia or other possible species cultivated in the region. The methodology used in this study was based on the salinity level in the water before and after contact with biological material. Ten different types of seeds were studied: Almond (*Terminalia catappa L.*), Umbu (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam.*), Moringa (*Moringa oleifera Lam*), Mulungu (*Erythrina verna Vell*), Umburana (*Erythrina Verna Vell*), Bucha Vegetal (*Luffa cylindrica*), Algaroba (*Prosopis juliflora*), Pumpkin (*Cucurbita pepo L.*) Mesocarp and Endocarp material of Coconut (*Cocos nucifera*) and Sunflower (*Helianthus Annus*). For the experiments was used water with 0,7‰ of salinity (low occurrence of brackish water in Semi-Arid of Bahia). After contact of the brackish water with biological material was determined the remanent concentration of sodium in the water, representing the NaCl not sorbed by biological material, that is the main responsible for the water salinity. For analysis of sodium was used Flame Photometry (Micronal, Mod B462). For the final choice of the sorbent to be used in the homemade device was considered as priority high sorption capacity of salt, low intrinsic salt content of and abundance in the Semi-Arid and/or possibility of adaptation for cultivation in the region. The umbu's seed (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam.*), showed higher sorption capacity of salts from brackish water, especially when dried at 250 ° C for 1 hour. Thus was developed a homemade device for desalination of water in small quantities, sufficient to quench thirst for familiar use. Those seed, treated according to indication of these study, can transform a low-salinity water, but unfit to drinking (> 1,5 to ≈ 0,5‰) in fresh water and to low the high hardness of the water to acceptable level for human consumption. The study about the salt adsorption in the umbu's seed made to explain the desalination process of the brackish water, using material produced by drying and grinding of the umbu's seed, attended the Langmuir model and allowed to estimate the maximum adsorption capacity of sodium by 30, 40 and 50 ° C in: 52,6, 165 and 250 mg g⁻¹, respectively. Thus, 1 L of brackish water with salinity between 0,6 and 1,2 ‰, as ones tested in the Semi Arid of Bahia can have the salt content removed with only 1g of those seeds treated as indication in this work and warming the water to 50 ° C.

Keywords: Desalination, Brackish water, Semi Arid Region.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 ÁGUA – DISTRIBUIÇÃO E DISPONIBILIDADE.....	16
1.1.1 A disponibilidade hídrica no Brasil.....	19
1.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DO NORDESTE BRASILEIRO.....	20
1.3 O USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEA DO NORDESTE BRASILEIRO.....	22
1.4 A SITUAÇÃO DA ÁGUA NO SEMI ÁRIDO BAIANO.....	24
1.4.1 As águas da Bacia Hidrográfica do Rio Salitre.....	25
1.5 DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA SALGADA E SALOBRA.....	27
1.5.1 Síntese dos processos de dessalinização de águas no mundo.....	30
1.6 ALTERNATIVAS PARA A ESCASSEZ DE ÁGUA DOCE NO NORDESTE BRASILEIRO.....	41
1.7 OS PROBLEMAS ENFRENTADOS PELA DESSALIZAÇÃO POR OSMOSE INVERSA NO NORDESTE BRASILEIRO.....	43
1.8 DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA COM MATERIAL BIOLÓGICO.....	45
2. OBJETIVO DO TRABALHO.....	46
3. METODOLOGIA.....	46
3. 1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS BIOLÓGICOS INVESTIGADOS PARA USO COMO DESSALINIZADOR DE ÁGUA SALOBRA.....	48
3.1.1 Umburana de Cheiro.....	48
3.1.2 Umbu.....	49
3. 1.3 Coco.....	50
3. 1.4. Algaroba.....	52
3. 1.5 Moringa.....	53
3.1.6 Mulungu.....	55
3. 1.7 Amêndoa.....	56
3.1. 8 Abobora.....	57
3. 1. 9 Girassol.....	59
3.1.10 Bucha Vegetal.....	60
3.2 O PROCESSO DE ADSORÇÃO.....	61
3.2.1 Equilíbrios de adsorção e isothermas de adsorção.....	64

3.2.2 Tipos de isotermas.....	65
3. TÉCNICA ANALÍTICA UTILIZADA PARA ANÁLISE DAS ÁGUAS SALOBRA.....	69
4. PARTE EXPERIMENTAL.....	70
4.1 PREPARO DA ÁGUA SALOBRA EM LABORATÓRIO.....	70
4.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES PADRÕES DE NaCl PARA DETERMINAÇÃO DE SÓDIO POR FOTOMETRIA DE CHAMA.....	71
4.3 PREPARO DO MATERIAL BIOLÓGICO PARA OS TESTES DE SORÇÃO DE SAL.....	72
4.4 TESTE DE EXTRAÇÃO DO SAL INTRÍNSECO AO MATERIAL BIOLÓGICO.....	74
4.5 TESTE DE SORÇÃO DE SAL PELO MATERIAL BIOLÓGICO USANDO ÁGUA DE SALOBRIDADE 0,7%.....	74
4.6 CÁLCULOS PARA A PERCENTAGEM DE SORÇÃO DE SAL NO MATERIAL BIOLÓGICO.....	75
4.7 PREPARAÇÃO E TESTES COM O DISPOSITIVO CASEIRO.....	76
4.8 ANÁLISE DE AMOSTRAS REAIS DE ÁGUAS SALOBRAS PARA OS TESTES COM O DISPOSITIVO DESSALINIZADOR.....	78
4.8.1 Medida do pH.....	79
4.8.2 Determinação da dureza (cálcio e magnésio como CaCO ₃).....	79
4.8.3 Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD).....	81
4.9 ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DO MATERIAL USADO NO DESSALINIZADOR BIOLÓGICO.....	81
4.10 TESTE DE ADSORÇÃO.....	82
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	83
5.1 QUESTIONÁRIOS APLICADOS EM COMUNIDADES DA REGIÃO DO RIO SALITRE.....	83
5.2 MATERIAL BIOLÓGICO MAIS ADEQUADO PARA USO NO DISPOSITIVO DESSALINIZADOR.....	84
5.3 RESULTADOS DOS TESTES DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA COM O DISPOSITIVO CASEIRO EM DUAS MONTAGENS DIFERENTES.....	90
5.4 APLICAÇÃO DO DISPOSITIVO CASEIRO PARA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA.....	92
5.5 REUSO DO MATERIAL BIOLÓGICO.....	95
5.6 MODELO DE ADSORÇÃO.....	97
5.7 CÁLCULO DOS PARÂMETROS TERMODINÂMICOS DA ADSORÇÃO.....	101

6. CONCLUSÕES.....	103
7. FINALIZAÇÃO DO TRABALHO.....	105
8. ESTUDOS FUTUROS.....	105
REFERÊNCIAS.....	106
ANEXOS.....	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A distribuição da água no nosso Planeta.....	16
Figura 2 - Distribuição da água, da superfície e da população (em % do total do Brasil).....	19
Figura 3 - Distribuição do tipo de terreno na maioria dos estados nordeste.....	23
Figura 4 - Localização da Bacia do Rio Salitre.....	26
Figura 5 - Fluxo osmótico	38
Figura 6 - Equilíbrio osmótico.....	38
Figura 7 - Osmose Invesa.....	38
Figura 8 - Componentes da instalação de um dessalinizador por osmose inversa.....	39
Figura 9 - Aparelho dessalinizador por osmose inversa.....	39
Figura 10 - Distribuição de uso de sistemas de dessalinização de água do mundo.....	40
Figura 11 - Consumo de energia (em quilos de óleo combustível por metro cúbico de água purificada) em diferentes processos de dessalinização.....	40
Figura 12 - Sementes da umburana de cheiro.....	49
Figura 13 - Fruto do Umbuzeiro.....	50
Figura 14 - Corte longitudinal do coco com suas partes.....	51
Figura 15 - Foto da algaroba em período de seca.....	52
Figura 16 - Vagens da algaroba (a) verde (b) seca.....	53
Figura 17 - Sementes da moringa.....	54
Figura 18 - Semente do mulungu.....	56
Figura 19 - Fruto da amendoeira.....	57
Figura 20 - Semente da abobora.....	59
Figura 21 - Sementes de girassol.....	60
Figura 22 - Bucha Vegetal.....	61
Figura 23 - Isotermas de adsorção mais comuns encontradas a partir de soluções aquosas em materiais carbonosos.....	65
Figura 24 - Fotômetro de Chama, Micronal Mod. B462, usado para determinação de sódio.....	71
Figura 25 - Curvas de calibração para determinação de sódio por fotometria de chama.....	72

Figura 26 - Moinhos usados para triturar as sementes: (a) Moinho BERMAR (b) Moinho industrial.....	73
Figura 27 - Sementes testadas como sorvedores de sais da água salobra antes e após trituração: (a) Moringa, (b) Umburana, (c) Amêndoa, (d) Umbu e (e) Mulungu (sem triturar).....	73
Figura 28 - Teste de sorção de Sal em um determinado tempo pelo material biológico moído e lavado previamente usando-se 10 mL de água salobra 0, 7 ‰ e 1 g de material biológico seco a temperatura ambiente.....	75
Figura 29 - Filtro de água, marca SAP FILTROS, capacidade 4L, usado para o dispositivo dessalinizador.....	76
Figura 30 - (a) Preenchimento da vela de cerâmica com o material biológico; (b) Peças do Suporte da vela de cerâmica; (c) e (d) adaptação da vela contendo o material biológico ao suporte.....	77
Figura 31 - Adaptação do regulador de fluxo equipo à vela de cerâmica para. (a) vela de cerâmica e regulador de fluxo equipo; (b), (c) e (d) adaptação e posicionamento do regulador de fluxo equipo no dispositivo.....	78
Figura 32 - Preenchido recipiente superior do filtro com o material biológico e a água salobra usando vela de cerâmica (sem preenchimento) adaptada com um regulador de fluxo equipo.....	78
Figura 33 - Percentual da qualidade e origem da água bebida por comunidades da região do Rio Salitre.....	84
Figura 34 - Percentagem de sorção de sal por diferentes tipos de sementes em função do tempo de contato com a água salobra. Condições: 1g de material previamente moído, lavado e seca a 50° C.....	86
Figura 35 - Percentagem de sorção de sal da água salobra por diferentes tipos de sementes secas a 100 °C em diferentes tempos de secagem.....	88
Figura 36 - Isotermas de adsorção: concentração de sódio adsorvido no material em função da sua concentração de sódio na solução a 30, 40 e 50°C. ($C_0 = 170$ mg/L e agitação 8 rpm).....	97
Figura 37 - Isotermas de adsorção ajustadas ao modelo de Freundlich ($C_0 = 170$ mg/L, agitação 8 rpm).....	98
Figura 38 - Isotermas ajustadas ao modelo de Langmuir. ($C_0 = 170$ ppm e 8 rpm).....	98

Figura 39 - Massa do umbu requerida para remoção de sal por litro de água salobra em função da salinidade e diferentes temperaturas: 30, 40 e 50°C.....	100
Figura 40 - Efeito da temperatura na constante de equilíbrio de adsorção de umbu em água salobra (valores de K's determinados pela isoterma de Langmuir, tabela 10).....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Faixa de salinidade de águas dessalinizadas por diferentes processos.....	30
Tabela 2 Número de extrações necessárias para retirada do sal original, considerando-se de 1g de material biológico com 100 mL de água deionizada e tempo de contato de 10 min.....	85
Tabela 3 Percentagem de Sorção de sal da água salobra por diferentes materiais biológicos previamente lavados e secos em diferentes temperaturas e tempos de secagem. Condições: 1g de material, tempo de contato de 10 min.....	89
Tabela 4 Características químicas importantes de amostras reais de águas salobras do Semi-Árido baiano usadas neste trabalho.....	93
Tabela 5 Variáveis de qualidade das águas de amostras de águas salobras quando em contato (10 min) com os materiais biológicos umbu, mulungu e umburana. Condições dos materiais: previamente lavados e secos a 250° C por 1h.....	94
Tabela 6 Número de extrações necessárias para limpar o material usado como dessalinizador (umbu) no dispositivo.....	96
Tabela 7 Médias dos parâmetros de qualidade da água antes e depois do contato do material biológico (umbu) reaproveitado após usado em processo de dessalinização de água.....	96
Tabela 8 Valores dos parâmetros de equilíbrio das isotermas dos modelos de Langmuir e Freundlich.....	99
Tabela 9 Equações para estimar a massa de umbu (Y) em gramas necessária para remoção do sal em água salobra de diferentes salinidade (X) cada litro de água e diferentes temperaturas.....	100
Tabela 10 Parâmetros termodinâmicos obtidos a partir dos resultados da adsorção de sódio em umbu.....	101

1. INTRODUÇÃO

1.1 ÁGUA – DISTRIBUIÇÃO E DISPONIBILIDADE

A água é um recurso fundamental para a existência da vida, na forma que nós conhecemos. Foi na água que a vida floresceu, e seria difícil imaginar a existência de qualquer forma de vida na ausência deste recurso vital. O volume estimado de água no planeta é de 1,4 bilhão de km³ e cobre cerca de 71% da superfície da Terra. Apesar disso, muitas localidades ainda não têm acesso a quantidades de água com características de potabilidade adequadas às necessidades do consumo humano (GRASSI, 2001). Segundo Rebouças 2001, do volume total de água existente na terra cerca de 97% constituem as águas dos oceanos, restando, portanto, apenas 3% de água doce no planeta. Desse percentual de água doce, 2/3 estão nas calotas polares e nas geleiras, restando apenas 1% do volume inicial para ser utilizado ou consumido pela população mundial (figura 1).

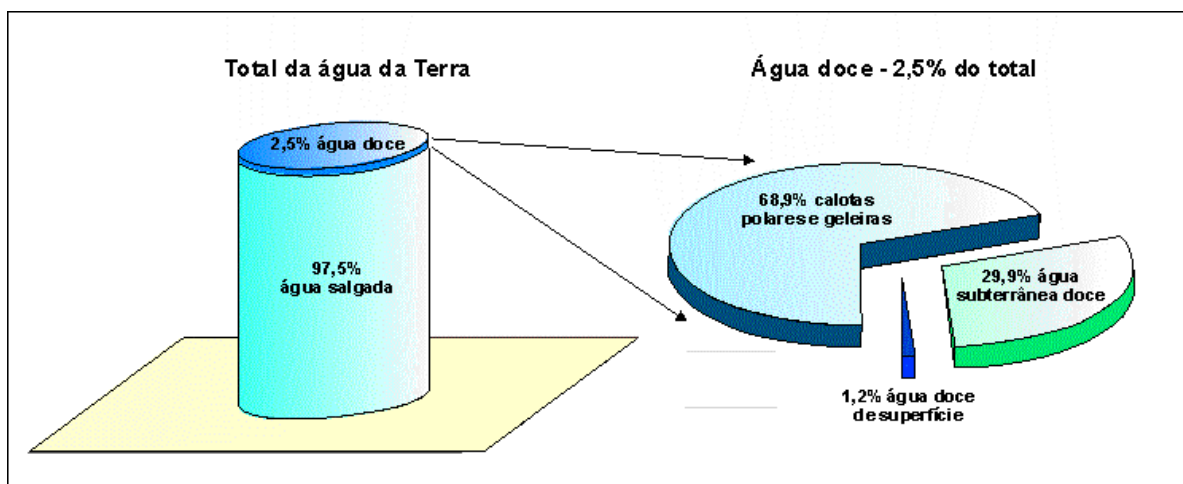


Figura 1- A distribuição da água no nosso Planeta

Fonte: MANSUR et al, 2008

A população mundial atual é da ordem de 6 bilhões de habitantes. Mesmo com o declínio da taxa de aumento da populacional, a cada ano a população do planeta aumenta em 80 milhões de pessoas, sendo projetados pelas Nações Unidas mais de 9 bilhões para 2050; aproximadamente 95% desse aumento ocorrerá em países do Terceiro Mundo (United Nations, 2005), onde justamente se encontram os maiores índices de pobreza, com deficiências de água.

Em muitas regiões do mundo, principalmente na Ásia Ocidental e no Norte da África, está aumentando a dificuldade para se conseguir água, em termos quantitativos e qualitativos, para satisfazer a demanda sempre crescente da população. Altas temperaturas e escassez de precipitação e conseqüente escassez de águas de superfície têm provocado desertificação à medida que os aquíferos e as águas subterrâneas se tornam mais salinas, como resultado de bombeamentos crescentes e da incorporação de sais. Em muitas áreas, a salinidade de aquíferos do interior está aumentando acima de 16 g L^{-1} , chegando a 20 g L^{-1} em zonas costeiras (FERNANDES et al, 2005).

A água é um bem de extrema importância para o homem desde a percepção de que a produção de alimentos dependia da oferta de água usada no cultivo. As cidades que se desenvolveram no antigo Egito, após a revolução agrícola que ocorreu cerca de 5.000 anos antes de Cristo, o fizeram próximas a rios que atendiam à suas demandas domésticas e agrícolas. Posteriormente, a água corrente também passou a ser utilizada na movimentação de máquinas que cortavam madeira, em moinhos de grãos e finalmente em processos industriais. (GRASSI, 2001)

A grande oferta e suas propriedades fizeram da água a substância ideal para ser empregada como solvente universal na limpeza e transporte de praticamente todos os resíduos gerados pelo homem. Ao redor de todo o mundo, as cidades foram se estabelecendo e crescendo próximas a grandes cursos d'água. Até os dias atuais, após seu uso nas mais diversas atividades, a água ainda é geralmente descartada para o corpo receptor mais próximo, muitas vezes sem que passe por qualquer tipo de tratamento. Não obstante, o baixo custo associado ao uso de enormes quantidades de água tem sido um dos pilares do desenvolvimento de nossa sociedade (GRASSI, 2001).

O pequeno percentual de água doce existente na Terra e sua desigual distribuição há algum tempo é conhecido. Apesar disso, e da relativa lentidão dos processos que levaram à diminuição dos mananciais, a perspectiva da falta de água doce como um grave problema a ser enfrentado num futuro não muito distante passou a ser objeto de maior atenção há menos de trinta anos (SILVESTRE, 2002).

Estima-se que a água doce disponível para consumo humano varie entre 12.500 e 14.000 km³ de água por ano. Teoricamente, isto representa ao redor de 7.000 m³ per capita por ano, segundo foi estimado no ano 2000. Projeta-se que, no ano de 2050, a disponibilidade global de água doce per capita diminuirá para 5.100 m³, ao somar-se dois bilhões de habitantes a mais para a população mundial. Ainda assim, teoricamente esta quantidade seria suficiente para satisfazer as necessidades humanas, se a água estivesse distribuída igualmente entre todos os habitantes do mundo. Entretanto, as cifras per capita sobre a disponibilidade de água não indicam necessariamente uma distribuição equitativa da água no mundo, já que, em muitos casos, a água não está onde se quer, nem em quantidade suficiente (MICROMACRO, 2008).

1.1.1 A disponibilidade Hídrica no Brasil

O Brasil, de acordo com a OMS (Organização Mundial de saúde), é um país privilegiado em termos de recursos hídricos, pois possui cerca de 12% de toda a água doce que escorre na superfície do planeta (SUASSUNA, 2004). Porém, a distribuição dessa água no território nacional deixa muito a desejar: 72% desses 12% localizam-se na região norte do país (vazão média de água por habitante nos rios do norte é acima de 20.000 m³/hab./ano), onde vivem cerca de apenas 7% de sua população. Muita água numa região com poucos habitantes (figura 2). Enquanto isso, o Nordeste brasileiro (28% da população do país) possui míseros 3%, 2/3 dos quais localizados na bacia do rio São Francisco – vazão média de água por habitante nos rios nordestinos é de 4.300 m³/hab./ano (ANA, 2009). O estado da Bahia, chega a ofertar cerca de 3 mil m³/hab./ano. Além de possuir áreas sedimentárias importantes, distribuídas de forma esparsa no estado, inclui o rio São Francisco como seu maior aliado, cortando o território baiano de sul a norte (SUASSUNA, 2004).

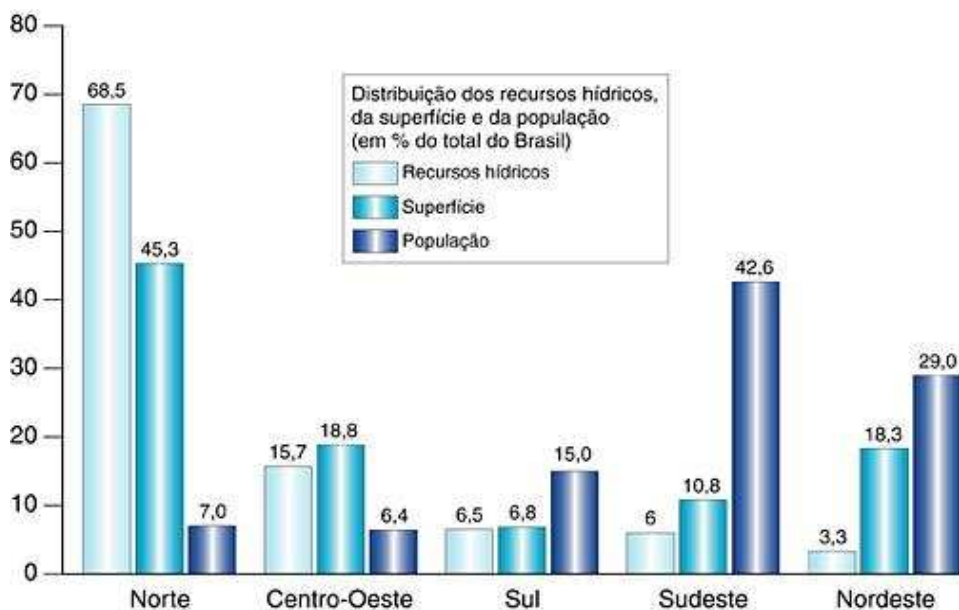


Figura 2- Distribuição da água, da superfície e da população (em % do total do Brasil).

Fonte: CLARKE, 2005

Para Rebouças, 1997, o estigma da escassez no nordeste, já que existe uma oferta de água doce, está caracterizado pelo fato de 80% das descargas dos rios ocorrerem nos setores ocupados por 5% da população, enquanto os 20% restantes devem abastecer 95% do contingente, cuja parcela urbanizada já atinge os 75%, conforme dados do censo de 1990.

1.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS DO NORDESTE BRASILEIRO

Logan (1965) define salinidade como a concentração total dos íons dissolvidos na água. Assim, quanto maior a salinidade, maior será a quantidade de sólidos totais dissolvidos (STD) nesta e maior sua condutividade elétrica, pois os íons são partículas carregadas eletricamente. A condutividade elétrica é uma propriedade que indica a capacidade de condução de corrente elétrica na água, tendo proporcionalidade direta com a concentração de sais dissolvidos (íons). A condutividade elétrica cresce com a temperatura e varia com o tipo de sal dissolvido para uma mesma proporção (LOGAN, 1965 apud OLIVEIRA, 2005).

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 357 de 2005, que determina os padrões de qualidade das águas do território nacional, considera que a classificação das águas doces, salobras e salinas é essencial à defesa de seus níveis de qualidade, trazendo em suas definições os limites de salinidade de cada classe.

- Águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,50 ‰.
- Águas salobras: águas com salinidade entre 0,5 ‰ e 30 ‰.
- Águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰.

De acordo com Logan (1965), o grau de salinidade das águas interfere em várias propriedades químicas desta, atuando direta ou indiretamente no metabolismo dos animais e vegetais que a consomem. Para obter-se, então, uma avaliação mais precisa da água com salinidade elevada, não basta apenas medir a sua condutividade elétrica, é necessário avaliar os seus constituintes iônicos.

Os constituintes iônicos da água que mais freqüentemente contribuem para a sua salinização são: os cátions sódio (Na^{+1}), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), potássio (K^{+1}), e os ânions cloreto (Cl^{-1}), carbonato (CO_3^{-1}), bicarbonato (HCO_3^{-1}), sulfato (SO_4^{2-}) (LARAQUE, 1989; LEPRUN, 1988).

De acordo com os estudos realizados por Silva (1999) objetivando-se determinar a variação da composição iônica de águas superficiais do cristalino do Nordeste brasileiro, pode-se verificar que as águas possuem baixos níveis de sulfato, carbonato e potássio, independente da condutividade elétrica (CE). Há predominância de águas cloretadas sódicas, independentemente do nível de salinidade, dos locais e das fontes de origem. Os teores de cloretos atingem valores superiores a 80% do total de ânions presentes na água com níveis de salinidade elevados ($\text{CE} > 3000 \mu\text{S cm}^{-1}$). As águas com baixos níveis de salinidade ($\text{CE} < 750 \mu\text{S cm}^{-1}$) podem ter as concentrações percentuais de bicarbonato próximas ou superiores às de cloreto. Silva (1999) concluiu que o clima, quanto ao índice de aridez local, exercia influência sobre o teor de salinidade total da água cujo níveis, altos de salinidade, são associados aos índices elevados.

De modo Geral, os íons que apresentam maiores concentrações nas águas superficiais da região Árida do nordeste brasileiro são em ordem, o cloreto (Cl^{-1}), bicarbonato (HCO_3^{-1}), e o sódio (Na^{+1}), conforme pode ser comprovado por estudos da qualidade da água em açudes localizados no semi-árido nordestino realizado por vários pesquisadores.

1.3 O USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEA DO NORDESTE BRASILEIRO

Uma importante fonte alternativa às águas superficiais são as águas subterrâneas. Estima-se que existe no Brasil pelo menos 400. 000 poços. Essas águas são extensamente exploradas no país. As águas de poços e fontes vêm sendo utilizadas para diversos fins, tais como o abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. No Brasil, 15,6% dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea, 77,8% usam redes de abastecimento de água e 6,6% usam outras fontes de abastecimento (IBGE, 2002).

O relativo lento movimento da água infiltrando-se no solo propicia-lhe um íntimo e demorado contato com os minerais que formam a crosta terrestre e que nela vão se dissolvendo em maior ou menor proporção. Assim, a água subterrânea vai aumentando o seu teor em substâncias dissolvidas à medida que prossegue no seu movimento, até que entre essas seja alcançado um equilíbrio. Portanto, a qualidade química das águas subterrâneas depende da concentração inicial de sais na água de recarga e, principalmente, das características dos solos e das rochas em que escoam, infiltram e se confinam. Justamente em virtude da variabilidade espacial sobre as características do solo e da matriz, tem-se a variabilidade qualitativa das águas subterrâneas disponíveis (SOARES 2007).

Grande parte da região (788 mil km², ou 51% da área total do Nordeste) está situada sobre rochas cristalinas e o contato por longo tempo, no subsolo, entre a água e esse tipo de rocha leva a um processo de salinização. No sertão nordestino, as soluções tradicionais para resolver o problema da falta d'água doce são a construção de açudes, para armazenar a água superficial, a perfuração de poços, para buscar a água subterrânea e construções de cisternas para o aproveitamento eficiente das chuvas que caem, nos estados da Bahia, Sergipe,

Pernambuco e Rio Grande do Norte são mais de 100.000 cisternas (CARVALHO, 2000 & DRUMOND, 2005).

Segundo estudos da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) poderiam ser extraídos do subsolo da região, sem risco de esgotamento dos mananciais, pelo menos 19,5 bilhões de m³ de água por ano (40 vezes o volume explorado hoje). O uso dessa água, porém, é limitado por um problema típico dos poços do interior nordestino: o teor de sal. Grande parte da região está situada sobre rochas cristalinas e o contato por longo tempo, no subsolo, entre a água e esse tipo de rocha leva a um processo de salinização. Todos os estados que fazem parte do polígono da seca situam-se sobre terreno cristalino (figura 3), com cerca de 950 mil km² (60% da superfície total da região).

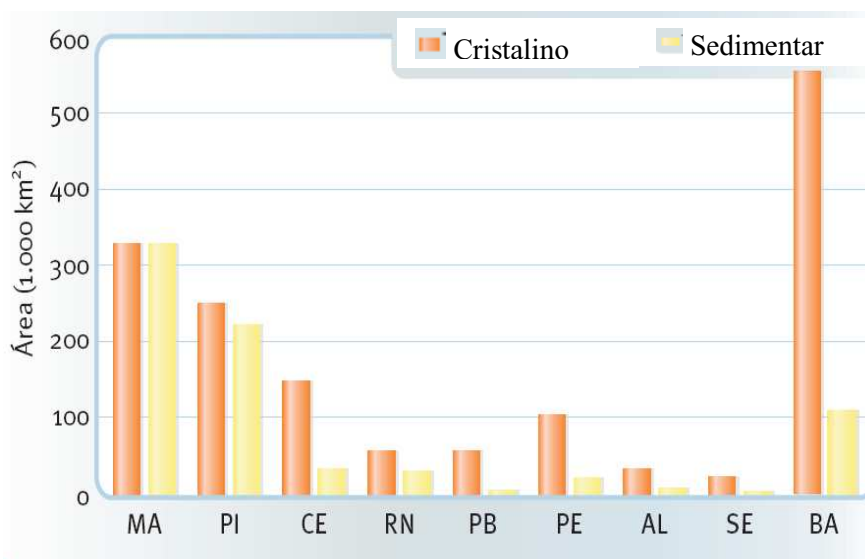


Figura 3- Distribuição do tipo de terreno na maioria dos estados nordestinos.

Fonte: (Carvalho, 2000)

Sem opção, diversas comunidades rurais nordestinas consomem água com salinidade acima da recomendada pela OMS de 500 partes por milhão (ppm). Carvalho (2000) afirma que nessas comunidades, a única fonte de água é o aquífero cristalino subterrâneo. A ocorrência

de hipertensão anômala na população da zona semi-árida vem sendo atribuída à utilização de águas com teores de sólidos totais dissolvidos superiores ao máximo permissível do padrão de potabilidade (REBOUÇAS, 1999b). Conforme Rebolças (1999a), no contexto das rochas cristalinas no semi-árido brasileiro, os teores de sólidos totais dissolvidos (STD) nas águas subterrâneas são superiores a $2\,000\text{ mg L}^{-1}$ em 75% dos casos.

Para enfrentar a escassez de água potável no Nordeste nas últimas décadas vêm - se usando a dessalinização de águas salobras permitindo que as mesmas fiquem em condições de uso.

1.4 A SITUAÇÃO DA ÁGUA NO SEMI ÁRIDO BAIANO

A qualidade da água superficial e subterrânea da região semi-árida do Estado da Bahia vem sendo avaliada por órgãos dos governos Federal e Estadual, tendo sido gerada uma razoável base de dados com os resultados das análises de parâmetros tradicionais. O Grupo de Recursos Hídricos (GRH) do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA, vem levantando desde 2001 dados de qualidade de água em municípios do Semi-Árido do Estado da Bahia, permitindo identificar os principais problemas com relação ao uso da água e avaliar os impactos do uso e da qualidade da água sobre a saúde da população de algumas comunidades daquela região (CRH, 2001, 2004 & FERREIRA, 1994)

Através de dados gerados (GRH, 2001, 2004 & FERREIRA, 1994) em campanhas de amostragem de água ao longo da Bacia do Rio Salitre, no Semi Árido baiano, pode-se verificar uma média de 42 % dos pontos amostrados apresentando água salobra, embora com salinidade considerada baixa ($> 0,5 \leq 5\text{ ‰}$), mesmo assim inadequada à dessedimentação

humana. Na região, parte das águas disponíveis para beber, tem frequentemente salinidade duas ou três vezes mais alta do que o recomendado pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2001).

1.4.1 As águas da Bacia Hidrográfica do Rio Salitre

A bacia hidrográfica do Rio Salitre é uma sub-bacia do Rio São Francisco (figura 4). Inicia-se na Chapada Diamantina, em Morro do Chapéu - BA, e deságua ao norte, a 20 km a montante de Juazeiro - BA. Está compreendida entre as latitudes 09°27' e 17°14' e as longitudes 40°22' e 41°30', ocupando área de 13.199,7 km², e comprimento do curso principal de 270 km, aproximadamente. (CEI, 1986). É limitada a leste pelas bacias do rio Itapicurú e do sub-médio São Francisco, a oeste pela bacia dos rios Jacaré/Verde e a sul pela bacia do rio Paraguaçu, especificamente a sub-bacia do rio Jacuípe. Essa área engloba parte do município de Campo Formoso, Jacobina, Juazeiro, Miguel Calmon, Mirangaba, Morro do Chapéu, Ourorândia, Umburanas e Varzea Nova, sendo que o município de Campo Formoso ocupa 39,8% deste total e Várzea Nova é o único município completamente inserido na Bacia (UFBA, 2004).



Figura 4- Localização da Bacia do Rio Salitre

Fonte: UFBA, 2004

As fontes de água da Bacia Hidrográfica do Rio Salitre, em sua grande maioria, contêm elevado teor de sais. Brito (2005) em seus estudos sobre Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre analisou 92 fontes, sendo 33 superficiais e 59 subterrâneas, encontrando variações de 40 a 5370 mg/L de sais. A legislação brasileira considera água doce até 500 mg/L de sais dissolvidos (CONAMA 357/05). As 92 fontes, embora não sejam as únicas, são as mais representativas na oferta de água para o consumo da população daquela bacia. As águas da bacia hidrográfica do Rio Salitre apresentam elevados valores de dureza total, SDT, Cl^- , HCO_3^- , Ca^{++} , devendo-se a fatores naturais, principalmente climáticos e geológicos, 82,7% e 58,9% das fontes superficiais e subterrâneas da bacia do rio Salitre, respectivamente, foram classificadas como bicarbonatadas (BRITO, 2005).

As rochas em contato com a água essas se dissolvem liberando espécies como sódio, cálcio, magnésio, cloreto, bicarbonato, entre outros. Esse é um processo que acontece naturalmente ao longo de muitos anos. No entanto, na região da Bacia Hidrográfica do Rio Salitre, vem sendo acelerado pela ação humana. Em algumas fontes com água de boa qualidade é perceptível o processo de salinização: em 1984, o valor médio dos sais chegava a 199 mg/L; em 2001, já estava em 725 mg/L, devido a Influência das atividades antrópicas (BRITO, 2003).

No contexto da influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da região do rio Salitre, a agricultura é tida como a principal consumidora e uma das principais poluidoras dos recursos hídricos, sendo a salinidade e a contaminação por nitrato os principais indicadores de poluição das águas, sob determinadas condições de solo e clima e o uso excessivo ou o manejo inadequado de fertilizantes, podem acarretar o enriquecimento das fontes hídricas, promovendo a eutrofização de suas águas, com sérios prejuízos ao ambiente e à própria saúde humana (BRITO, 2005).

1.5 DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA SALGADA E SALOBRA

A água potável de boa qualidade é fundamental para a saúde e o bem estar humano. Entretanto, grande parte da população mundial ainda não tem acesso a este bem essencial. Mais do que isto, existem estudos que apontam para uma escassez cada vez mais acentuada de água para a produção de alimentos, desenvolvimento econômico e proteção de ecossistemas naturais (GRASSI, 2001).

A presente problemática da escassez de água do mundo introduziu o desenvolvimento de processos e tecnologias de dessalinização das águas com elevado conteúdo salino para obter água doce. (TSIOURTIS, 2001).

Para tornar potáveis águas salobras ou salinas, é necessário fazer a dessalinização, processo que normalmente exige alto investimento e recursos tecnológicos complexos para a produção em larga escala. Os principais processos utilizados para a dessalinização de águas são: Osmose Inversa, que ocorre quando é exercida pressão em uma solução salina através de uma membrana semipermeável, com poros microscópicos, que retém sais, microorganismos e outras impurezas (PESSOA, 2000; TSIOURTIS, 2001) e Dessalinização Térmica um dos processos mais antigos, imitando a circulação natural da água, utilizada em lugares quentes, com a construção de grandes tanques cobertos com vidro ou outro material transparente, o qual é atravessado pela luz solar, que provoca a evaporação da água, posteriormente condensada e recolhida, (SABESP, 2006); Congelamento, produzindo gelo puro, sem sal, obtendo-se água doce por descongelamento (SABESP, 2006).

O processo de dessalinização da água salgada e salobra se expandiu rapidamente, principalmente para apoiar o desenvolvimento urbano, industrial em áreas de zonas áridas e semi-áridas e em áreas remotas, onde a água não é disponível ou é demasiadamente onerosa para transferir ou desenvolver. O mercado de água dessalinizada é motivado pela escassez da água criado pelo limitado abastecimento de água, crescimento da população, melhoria do estilo de vida, mudanças climáticas e intervenção de humanos que reduz a disponibilidade hídrica. O mercado também é impulsionado pela queda dos custos de dessalinização, que são devido a avanços tecnológicos no processo de dessalinização (TSIOURTIS, 2001).

Um grande avanço tecnológico ocorreu, no início dos anos 40, durante a Segunda Grande Guerra Mundial. Foi marcante a contribuição dos Estados Unidos da América do Norte, por intermédio da Secretaria de Águas Salinizadas e da Secretaria de Pesquisa e Tecnologia Hídrica. A descoberta e implementação de novos métodos e técnicas ocorreram simultaneamente em outros países, entre os quais destacam-se a Inglaterra, Itália, França, Alemanha e Japão. No Brasil, grupos não consolidados de pesquisadores, mas com alguns especialistas de nível internacional, estão implementando estudos sobre a dessalinização de águas (TSIOURTIS, 2001).

Em trabalho divulgado pela internet, o Professor Jorge Paes Rios apresenta um resumo cronológico da experiência internacional e nacional de dessalinização de água, o qual foi reproduzido a seguir:

- *“Em 1928 foi instalado em Curaçao uma estação dessalinizadora pelo processo da destilação artificial, com uma produção diária de 50 m³ de água potável.*
- *Nos Estados Unidos da América, as primeiras iniciativas para o aproveitamento da água do mar datam de 1952, quando o Congresso aprovou a Lei Pública número 448, cuja finalidade seria criar meios que permitissem reduzir o custo da dessalinização da água do mar. O Congresso designou a Secretaria do Interior para fazer cumprir a lei, daí resultando a criação do Departamento de Águas Salgadas.*
- *O Chile foi um dos países pioneiros na utilização da destilação solar, construindo o seu primeiro destilador em 1961.*
- *Em 1964 entrou em funcionamento o alambique solar de Syni, ilha grega do Mar Egeu, considerado o maior da época, destinado a abastecer de água potável a sua população de 30.000 habitantes.*
- *A Grã-Bretanha, já em 1965, produzia 74% de água doce que se dessalinizava no mundo, num total aproximado de 190.000 m³ por dia.*
- *No Brasil, algumas experiências com destilação solar foram realizadas em 1970, sob os auspícios do ITA- Instituto Tecnológico da Aeronáutica, em São José dos Campos.*
- *Em 1971 as instalações de Curaçao foram ampliadas para produzir 20.000 m³ por dia.*
- *Em 1983, o LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Lisboa - Portugal, iniciou algumas experiências com o processo de osmose reversa, visando, sobretudo, o abastecimento das ilhas dos Açores, Madeira e Porto Santo.*

- Em 1987, a Petrobras iniciou o seu programa de dessalinização de água do mar para atender às suas plataformas marítimas, usando o processo da osmosis inversa, tendo esse processo sido usado pioneiramente, aqui no Brasil, em terras baianas, para dessalinizar água salobra nos povoados de Olho D'Água das Moças, no município de Feira de Santana, e Malhador, no município de Ipiara.
- Atualmente existem cerca de 7.500 usinas em operação no Golfo Pérsico, Espanha, Malta, Austrália e Caribe convertendo 4,8 bilhões de metros cúbicos de água salgada em água doce, por ano. O custo, ainda alto, está em torno de US\$ 2,00 o metro cúbico (grifo nosso).
- “As grandes usinas de dessalinização da água encontram-se no Kuwait, Curaçao, Aruba, Guernsey e Gibraltar, abastecendo-os totalmente com água doce retirada do mar.”

1.5.1 Síntese dos processos de dessalinização de águas no mundo

Os processos de dessalinização de águas no mundo que já demonstram funcionalidade em larga escala são a destilação e o congelamento, que retiram a água do sal, e a Eletrodialise, que retira o sal da água. Além desses, também merecem destaque a osmose inversa e a troca iônica. Cada processo opera melhor dentro de uma determinada faixa de salinidade (tabela 1). (BUROS, 1990).

Tabela 1- Faixa de salinidade de águas dessalinizadas por diferentes processos

PROCESSOS	CONCENTRAÇÕES SALINAS (PPM)
Destilação	10.000 a 50.000
Eletrodialise	1.000 a 5.000
Osmose Inversa	1.000 a 15.000

Fonte: CRAVO, J. & CARDOSO, H. 1999)

A escolha e a aplicação de um desses métodos dependem de vários fatores: resultado desejado, qualidade da água em termos de poluição, forma de energia disponível de mais baixo custo na região, volume de água a ser produzido, existência ou não de mão-de-obra especializada no local, frequência de uso da instalação, capital inicial de que se pode dispor. Assim, não existe um método que seja melhor que os demais: cada um apresenta vantagens e desvantagens. (CRAVO, J. & CARDOSO, H. 1999).

DESTILAÇÃO

Os processos térmicos para dessalinização de água são compostos por métodos e técnicas que se utilizam do princípio da destilação, isto é, quando uma solução salina é fervida, durante a mudança de fase da água, os sais dissolvidos, por serem relativamente não-voláteis, permanecem na solução à medida que a água evapora. Na seqüência do processo, o vapor é condensado em uma superfície fria, gerando água doce.

Os subprocessos térmicos são Destilação com Múltiplos Efeitos (DME), Destilação Instantânea com Múltiplas Efeitos (DIME) e Destilação por Compressão de Vapor (DCV), empregados principalmente para dessalinização de água do mar e produzem cerca de 60% do volume mundial de água artificialmente dessalinizada, o que equivale a 9 milhões de metros cúbicos de água doce por dia (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990).

A Destilação com Múltiplos Efeitos (DME), foi desenvolvida há 60 anos. Os equipamentos contêm um conjunto de trocadores de calor, os quais possibilitam a recuperação do calor latente e parte do calor sensível da água evaporada. Os tubos de evaporação operam em série,

com cada um deles apresentando uma pressão mais baixa do que a precedente. Como o ponto de ebulição diminui quando a pressão decresce, usa-se o vapor da água do primeiro tubo como um aquecedor para o segundo e assim sucessivamente, fazendo com que estas plantas operem a baixas temperaturas. Nos diferentes estágios, por onde circula a água, devido à crescente redução da pressão de trabalho ocorre ebulição em cada tubo, sem adição extra de calor após uma etapa inicial. Nos modelos atuais o consumo energético é da ordem de 40 a 60 KWh/m³ de água dessalinizada. Este subprocesso é aplicado para a obtenção de cerca de 5% do volume total da dessalinização artificial de água do mar. As plantas, geralmente localizadas no Caribe, têm capacidade de produção de até 10.000 m³/dia (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990).

Após 1950 foi introduzido nas câmaras de múltiplos efeitos um sistema a vácuo, para reduzir a temperatura de evaporação e minimizar o consumo de energia, que passou a ser, em média, de 30 KWh/m³ de água tratada, conhecido como Destilação Instantânea com Múltiplas Efeitos (DIME) : neste subprocesso a água é aquecida sob uma pressão suficientemente alta, a qual evita a ebulição. Quando esta pressão é retirada, ocorre uma ebulição instantânea, também denominada flash. O vapor gerado é condensado como água doce, devido ao resfriamento provocado pela água de alimentação, que, por sua vez, torna-se aquecida, reduzindo o consumo de energia no processo. Esta variação tecnológica é muito aplicada para dessalinizar água do mar e responde por cerca de 52% do volume mundial de água artificialmente desmineralizada. As plantas de dessalinização que se utilizam deste sistema têm, em média, a capacidade de produzir 30.000 m³/dia. (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990).

As unidades industriais de purificação de água do tipo DCV utilizam-se de uma bomba de calor e fundamentam-se teoricamente no princípio da redução de temperatura de ebulição devido à redução da pressão. O vapor gerado é comprimido, transmitindo o calor latente e o calor sensível para o evaporador. Assim, o calor para a evaporação da água é gerado da compressão do vapor e não da troca direta de calor produzido na caldeira. Este subprocesso de destilação responde por 3% da purificação de águas com salinidade superior a 30.000 ppm. A produção diária média de um equipamento é de 2.000 m³/dia de água doce, com um consumo energético médio da ordem de 12 KWh/m³ de água dessalinizada. (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990).

Outro tipo de dessalinização é a destilação solar que pode ser feita mediante processo conhecido como umidificação solar e tanque raso (DUFFIE, 1991).

Na Destilação solar, também conhecida como umidificação solar uma variante do processo utiliza um pedaço de tecido negro, que por propriedades de capilaridade é encharcado de água e então exposto ao sol. Esse processo atinge a maior eficiência (60%) de todos os tipos de destilação, mas tem muitos problemas que na prática impedem seu desenvolvimento maior, como a rápida deterioração do tecido e conseqüente necessidade de troca, além da necessidade de constante limpeza. (DUFFIE, 1991).

O tipo de destilador solar de tanque raso, é o mais disseminado, devido à simplicidade de construção, manutenção e operação. A destilação feita com o auxílio de um coletor solar, que concentra a radiação solar e purifica a água salobra pelo processo de “múltiplo efeito” ou de “múltiplos estágios”. Esse tipo de destilação produz uma alta temperatura na água, tem um alto custo inicial e sua operação é complicada, além de necessitar de energia elétrica extra para funcionar a bomba de água (DUFFIE, 1991).

O funcionamento do destilador via destilação solar, do tipo tanque raso, é uma tecnologia muito simples que imita um processo natural: a radiação solar aquece a água contida num recipiente raso de concreto revestido por uma cobertura negra, transformando a água em vapor; o vapor se condensa na cobertura de vidro (que tem uma temperatura mais baixa) e a lâmina de água destilada é então coletada em um duto metálico meia-cana localizado na parte lateral do destilador. A energia solar é aprisionada dentro da câmara, pois o vidro comum é transparente para a radiação solar, mas opaco para a radiação térmica emitida pela água (efeito estufa). Quando a água evapora, as impurezas são deixadas para trás na água salobra. O sal necessitaria de uma temperatura de 1400°C para evaporar. Não é necessário, como alguns acreditam, que a água ferva para que ela seja destilada. O processo realizado pelo destilador solar realiza o mesmo trabalho que a fervura, produzindo uma água até mesmo mais pura, pois quando as bolhas da fervura estouram, elas podem contaminar a água destilada com pequenas porções de água contaminada sendo lançadas no vapor (MALUF, 2005).

CONGELAMENTO

Quando a água do mar congela, os cristais formados são constituídos de água pura, pois o sal se separa da água espontaneamente, ficando depositado entre os cristais de gelo. A observação desse fenômeno levou técnicos de vários países a desenvolver o método de obtenção de água doce por congelamento. Nesse caso, o processo consiste em retirar calor da água do mar em vez de fornecê-lo. (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990)

A retirada de calor de um sistema também exige um consumo de energia, que, como no caso da destilação, pode ser reduzido, desde que a fusão do gelo seja utilizada para retirar calor da nova porção de água a ser congelada. O mais promissor é o denominado processo de

refrigerante secundário, que consiste em obter o resfriamento da água do mar fazendo passar pelo interior da água salgada um hidrocarboneto liquefeito e imiscível em água, como o butano, C_4H_{10} (cujo ponto de fusão sob pressão de 1 atm é igual a $-138^\circ C$) (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990).

O butano, em contato com a água do mar, que se encontra a uma temperatura mais elevada que seu ponto de fusão sofre evaporação, ajudando a retirar o calor da água, que se transforma em gelo. O gelo formado é então lavado em uma unidade separadora para retirar o sal que se deposita na superfície dos cristais. O gás refrigerante (butano) vaporizado passa por uma câmara de compressão e sofre aquecimento, sendo então encaminhado à unidade que contém o gelo lavado, ao qual fornece calor. Com o calor, o gelo se funde e o gás refrigerante liquefaz-se, podendo ser novamente utilizado. O rendimento de uma usina de congelamento de médio porte é de aproximadamente 760 mil litros de água dessalinizada por dia (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990).

Pode-se conseguir a dessalinização sem a utilização de calor, usando somente meios eletroquímicos: é o processo chamado de eletodiálise. Esse processo, porém, só dá bons resultados com soluções de baixa concentração salina. Assim, é utilizado principalmente para dessalinizar a água salobra (ligeiramente salgada) do subsolo. (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990)

ELETRODIÁLISE

Baseia-se no fato de que os sais dissolvidos na água se decompõem em íons positivos e negativos. Esse processo usa uma grande câmara dividida em muitos compartimentos por

finas membranas plásticas permeáveis de dois tipos: as que se deixam atravessar apenas por íons positivos e as que se deixam atravessar apenas por íons negativos. Em uma das extremidades da câmara é ligado um eletrodo positivo e na outra extremidade, um eletrodo negativo. Quando se faz passar uma corrente elétrica pela água salobra contida na câmara, os íons negativos são arrastados para o eletrodo positivo, em cujo caminho há apenas as membranas permeáveis a íons negativos. Por sua vez, os íons positivos são arrastados para o eletrodo negativo, atravessando membranas permeáveis apenas a íons positivos. A água purificada é retirada pelo centro da câmara, e a salmoura, pelas extremidades. (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990)

TROCA IÔNICA

É um método químico de grande seletividade que permite retirar certos sais de uma solução. Baseia-se na propriedade de certos minerais, denominados zeólita, e de algumas resinas sintéticas de retirarem da água os íons dos sais dissolvidos, substituindo-os por outros (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990)

No caso, são utilizados os chamados trocadores catiônicos e os trocadores aniônicos, que substituem respectivamente os cátions dos sais por íons hidrônio, H_3O^+ , e os ânions dos sais por íons hidróxido, OH^- . A aplicação sucessiva de trocadores catiônicos e aniônicos permite obter uma desmineralização quase completa da água, porque íons H_3O^{1+} reagem com os íons OH^{1-} formando água. Após serem utilizadas, as moléculas dos zeólitos ou dos trocadores iônicos podem ser reutilizadas. (CRAVO, J. & CARDOSO, H., 1999; BUROS, 1990)

OSMOSE INVERSA

A palavra osmose vem do grego *osmós*, que significa “impulso”. A osmose é um fenômeno em que o meio menos concentrado cede água para o mais concentrado através de membranas semipermeáveis. É um tipo de transporte passivo, onde pode ocorrer tanto do meio hipotônico para o hipertônico quanto no sentido inverso. Este tipo de transporte não apresenta gasto de energia por parte da célula (WIKIPÉDIA, 2008).

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 5), até que as duas se encontrem em equilíbrio, ou seja, apresentem a mesma quantidade de concentração (Figura 6). Isto se dá pelo aparecimento da pressão osmótica (GURGEL, 2006).

Para dessalinizar a água salgada, porém, é preciso inverter o processo da osmose. Isso ocorre quando se aumenta, por meios artificiais, a pressão a que a água salgada ou salobra está submetida, até superar a diferença natural (a pressão osmótica). A pressão aplicada obriga a água a atravessar a membrana em direção à água pura (aumentando o teor de sal do lado da água salgada). Esse processo, chamado de osmose inversa (figura 7), é hoje um dos mais usados para purificar água salobra ou do mar, substituindo os processos térmicos (como a evaporação, que exige a posterior condensação da água) (CARVALHO, 2000).

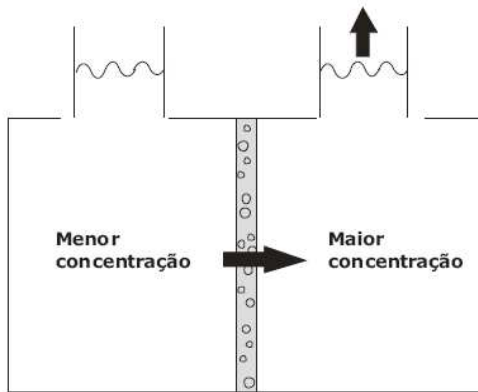


Figura 5 - Fluxo osmótico

Fonte: PESSOA, 2000

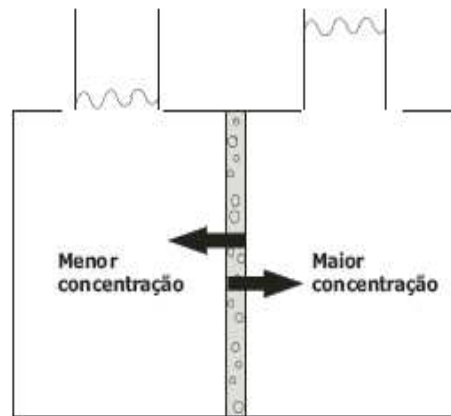


Figura 6 - Equilíbrio osmótico

Fonte: PESSOA, 2000

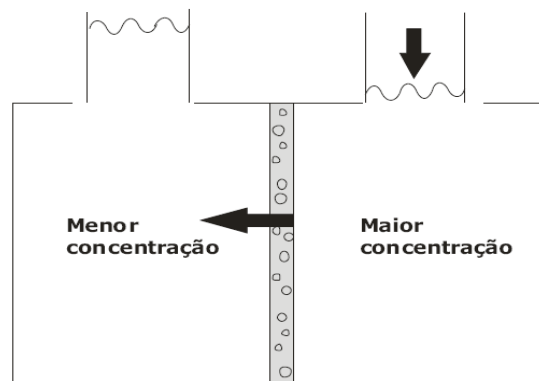


Figura 7 - Osmose inversa

Fonte: PESSOA, 2000

Para a instalação de um dessalinizador por osmose inversa (figura 8), é necessário ter no sistema alguns componentes indispensáveis a seu funcionamento, como uma bomba de alta pressão (“booster”) e um sistema de membranas para a filtragem. Após passar por esse sistema, a água seguirá dois caminhos – parte dela irá para o pós-tratamento, tornando-se água potável; o restante, formado pelas águas residuais, é lançado no meio ambiente ou reservado para outros fins (GURGEL, 2006). A figura 8 mostra um aparelho dessalinizador por osmose inversa.

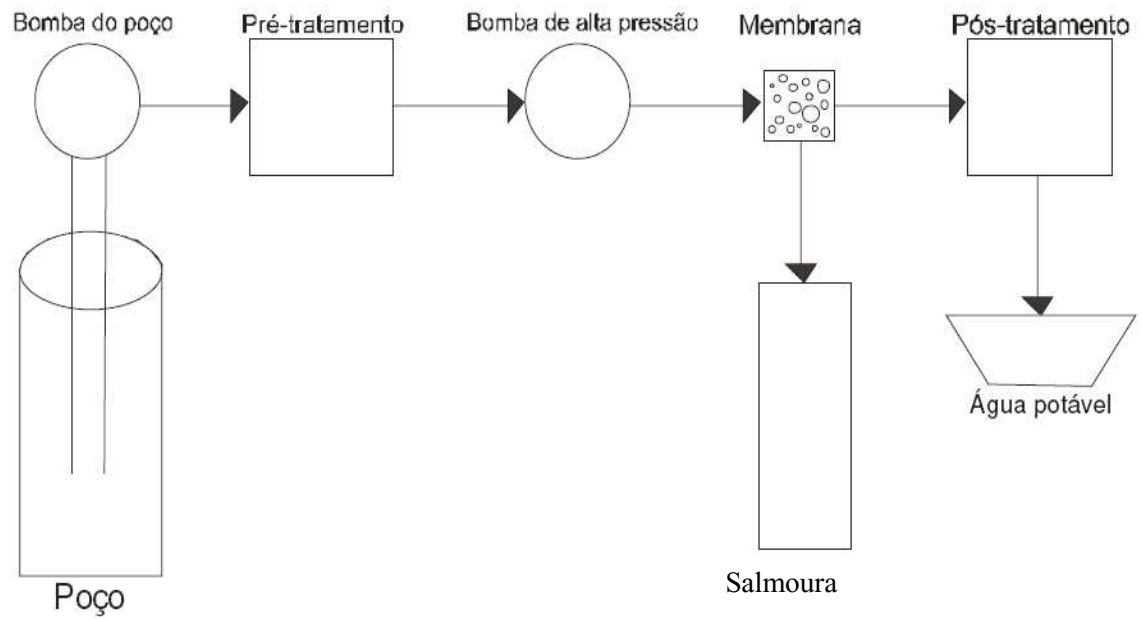


Figura 8- Componentes da instalação de um dessalinizador por osmose inversa.

Fonte: FURTADO, 2002 apud GURGEL, 2006



Figura 9 - Aparelho dessalinizador por osmose inversa.

Fonte: APODI.INFO 2008.

Dados de 1991 mostram que mais da metade das instalações de dessalinização no mundo usam a osmose inversa como sistema de dessalinização (figura 9 e 10). Esse destaque deve-se principalmente ao aperfeiçoamento das membranas, ao baixo consumo de energia, e à possibilidade de construção modular. A comparação do gasto de energia dos diferentes processos de dessalinização mostra que a osmose reversa é o processo que tem o menor consumo entre os mais usados hoje, figura 11 (CARVALHO, 2000).

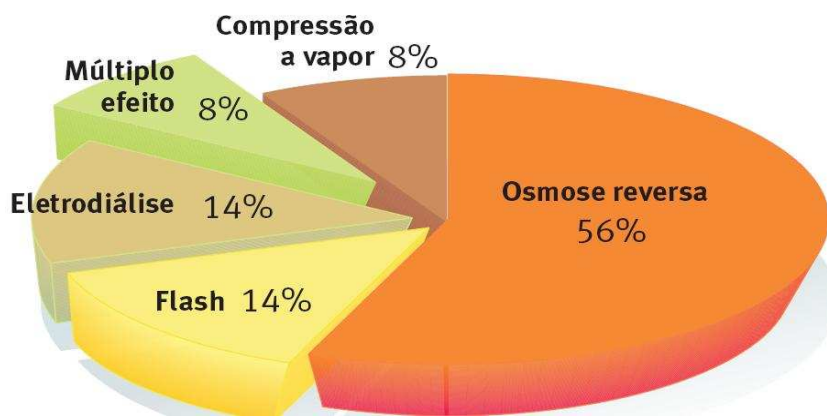


Figura 10- Distribuição de uso de sistemas de dessalinização de água do mundo.
FONTE: Carvalho 2000

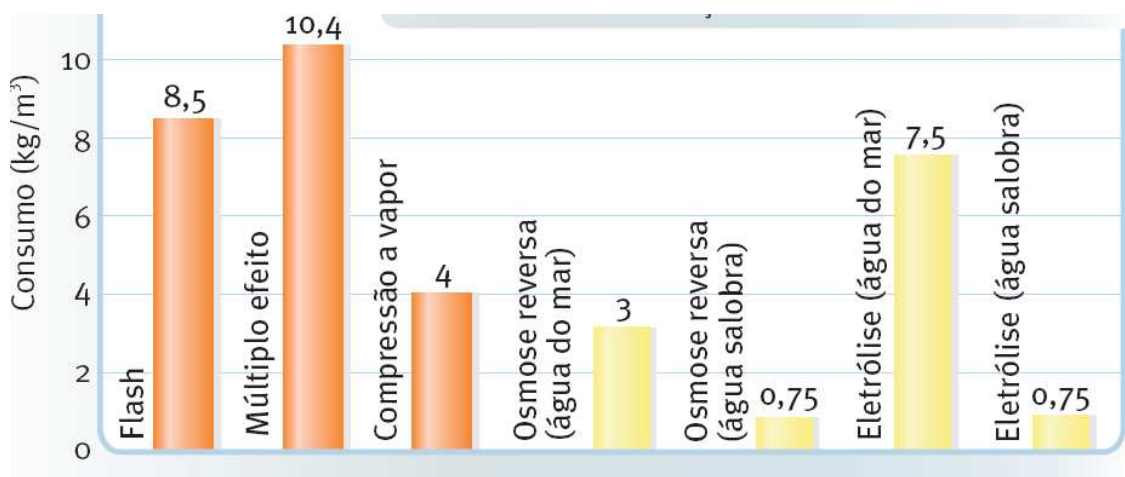


Figura 11 - Consumo de energia (em quilos de óleo combustível por metro cúbico de água purificada) em diferentes processos de dessalinização.
FONTE: CARVALHO 2000

O processo de osmose inversa é mais apropriado a pequenas vazões ou a situações em que o teor de sal dissolvido na água é relativamente baixo, para poços com água salobra, por exemplo. As membranas filtrantes têm vida útil em torno de quatro anos. Quanto maior o teor de sal, menor é sua durabilidade, reduzindo tanto a vazão de água como a eficiência na remoção dos sais. Ressalte-se que, por esse processo, não são removidos todos os sais da água, daí não haver necessidade de reequilíbrio da salinidade. A osmose reversa é pouco empregada para dessalinizar água do mar, porque esta tem teor muito elevado de sais, o que reduz consideravelmente a vida útil e a eficiência dos equipamentos. (PEREIRA JUNIOR, 2005)

1.6 ALTERNATIVAS PARA A ESCASSEZ DE ÁGUA DOCE NO NORDESTE BRASILEIRO

Embora as águas subterrâneas se apresentem como alternativas no suprimento de água potável no nordeste brasileiro, algumas restrições são feitas quanto à sua qualidade, pois, em sua maioria, são salobras ou salgadas devido a fatores como a intemperização dos minerais existentes nas rochas e às características do solo. Diante dessa realidade, foi dada grande atenção para os programas de dessalinização, o que permitiu a exploração de águas subterrâneas por meio da instalação de dessalinizadores no Semi Árido brasileiro, com a finalidade de converter água salgada ou salobra em água potável (MATOS, 2006 e SOARES, 2006).

Em uma tendência observada há alguns anos, os Governos Federais e Estaduais têm procurado instalar equipamentos de dessalinização de águas salobras subterrâneas,

objetivando a geração de água doce para o abastecimento urbano no Nordeste. Em 2004, conforme dados da Associação dos Geógrafos Brasileiros, mais de 3 mil dessalinizadores estavam instalados no Semi Árido do Nordeste (SOARES, 2006).

O Governo Federal, mediante a implantação do Programa Água Doce, do Ministério do Meio Ambiente, sinaliza a ampliação desse número, indicando ainda intenção de recuperar os equipamentos atualmente parados por falta de manutenção e mau uso (Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2004). Além do uso no abastecimento rural e urbano, tendo em vista a diminuição do preço dos dessalinizadores, pode-se prever sua utilização em empreendimentos agrícolas, sobretudo para aqueles implementados de forma intensiva e com culturas de alto valor.

O método usado para a dessalinização no Nordeste tem sido predominantemente, o processo de osmose inversa (Porto et. al , 2004). Amorim et al. (2004) atribuem o predomínio da osmose inversa à simplicidade e robustez do equipamento, aos baixos custos de instalação e operação, incluindo o consumo de energia e de mão-de-obra na operação, à capacidade de tratar volumes baixos a moderados de água bruta, à continuidade do processo e à excelente qualidade da água tratada.

Entretanto, a osmose inversa implica na geração de rejeito, uma água residuária do processo e que tem concentração iônica majorada, ou seja, ao se dessalinizar a água salobra, transformando-a em água doce, gera-se outro tipo de água, mais salina que a própria água salobra. (SOARES et al, 2006; MATOS, 2006). O rendimento teórico é de aproximadamente 75%, ou seja, cerca de 25% da água bruta transforma-se em rejeito salino. (GUERRA, 1998).

1.7 OS PROBLEMAS ENFRENTADOS PELA DESSALIZAÇÃO POR OSMOSE INVERSA NO NORDESTE BRASILEIRO

No Brasil, principalmente no nordeste brasileiro o rejeito não está recebendo, na quase totalidade dos casos, qualquer tratamento ou reuso, normalmente está sendo despejado no solo, propiciando alto acúmulo de sais nas camadas superficiais do terreno (Porto et al., 2001). A deposição deste rejeito poderá trazer, em curto espaço de tempo, sérios problemas para as comunidades que se beneficiam da tecnologia de dessalinização, como informam Porto et al. (1999). Amorim et al. (2004) reforçam que esses rejeitos possuem potencial para contaminar mananciais, 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 aguadas e áreas próximas (SOARES, 2006). O esforço dos pesquisadores brasileiros atualmente consiste em buscar alternativas para a destinação e o uso deste rejeito.

Outro problema enfrentado pela dessalização por osmose inversa no Nordeste brasileiro é o alto custo das membranas. As membranas usadas na dessalinização são importadas, mas alguns pesquisadores já estão desenvolvendo tecnologia buscando desenvolver modelos para variadas finalidades, buscando independência tecnológica e redução de custos a exemplo da universidades federais de Campina Grande (UFCG) e do Rio de Janeiro (UFRJ). “Dentro de dois anos o Laboratório de Referência Nacional em Dessalinização da UFCG terá uma membrana capaz de substituir as importadas, mas até ser produzida pela indústria nacional levará muitos anos”, disse Kepler Borges França, coordenador do Laboratório, que difunde essa tecnologia no Nordeste em entrevista à Terramérica (serviço especializado de informação sobre meio ambiente e desenvolvimento), o referido Laboratório usa cerâmica

como material para desenvolver suas membranas; as importadas são de polímeros (OSAVA, 2008).

Estudo realizado objetivando identificar a viabilidade econômica de cinco sistemas de dessalinização por osmose inversa para o suprimento de água dessalinizada, para consumo humano, em comunidades rurais cearenses, Campos (2007), conclui que a inexistência da boa prática de gestão dos sistemas resulta em inviabilidade econômica de alguns dessalinizadores, quando avaliados pelo consumo efetivo, principalmente daqueles de 400 e 600 litros/hora, que geram ineficiências no acompanhamento técnico, impossibilita melhor análise da performance dos sistemas, acarreta oferta descontínua de água e desconforto das famílias beneficiárias. Em razão das limitações impostas pelos gestores, da baixa produção e dos defeitos que trazem paralisações constantes dos aparelhos, a demanda efetiva de água restringe-se à metade do que os sistemas são capazes de produzir.

Campos (2007), analisando seus resultados deduziu que dos itens de capital que compõem o valor total dos investimentos em sistemas de dessalinização por osmose inversa, o aparelho (dessalinizador) representa maior percentual e, na formação dos seus custos, o valor das membranas chega a atingir o percentual de até 67% do valor total do aparelho de vazão de 1.800 litros/hora.

As condições de trabalho de um dessalinizador são bastante severas, pois aliam espécies altamente corrosivas (íon cloreto) e altas pressões (400 a 1200 psi) (Cravo, 1997). As lavagens químicas das membranas devem ser realizadas quando a produção de água diminui 10% ou a pressão de operação tiver que ser aumentada em 10% para manter o mesmo suprimento anterior. Em equipamentos de pequeno porte é muito difícil monitorar porque a precisão dos instrumentos indicadores de pressão e de vazão é muito pobre (CRAVO, 1997)

Quanto aos dessalinizadores funcionando normalmente, o maior gargalo constitui-se na destinação dos rejeitos (em média 60% da água que entra no sistema). Em 25% das localidades estudadas por Pessoa (2000), o maior impacto foi o de erosão e salinidade do solo.

1.8 DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA COM MATERIAL BIOLÓGICO

Para tornar potáveis as águas salobras, existem processos de dessalinização já comentados anteriormente, que dependem de altos investimentos e recursos tecnológicos complexos para a produção em larga escala. Sem contar que esses processos acabam gerando efluentes que se não forem bem gerenciados podem acarretar mais problemas ambientais como, por exemplo, a salinidade do solo e conseqüente infertilidade agrícola. Por outro lado, os equipamentos utilizados para a dessalinização têm vida útil reduzida e acabam abandonados sem a manutenção devida, o que faz com que os problemas voltem a aparecer.

Com base nessa realidade é fundamental que a sociedade, os governos, enfim, os diversos agentes sociais, políticos e econômicos se mobilizem no sentido de viabilizar soluções para os problemas de escassez de água diante de qualidade do consumo para os diversos usos nessa região.

Uma saída simples e eficiente para as comunidades do Semi Árido poderá ser a dessalinização de água salobra pelo contato com materiais biológicos dispositivo caseiro para tais como sementes, que possivelmente reduzissem a salinidade de água, tratando-se de pequenas quantidades, suficientes para a dessedentação humana, e outras efeitos a uma variedade vegetação no semiárido brasileiro (DRUMOND, 2000). A literatura atribui a

sementes de Moringa (*Moringa Olifeira*), por exemplo, efeitos de purificação bacteriológica quando deixada em contato com a água (MENDES, 2007).

2. OBJETIVO DO TRABALHO

Desenvolver um dispositivo caseiro para dessalinização de água salobra, em pequenas quantidades, suficientes para uso familiar em dessedentação humana, utilizando material biológico, como espécies de sementes, raízes ou folhas de plantas, típicas ou bem adaptáveis em regiões do Semi-Árido baiano. Teve como objetivos específicos:

- ✓ Testar diferentes materiais biológicos com capacidade de sorção de sais de água salobra, visando usá-lo no dispositivo dessalinizador proposto.
- ✓ Testar diferentes formas a serem utilizadas como suporte para o material sorvedor escolhido como dessalinizador de água salobra.
- ✓ Aplicar o material biológico escolhido como dessalinizador usando águas salobras reais.

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada no trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Química Analítica Ambiental (LAQUAM), do Instituto de Química da Universidade Federal da Bahia, baseada

no estudo da sorção de sais por diferentes materiais biológicos, verificada pela determinação da salinidade da água antes e após contato/sorção de sais do material, através análise de cátions que possam interferir predominantemente na salinidade da água em aplicação. O íon sódio é o principal deles, representante do NaCl, principal responsável pela salobridade das águas.

Para os experimentos utilizou-se água de salinidade 0,7 ‰ (baixa salobridade de ocorrência freqüente no semi-árido baiano). Após o contato da água salobra com o material biológico determinava-se a concentração de sódio remanescente na água. Na análise de sódio foi usado a técnica analítica da fotometria de chama (Micronal, Mod. B462). Inicialmente os materiais biológicos eram moídos e lavados com água deionizada com filtração a vácuo (para extração dos sais originalmente contidos no material), e secos em estufa a diferentes temperaturas.

Dez tipos diferentes de sementes e casca foram estudados: Amêndoa (*Terminalia Catappa L.*), Umbu (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam.*), Moringa (*Moringa Oleifera Lam*), Mulungu (*Erythrina verna Vell*), Umburana (*Erythrina verna Vell*), Bucha Vegetal (*Luffa Cyindrica*), Algaroba (*Prosopis juliflora*), Abobora (*Cucúrbita Pepo L.,*) Mesocarpo e Endocarpo do Coco (*Cocos Nucifera*) e Girassol (*Helianthus Annus*). Para a escolha da maioria das sementes foi feita uma pesquisa através de questionários aplicados em comunidades da região de estudo a fim de selecionarmos sementes indicadas como mais abundantes (modelo do questionário no **Anexo A**).

Na escolha final do sorvente usado para o dispositivo caseiro foi considerado prioritário aquele com abundância na região semi-árida e/ou com possibilidade de adaptação para cultivo naquela região. O impacto esperado com este projeto é a melhoria da qualidade de vida das comunidades do semi-árido baiano que não dispõem de água de qualidade adequada para beber, além de contribuir para o desenvolvimento tecnológico baiano.

3. 1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS BIOLÓGICOS INVESTIGADOS PARA USO COMO DESSALINIZADOR DE ÁGUA SALOBRA

Dez tipos diferentes de materiais biológicos foram estudados para uso como dessalinizador de água salobra no dispositivo caseiro: Amêndoa (*Terminalia Catappa* L.), Umbu (*Spondndias Tuberosa* Cheg. Cam.), Moringa (*Moringa Oleifera* Lam), Mulungu (*Erythrina verna* Vell), Umburana (*Erythrina verna* Vell), Bucha Vegetal (*Luffa Cyindrica*), Algaroba (*Prosopis juliflora*), Abobora (*Cucúrbita Pepo* L.,) Mesocarpo e Endocarpo do Coco (*Cocos Nucifera*) e Girassol (*Helianthus Annus*)

3.1.1 Umburana de Cheiro

Amburana cearensis A.C. Smith (sin. *Torresea cearensis* Fr. All) pertence à família Leguminosea e Papilionoideae (Fabaceae), Popularmente, é conhecida por diversas designações, como imburanade-cheiro, cerejeira e cumaru. Embora considerada nativa do sertão nordestino, a ocorrência de *A. cearensis* pode ser observada em praticamente toda América do Sul (do Peru à Argentina). Suas sementes são pretas, aladas e exalam forte cheiro de cumarina (semelhante à baunilha). No Nordeste, o período de floração ocorre no início da estação seca, entre maio e julho, e a frutificação se dá de agosto a outubro (CANUDO, 2006)

Sob o ponto de vista econômico, *A. cearensis* apresenta inestimável importância comercial dada suas várias aplicações, sendo largamente empregada na carpintaria e perfumaria. Comercializada com o nome de cerejeira-do-nordeste, sua madeira é utilizada na fabricação de móveis, portas, janelas e caixotaria, devido à reconhecida durabilidade. As sementes da

umburana (figura 12) servem como aromatizantes e repelentes de insetos para roupas e estantes, podendo também ser utilizadas na fabricação de um pó fino, designado rapé-de-imburana, empregado para induzir espirros no tratamento de “estalecido” (congestão nasal por acúmulo de secreção) (MAIA, 2004).



Figura 12- Sementes da umburana de cheiro.
Fonte: LAQUAM

3.1.2 Umbu

A árvore do umbu (*Spondias tuberosa* Chev. Cam) pode ser encontrada em todo o sertão dos Estados de Pernambuco, Sergipe, Bahia, o sul do Piauí e do Norte de Minas Gerais é uma frutífera nativa do Semi Árido nordestino de grande potencial para cultivo; seus frutos podem ser consumidos “in natura” e/ou nas mais diversas formas por apresentarem excelente sabor, aroma e qualidade nutritiva além de elevada porcentagem de rendimento em polpa de frutos maduros. Além de a importância alimentar, o umbu se constitui, também, como fonte de renda para as famílias dos agricultores da região semi-árida do nordeste (COSTA, 2004).

O IBGE (1996) considera o umbu como um produto de extração vegetal (não cultivado), coletado em árvores que crescem espontaneamente na savana estépica, importante

economicamente por fornecer madeira, celulose, fármaco, alimento e bebida para o povo sertanejo. O umbuzeiro é cultivado em quintais, sendo uma árvore respeitada pelos proprietários de terras e deixada tanto nas pastagens como nas lavouras (SATURNINO et al. 1994).

O umbuzeiro é utilizado pelo sertanejo como uma das principais fontes econômicas e alimentar durante seu período de frutificação. Entretanto, seus frutos apresentam boas características para industrialização na forma de sucos, néctares, geléias e outros. O fruto do umbuzeiro (figura 13) apresenta em média um peso de 15g, é constituída por cerca de 22% da pele, 68% de polpa e 10% de sementes, o que representa uma considerável quantidade de resíduo, como resultado da transformação de polpa. (CAVALCANTI MATA et al, 2005)



Figura 13- Fruto do Umbuzeiro
Fonte: LAQUAM

3. 1.3 Coco

O coqueiro é uma das mais importantes árvores frutíferas permanentes cultivadas no Brasil, sobretudo na Região Nordeste, responsável por 73% da produção nacional de coco, proporcionando emprego e renda para mais de 220 mil produtores. Em 2002, a área colhida no país atingiu 280.835 ha (IBGE, 2004), gerando 1,9 bilhões de frutos (FAO, 2003), posicionando o Brasil como o quarto maior produtor mundial de cocos.

No Brasil, com uma área plantada de 290.515 hectares são produzidos anualmente cerca de 2,29 bilhões de cascas, 469,76 milhões de folhas que caem naturalmente da planta e 469,76 milhões de cachos com ramos florais e brácteas, o que corresponde 3,84 milhões de tonelada de resíduos, sendo 1,53 milhões de casca e 1,69 milhões de folhas. O fruto do coqueiro é constituído por albúmen líquido (água-de-coco), albúmen sólido ou amêndoa, endocarpo conhecido popularmente como “Quenga” e casca. A casca representa em torno de 57% do fruto sendo composta pelo mesocarpo (fibra e pó) e epicarpo (camada mais externa da casca) (figura 14) (ANDRADE, AM. et al. 2004).

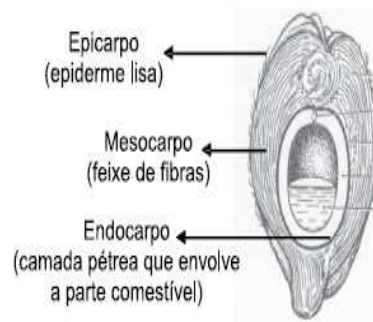


Figura 14- Corte longitudinal do coco com suas partes.
Fonte: ANDRADE, A.M. et al. 2004

As cascas, na forma de “briquetes” ou “blocos prensados” podem ser aproveitadas como carvão vegetal em substituição ao carvão de madeira, com grandes vantagens ecológicas e rendendo um valor calórico entre 3.000 e 4.000 kcal/Kg. O mesocarpo do fruto, constituído por aproximadamente 30% de fibra e 70% de pó consiste, basicamente, em lignina e celulose de lenta biodegradação, levando de oito a dez anos para se decompor na natureza (NUNES, 2007)

Atualmente, a maioria das cascas de coco, folhas e cachos do coqueiro são queimados ou descartados como lixo nas propriedades rurais produtoras de coco. Quando queimados

produzem substâncias poluidoras do meio ambiente, quando descartados constituem meio adequado para procriação de animais peçonhentos e insetos vetores de doenças, servindo como agente poluidor do meio ambiente e de risco para a saúde dos trabalhadores rurais (NUNES, 2007).

3. 1.4. Algaroba

De grande rusticidade, a algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.), espécie originária do deserto de Piura no Peru, espalhou-se pelo México, sudoeste dos Estados Unidos, Índia, África do Sul e Austrália, Jamaica e Havaí, apresenta características que justificam a sua utilização nas áreas áridas e semi-áridas do Nordeste brasileiro (figura 15), por apresentar a importante característica de frutificar na época mais seca do ano, quando os estoques de forragens naturais atingem um estágio crítico de escassez, propiciando desta forma, uma alternativa alimentar de grande valor nutricional, principalmente para a criação de caprinos e bovinos (SILVA, 2003a).



Figura 15- Foto da algaroba em período de seca

Fonte: http://www.radiobras.gov.br/ct/2002/materia_230802_5.htm

Esta planta produz grande quantidade de vagens (figura 16) de excelente palatabilidade e boa digestibilidade, apresentando composição química variável, que está na dependência do local

onde é produzida (SILVA, 2003b). A produção de vagens pode alcançar de 5 a 15 toneladas por hectare (FIGUEIREDO, 1999).

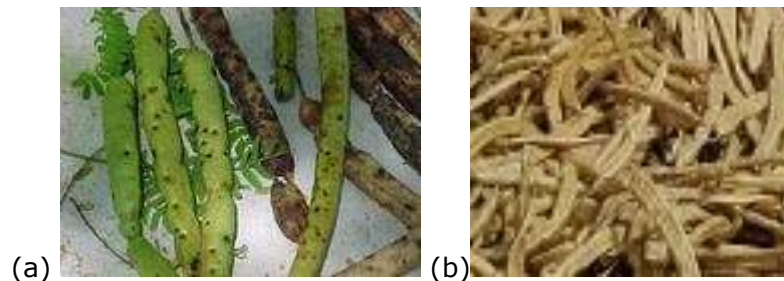


Figura 16 - Vagens da algaroba (a) verde (b) seca
 Fonte: <http://www.ct.ufpb.br/laboratorios/lpfd/algaroba.htm>

A algarobeira é utilizada para a produção de madeira, carvão vegetal, estacas, álcool, melão, alimentação animal e humano, apicultura, reflorestamento, ajardinamento e sombreamento, tornando-se, por conseguinte, uma cultura de valor econômico e social. No Nordeste brasileiro, esta xerófito, introduzida no início da década de 40, com o objetivo de alimentar animais e de ser utilizada em reflorestamento, aparece atualmente como uma possível fonte de alimento alternativo para o homem, (SILVA, 2001).

A vagem de algaroba serve de alimento nos meses em que há escassez de chuva por sua boa adaptação em ambientes secos e sem irrigação, fazendo com que ocorra a sua popularização no sertão nordestino. Esta leguminosa é uma fonte útil de alimentação animal, substituindo ou reduzindo, com custos mais baixos, o uso de milho, soja e trigo, os quais podem ser produzidos em escalas limitadas nas áreas do semi-árido (MAHGOUB 2005).

3. 1.5 Moringa

A *Moringa oleifera Lam*, a espécie mais divulgada da família das *Moringaceae*, é uma planta originária da Índia, mas já se espalhou por todo mundo, principalmente nos países tropicais,

como o Brasil. Na região do Nordeste Brasileiro a *Moringa oleifera* é conhecida como “Lírio Branco”. Outro nome popular dessa planta no Brasil é “Quiabo de Quina” (Okuda, *et al*, 1999).

É uma planta de múltiplos usos. Na alimentação humana são aproveitadas: as folhas como verduras cruas, as vagens verdes como verduras cozidas e as sementes maduras podem ser torradas para fabricação de farinha. As sementes também produzem um excelente óleo que pode ser usado na alimentação e para fazer sabão e cosméticos. Suas flores são muito procuradas pelas abelhas. A *Moringa oleifera* Lam ainda pode ser utilizada como planta ornamental (GHEBREMICHAEL, 2005)

No Sudão e em outros países da África, as mulheres árabes tradicionalmente usam sementes da *Moringa oleifera* (figura 17) quebradas (pisadas) na clarificação de águas turvas. A eficiência desse processo vem sendo confirmada em laboratório e em projetos de abastecimento de água para casas isoladas da zona rural no Brasil e no mundo (MENDES, 2007).



Figura 17 - Sementes da moringa.
Fonte: LAQUAM

O uso da *Moringa oleifera* no Brasil, principalmente no Nordeste Brasileiro, foi incentivado devido à dedicação e ao trabalho de grupos de pessoas (organizações não governamentais) do

Nordeste, interessadas no desenvolvimento econômico-social e na melhoria da saúde pública. Vários estudos demonstram a não existência de toxicidade para humanos e animais e a presença de propriedades coagulantes e bactericidas nas sementes da moringa, árvore essa nativa da Ásia. Outro aspecto positivo no uso das sementes de *Moringa oleifera* é que o pH e o gosto da água não se modificam, o que torna a mesma palatável. (MENDES, 2007).

3.1.6 Mulungu

O mulungu (*Erythrina velutina* Wild., Fabaceae (*Leguminosae- Papilionoideae*)), planta decídua e heliófita, é característica de várzeas úmidas e margens de rios da caatinga da região semi-árida do Nordeste brasileiro. Ocorre sob a forma de indivíduos isolados ou, em alguns casos, em grupos pouco densos, especialmente em áreas rebaixadas, podendo também ser encontrada na orla marítima de Pernambuco e na floresta latifoliada emidecídua de Minas Gerais e São Paulo.

Sua madeira leve apresenta diversas aplicações, desde o uso na confecção de tamanco, jangadas e caixotaria à utilização de moirões para cercas. É comumente encontrada na arborização e em jardins e parque de cidades do Nordeste brasileiro (MELO, 2008). A casca e o tronco desta planta possuem substâncias capazes de relaxar a musculatura e aliviar a sensação de peso no corpo. Também age como tranqüilizante leve, para aliviar casos de irritação e nervosismo. O vermelho das sementes do mulungu (figura 18) lhe destaca sendo muito usadas para adornos em colares (GOMES, 2008).



Figura 18 - Semente do mulungu.
Fonte: LAQUAM

3. 1.7. Amêndoa

A amendoeira-da-praia ou chapéu de sol, como é comumente chamada, *Terminalia catappa* L., pertence a família Combretaceae. É originária da Malásia, porém freqüentemente cultivada e muito característica do litoral brasileiro, a partir da região sudeste, pois necessita de calor para se desenvolver. No Brasil, foi introduzida em meados do século XX. É cultivada como árvore ornamental. Desenvolve-se perfeitamente nos terrenos salgados, arenosos e resiste ao efeito dos ventos, sendo uma das plantas mais recomendada para as praias, frutifica de novembro a março (LIMA, 2007).

A semente muito dura envolve a amêndoa alongada considerada na Índia a melhor das nozes do país. Frutos (figura 19) de forma elipsóide contendo uma semente muito dura com amêndoa, de coloração amarelo arroxeadado quando maduro. A amêndoa é comestível e muito saborosa, podendo ser consumida crua ou tostada ao forno (GUISELINI, 1999).



Figura 19 - Fruto da amendoeira

Fonte: <http://bahiapress.com.br/wordpress/?cat=18&paged=3>

3.1.8 Abobora

As abóboras (*C. moschata*), morangas (*C. maxima*) e abobrinhas (*C. pepo*), espécies do gênero *Cucurbita*, da família *Cucurbitaceae*, são nativas das Américas e faziam parte da alimentação da civilização Olmeca, depois incorporadas pelas civilizações Asteca, Inca e Maia. Registros arqueológicos associam essas espécies ao homem há cerca de 10.000 anos. Várias espécies cultivadas e silvestres são fundamentais em muitos aspectos da vida e da dieta humana, tanto pela versatilidade culinária quanto pela riqueza em carotenos e vitaminas (FERREIRA,2007).

A diversidade genética de *Cucurbita* existente nas Américas é ampla e os vegetais são encontrados em variadas cores, texturas, formas, tamanhos e sabores. No Brasil, espécies do gênero *Cucurbita* faziam parte da alimentação dos povos indígenas antes da sua colonização. A diversidade dessas espécies no Brasil é representada pelas inúmeras variedades tradicionais cultivadas pelos indígenas, quilombolas e agricultores de base familiar principalmente os nordestinos (FERREIRA, 2007).

Para Alexander et al. (1984) apud Stansell & Smittle (1989) a abóbora é uma cultura de alto valor comercial, apresentando período de crescimento curto (49 a 73 dias) e colheita iniciando se na terceira semana, permitindo um grande número de cultivos ao longo do ano.

A *Cucurbita pepo* que é mexicana de origem, mas cresce na América do Norte meridional há mais de 8.000 anos, preferida pelos agricultores entre as cucurbitáceas, pelo seu ciclo curto, quando cultivada na primavera, em locais com temperaturas elevadas, apresenta maior sensibilidade ao déficit hídrico no período de formação das flores e frutos do que no período de emergência (BRUCE, 1980 apud LUNARDI, 1999).

A espécie *Cucurbita pepo* L. (jerimum) que é conhecida como abóbora, moranga, abóbora - amarela, abóbora da guiné entre outros os quais variam conforme a localidade, sendo muito popular nos mercados. Além de pratos saborosos, o jerimum tem sido utilizado na medicina popular (fitoterapia), como antitérmico, antiinflamatório, para tratamento de vermes, tenífuga, entre outros. De acordo com resultado do trabalho de Andrade, (2007), a semente de jerimum é uma fonte natural de vitamina E para prevenção de doenças, principalmente para os homens.

Suas sementes (figura 20) são ricas em ferro, devendo ser utilizadas em regiões onde se verifica deficiência de ferro na alimentação, tendo função reconstituente para as crianças anêmicas, desnutridas e raquíticas (MANTUANO, 2004). As sementes descascadas são ricas em gorduras (de 40-60%) e proteínas (30-40%), contendo baixo teor de açúcares livres e amido (ROBINSON, 1997).



Figura 20 - Semente da abobora

Fonte: <http://mulhverde.blogspot.com/2008/05/semente-de-abbora.html>

3. 1.9 Semente de Girassol

Girassol (*Helianthus Annuus L.*) é uma dicotiledônea anual. O gênero deriva do grego helios, que significa sol, e de anthus, que significa flor, ou “flor do sol”, que gira seguindo o movimento do sol. É da ordem *Asterales* e família *Asteraceae* (LEITE, 2005).

Originária da América do Norte, a planta do girassol se desenvolve e produz bem na maior parte dos estados brasileiros, devendo-se evitar o seu cultivo em regiões muito úmidas, haja vista que a incidência de doenças por excesso de umidade limita a produção nessas áreas. A cultura do girassol tem boa resistência à seca e ao frio, podendo ser usada com vantagem como segunda cultura. Por permitir o cultivo mecanizado, o rendimento de grãos na lavoura de girassol pode atingir e ultrapassar 2500 kg/ha, com a tecnologia nacional atualmente disponível. Em áreas experimentais há registro de rendimentos superiores a 3000 kg/ha. (FREIRE, 2007)

A grande importância da cultura do girassol no mundo se deve à excelente qualidade do óleo comestível que se extrai de sua semente (figura 21) e o aproveitamento dos subprodutos da

extração, tais como: tortas e ou/farinhas para rações balanceadas para animais (DICKMANN, 2005).



Figura 21 - Sementes de girassol.

Fonte: LAQUAM

3.1.10 Bucha Vegetal

Nome popular Bucha - bucha dos pescadores, bucha dos paulistas, fruta dos paulistas, quingombô grande, esponja vegetal, esfregão, pepino bravo. A bucha (*Luffa cylindrica* Roemer - *Cucurbitaceae*) é uma espécie herbácea trepadeira, anual, de caule longo (até 10 metros), originária da Ásia e África tropicais, cultivada em todos os estados brasileiros, com os nomes de bucha, esfregão, esponja vegetal, bucha dos paulistas. Na medicina popular, é utilizada a polpa do fruto maduro como purgativa, desobstruente e vermífuga (BRAGA, 1979; MATOS, 1997 apud MOREIRA, 2007).

A cultura da bucha vegetal é amplamente difundida no Brasil e tem ocupado sempre um nicho de produção marginal, mas gera renda complementar para muitas famílias (NAGLIS & D'ALMEIDA; 1994; GERMEK, 1996; D'ALMEIDA et al., 2005). O fruto da bucha vegetal (figura 22) tem um sistema vascular que, após secas, forma uma manta tridimensional natural,

dotada de um intrincado conjunto de fibras lignocelulósicas (60% celulose, 30% hemicelulose e 10% lignina) hidrofílicas, finas, resistentes, elásticas e suaves, sendo utilizada, principalmente, como esponja de banho (NAGLIS & D'ALMEIDA, 1994; D'ALMEIDA et al, 2005; MAZALI & ALVES, 2005).

A bucha vegetal, de acordo com OGBONNA et al. (1994) e GERMEK (1996), apresenta baixa densidade, alta porosidade, volume específico dos poros bastante alto, estabilidade em uma ampla faixa de pH e resistência a autoclavagens sem a ocorrência de danos, mudanças de formas, estrutura e textura.



Figura 22 - Bucha Vegetal

Fonte: http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/lqes_news

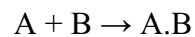
3.2 O PROCESSO DE ADSORÇÃO

A adsorção é um fenômeno físico-químico onde o componente em uma fase gasosa ou líquida é transferido para a superfície de uma fase sólida. Os componentes que se unem à superfície são chamados adsorvatos, enquanto que a fase sólida que retém o adsorvato é chamada adsorvente. A remoção das moléculas a partir da superfície é chamada dessorção. A migração

destes componentes de uma fase para outra tem como força motriz a diferença de concentrações entre o seio do fluido e a superfície do adsorvente (MASEL, 1996)..

Usualmente o adsorvente é composto de partículas que são empacotadas em um leito fixo por onde passa a fase fluida continuamente até que não haja mais transferência de massa. Como o adsorvato concentra-se na superfície do adsorvente, quanto maior for esta superfície, maior será a eficiência da adsorção. Por isso geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (BORBA, 2006).

Segundo Letterman (1999), a adsorção de moléculas pode ser representada como uma reação química:



Onde A é o adsorvato, B é o adsorvente e A.B é o composto adsorvido.

Os compostos permanecem adsorvidos na superfície do adsorvente pela ação de diversos tipos de forças químicas como:

- Ligações de Hidrogênio
- Interações Dipolo-Dipolo
- Forças de London ou Van der Waals

Quando as moléculas de adsorvato presentes na fase fluída atingem a superfície do adsorvente, a força residual, resultante do desequilíbrio das forças de Van der Waals que agem na superfície da fase sólida, criam um campo de forças que atrai e aprisiona a molécula. O tempo que a molécula de adsorvato fica ligada à superfície do adsorvente depende diretamente da energia com que a molécula é segura, ou seja, é uma relação entre as forças

exercidas pela superfície sobre essas moléculas e as forças de campo das outras moléculas vizinhas (HOMEM, 2001).

Existem basicamente dois tipos de adsorção: a adsorção física ou fisiosorção e a adsorção química ou quimissorção. No entanto, em certas ocasiões os dois tipos podem ocorrer simultaneamente (CHEREMISINOFF e ELLERBUSCH, 1978). A seguir são apresentadas as características dos dois tipos de adsorções:

a) Adsorção física ou fisiosorção

- Forças entre o adsorvato e adsorvente sem formação de compostos.
- Interação não orientada e não específica.
- Energia produzida quando uma partícula é fisicamente adsorvida é da mesma ordem da entalpia de condensação.
- Este tipo de adsorção é sempre exotérmico e reversível. O equilíbrio é estabelecido rapidamente, a menos que ocorra a difusão através da estrutura porosa.
- Baixas energias de interações (300 a 30000 J mol⁻¹).
- Recebe também o nome de adsorção de Van der Waals (DROGUETT, 1983).

b) Adsorção química ou quimissorção

- Forças de natureza química que leva a formação de compostos.
- Interações de caráter mais específico.
- Altas energias de interações (40000 a 400000 J mol⁻¹).
- A adsorção não mais ocorre quando a superfície está completamente coberta por uma monocamada adsorvida.
- A entalpia de adsorção química é muito maior que a da adsorção física.
- Com exceção de alguns casos, a adsorção química é exotérmica e reversível.

3.2.1 Equilíbrios de adsorção e isothermas de adsorção

A distribuição do sorbato entre a fase fluida e a fase adsorvida envolve um equilíbrio de fases, que é governado pelos princípios da termodinâmica. Dados de equilíbrio são geralmente reportados na forma de isothermas, que são diagramas mostrando a variação da concentração de equilíbrio no sólido adsorvente com a pressão parcial ou concentração da fase fluida, em uma temperatura específica. A determinação experimental das isothermas é o primeiro passo no estudo de um novo sistema sorbato/adsorvente. A informação daí retirada é importante na estimativa da quantidade total de adsorvente necessária para certo processo e conseqüentemente no dimensionamento dos equipamentos a serem utilizados em tal processo adsorativo.

Uma das características mais importantes de um adsorvente é a quantidade de substância que possa acumular ou possa ser retirada da superfície do mesmo. Uma maneira comum de descrever essa acumulação é expressar a quantidade de substância adsorvida por quantidade de adsorvente (X/m) em função da concentração de adsorvato (C_e) em solução. Uma expressão desse tipo é denominada de isoterma de adsorção (LETTERMAN, 1999; OSCIK e COOPER 1982).

O procedimento experimental para avaliar quantitativamente a adsorção através das isothermas é bastante simples: basta colocar em contato com a solução contendo o componente a ser adsorvido, com diferentes massas de adsorvente até atingir o equilíbrio. Após a filtração, pode-se obter a concentração de equilíbrio em solução (C_e em mg L^{-1}) e a quantidade de material adsorvido (X/m em mg g^{-1}). Os gráficos assim obtidos são as isothermas e podem apresentar-se de várias formas, fornecendo informação importante sobre o processo de

adsorção. Elas mostram a relação de equilíbrio entre a concentração na fase fluida e a concentração nas partículas adsorventes em uma determinada temperatura (PERRY, 1998).

3.2.2 Tipos de Isotermas

Segundo Moreno-Castilla (2004), existem diferentes tipos de isotermas, das quais as mais comumente encontradas para materiais carbonosos são as cinco descritas na Figura 23.

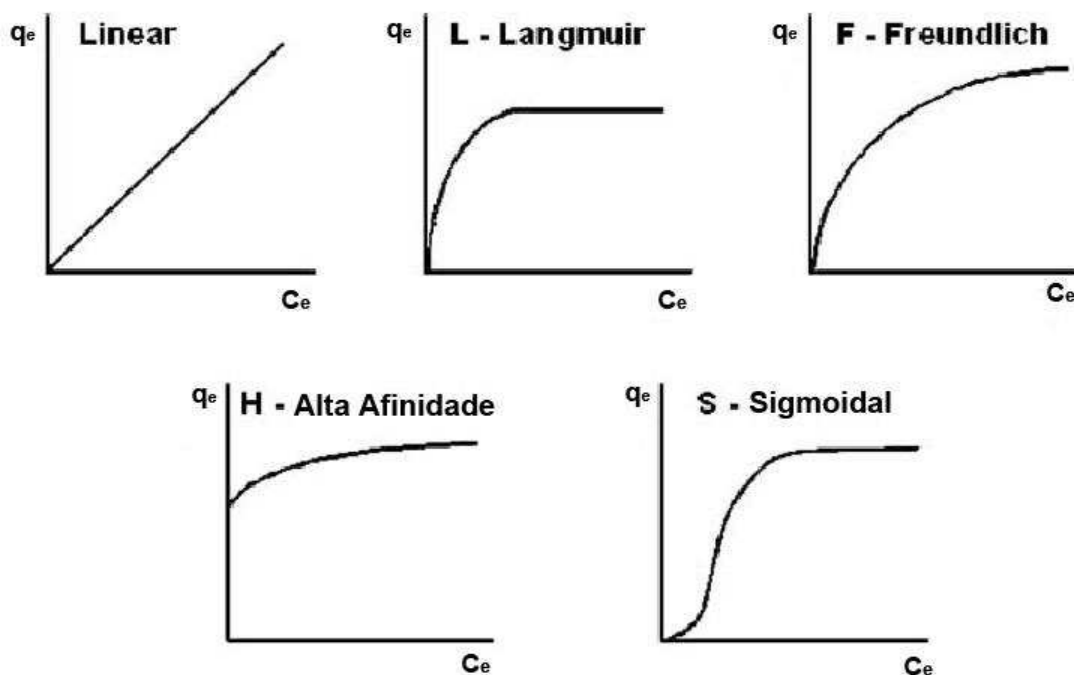


Figura 23 - Isotermas de adsorção mais comuns encontradas a partir de soluções aquosas em materiais carbonosos.

Fonte: Adaptação MORENO-CASTILLA, 2004.

A isoterma linear é uma característica de superfícies homogêneas e, por isso, menos comum na adsorção com carvão. O tipo de Langmuir (L) ocorre freqüentemente, até quando as

premissas da teoria de Langmuir não são satisfeitas. O tipo F, tipicamente para superfícies heterogêneas, é talvez o mais comum. As isotermas de alta afinidade são caracterizadas por um aumento inicial muito agudo, seguido de uma pseudo-plataforma. As isotermas Sigmoidaes são obtidas em superfícies homogêneas como carvão grafíticos (MORENO-CASTILLA, 2004).

Os principais modelos matemáticos das principais isotermas usados em sistemas líquido-sólido são as seguintes:

a) Isoterma de adsorção de Langmuir

É derivada considerando-se que as superfícies são homogêneas e todos os sítios ativos têm igual afinidade pelo adsorvato, portanto, a adsorção de um sítio não vai afetar a adsorção do sítio adjacente a este.

A isoterma de adsorção de Lagmuir é definida a partir da seguinte expressão:

$$X/m = K_L \cdot C_{m\acute{a}x} \cdot C_e / 1 + K_L \cdot C_e \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

X = quantidade do material adsorvido (mg ou g).

m = massa de adsorvente (mg ou g).

C_e = concentração do material remanescente na solução após a adsorção tenha sido completada (mg.L⁻¹).

K_L = constante de equilíbrio de Langmuir.

C_{max} = capacidade máxima de adsorção do soluto no adsorvente (mg.g⁻¹)

Invertendo os termos da equação 1, tem-se:

(Equação 1.1)

$$1/(x/m) = 1/ K_L \cdot C_{m\acute{a}x} \cdot 1/C_e + 1/C_{m\acute{a}x}$$

Se a adsorção segue a isoterma de Langmuir, ao se construir o gráfico de $1/(x/m)$ versus $1/C_e$ será obtida uma reta cujo coeficiente angular é igual a $1/ K_L \cdot C_{m\acute{a}x}$ e o coeficiente linear é igual a $1/C_{m\acute{a}x}$.

A isoterma de Langmuir for desenvolvida assumindo-se que:

(i) um número fixo de lugares acessíveis fica disponível na superfície do adsorvente, os quais têm todas a mesma energia e (ii) a adsorção é reversível (TCHOBANOGLOUS, 2003).

O modelo de Langmuir apresenta uma vantagem significativa sobre os outros modelos, pois permite quantificar a capacidade de adsorção de íons presentes na estrutura da matriz, obter a constante K_L relacionada com a energia de livre de Gibbs e avaliar a espontaneidade da reação de adsorção. A termodinâmica do processo de adsorção é definida pelos cálculos dos parâmetros termodinâmicos possibilitados pelo estudo de adsorção, principalmente pelo modelo matemático de Langmuir (BRUM, 2008).

A Equação de Langmuir fornece a constante de equilíbrio de adsorção K_L que favorece o cálculo da energia livre de Gibbs (ΔG), definida pela expressão:

$$\Delta G = -RT \ln K_L \quad (\text{SALES, 2003, 2005}) \quad (2),$$

Onde T é a temperatura absoluta em Kelvin (K) e R é a constante universal dos gases ($8,314 \times 10^{-3} \text{ k JK}^{-1}$).

Outra expressão da energia livre de Gibbs está relacionada à entalpia ΔH e à entropia ΔS , que é definida por:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (3)$$

Relacionando as duas equações (2) e (3) obtém-se:

$$\ln K_L = \Delta S / R - (\Delta H/R) T^{-1} \quad (4),$$

podendo ΔH° e ΔS° ser obtidas, respectivamente, da inclinação e do intercepto de um gráfico de $\ln K_L$ versus $1/T$ (SALES, 2003, 2005).

b) Isoterma de Freundlich

É empírica e muito utilizada porque descreve com muita precisão os dados de ensaios de adsorção em sua maioria em sistemas aquosos, além de descrever o equilíbrio em superfícies heterogêneas e não assume a adsorção em monocamada (DINESH e PITTMAN, 2006).

Apresenta a seguinte forma:

$$X/m = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (\text{Equação 5})$$

Ou aplicando-se o logaritmo na equação 2 tem-se:

$$\ln (X/m) = \ln K_F + 1/n \ln C_e \quad (\text{Equação 5.1})$$

Onde:

X = quantidade do material adsorvido (mg ou g).

m = massa de adsorvente (mg ou g).

C_e = concentração do material remanescente na solução após a adsorção ter sido completada (mg.L^{-1} ou mol.L^{-1}).

K_F = constante de adsorção de Freundlich.

$1/n$ = constante (mg g^{-1} ou mmol g^{-1})

O coeficiente K_F está relacionado à capacidade de adsorção do adsorvato pelo adsorvente, enquanto n depende das características da adsorção e representa a intensidade do processo de adsorção.

3.3 TÉCNICA ANALÍTICA UTILIZADA PARA ANÁLISE DAS ÁGUAS SALOBRAS

A fotometria de chama é a mais simples das técnicas analíticas baseadas em espectroscopia atômica e é utilizada largamente em análises clínicas e controle de qualidade de alimentos, além de inúmeras outras aplicações, para averiguar a quantidade de íons de metais alcalinos e alcalino-terrosos, como o sódio. Nesse caso, a amostra contendo cátions metálicos é inserida em uma chama e analisada pela quantidade de radiação emitida pelas espécies atômicas ou iônicas excitadas. Esses elementos emitem radiação eletromagnética na região do visível em uma chama ar gás combustível (GLP), que opera em uma temperatura entre 1700 e 1900° C. A fotometria de chama é, portanto, uma alternativa instrumental de baixo custo para determinação de íons de Li^+ , Na^+ , K^+ e Ca^{++} , em diferentes tipos de amostras. (NOBREGA et al, 2005 & OLIVEIRA et al, 2002)

4. PARTE EXPERIMENTAL

O procedimento experimental envolvia varias etapas. A primeira consistia no preparo da água salobra com Salinidade $\sim 0,7 \text{ ‰}$ no laboratório e das soluções padrões de NaCl para determinação de sódio no material biológico antes e após o contato do material biológico com a água salobra usando-se fotometria de Chama.

As etapas seguintes eram: trituração das sementes, extração e determinação do sal intrínseco ao material biológico, teste de sorção de sal pelo material biológico usando água salobra depois de moído e seco em tempos e temperaturas de secagens diferentes e por fim os testes usando um filtro de vela de cerâmica contendo o material biológico para dessalinização da água.

4.1 PREPARO DA ÁGUA SALOBRA EM LABORATÓRIO

A água salobra ($S \sim 0,7 \text{ ‰}$) foi preparada em laboratório da seguinte maneira: cerca de 1g de Cloreto de Sódio p.a era seco durante 2 horas a aproximadamente 150°C em estufa e resfriado em dessecador, 0,724 g era pesado e transferido quantitativamente para um balão de 1000 mL, o volume era levado até a marca de calibração com água deionizada e em seguida homogeneizado.

4.2 PREPARO DAS SOLUÇÕES PADRÕES DE NaCl PARA DETERMINAÇÃO DE SÓDIO POR FOTOMETRIA DE CHAMA

Para a construção da curva de calibração para a determinação de sódio por fotometria de chama (Fotômetro Micronal, B462, figura 24) partiu-se de uma solução estoque de sódio de 1000 mg L^{-1} , preparadas por dissolução a 1L de 2,542 g de cloreto de sódio p.a., previamente seco por 2 horas a 150°C . A partir dessa solução foram preparada soluções de concentrações: 300, 250, 200, 150, 100 mg L^{-1} Na. Para os testes de limpeza do sal intrínseco ao material biológico construía-se as curvas de calibrações a partir das soluções de 100 e 10 mg L^{-1} Na diluindo-se para 75, 50, 25,10 mg L^{-1} Na e 5, 4, 3, 2, 1 mg L^{-1} Na respectivamente.

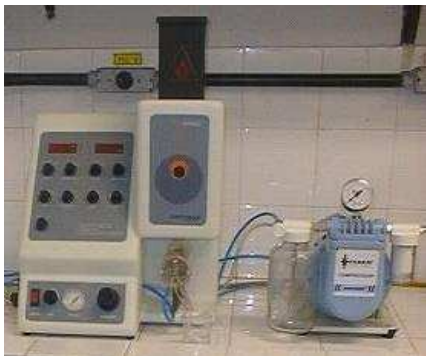


Figura 24 - Fotômetro de Chama, Micronal Mod. B462.

A figura 25 (a) e (b) mostram curvas de calibração típicas usadas na determinação de sódio nos testes de extração do sal intrínseco ao material biológico e nos testes de sorção de sal pelos diferentes materiais biológicos, respectivamente.

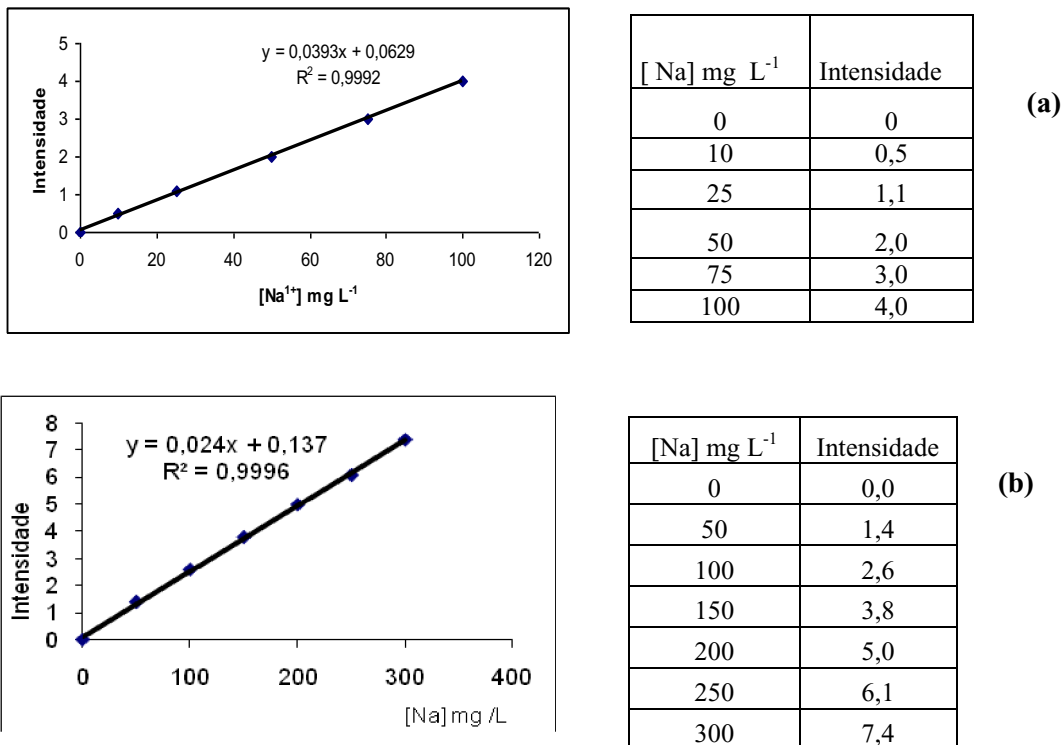


Figura 25- Curvas de calibração para determinação de sódio por fotometria de chama.

4.3 PREPARO DO MATERIAL BIOLÓGICO PARA OS TESTES DE SORÇÃO DE SAL

As sementes eram lavadas com água destiladas secas à temperatura ambiente por aproximadamente 24 horas antes de serem moídas; em seguida eram trituradas em um moinho da marca BERMAR (figura 26a) ou para sementes mais difíceis de moer, como umbu, em um moinho industrial (figura 26b). Em seguida as sementes pulverizadas eram peneiradas em uma peneira de malha de 0,8 mm.



Figura 26 - Moinhos usados para triturar as sementes: (a) Moinho BERMAR (b) Moinho industrial

A figura 27 mostra fotos de diferentes materiais biológicos testados neste trabalho: (a) *Moringa*, (b) *Umburana*, (c) *Amêndoa*, (d) *Umbu* antes e após trituração, respectivamente e (e) *Mulungu* sem triturar, testados como sorvedores de sal da água salobra.

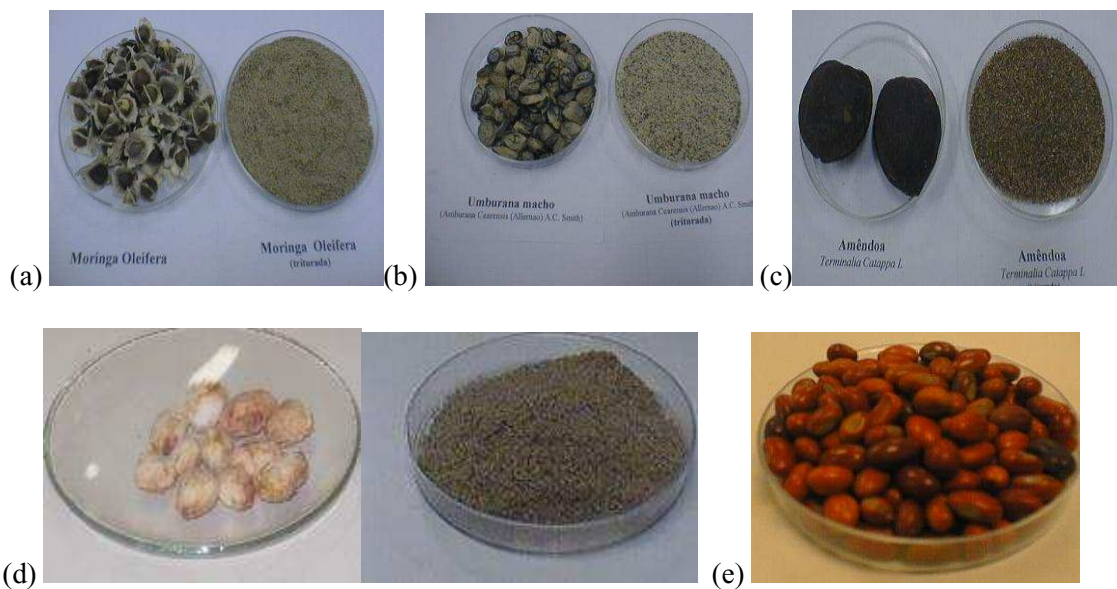


Figura 27 - Sementes testadas como sorvedores de sais da água salobra antes e após trituração: (a) *Moringa*, (b) *Umburana*, (c) *Amêndoa*, (d) *Umbu* e (e) *Mulungu* (sem triturar).

4.4 TESTE DE EXTRAÇÃO DO SAL INTRÍNSECO AO MATERIAL BIOLÓGICO

Observou-se que quando se colocava o material biológico em água deionizada o mesmo liberava sal na água. Seria então necessário saber quanto existia de sal originalmente no material biológico e quantas extrações sucessivas poderiam deixar aquele material totalmente livre de sais, para que ele pudesse ser usado como sorvedor de sais presentes na água salobra. Estaria em vantagem aquele material que tivesse originalmente nenhum ou pouco sal.

Parte do material biológico após ser moído e seco (temperatura ambiente) era pesado e transferido para um béquer ao qual era adicionado água deionizada sempre na proporção de 1g:100 mL. Depois de vigorosa agitação com bastão de vidro era feita filtração à vácuo.

Após a filtração determinava-se a concentração de sódio por fotometria de chama na solução filtrada. Se nesta etapa fosse observado presença de sódio repetia-se o procedimento com o mesmo material biológico até que não fosse mais encontrado sódio. Procedia-se então à secagem do material isento de sal e os testes de sorção de sal da água salobra pelo material biológico.

4.5 TESTE DE SORÇÃO DE SAL PELO MATERIAL BIOLÓGICO USANDO ÁGUA DE SALOBRIDADE 0,7 ‰

Para a escolha das proporções adequadas de material biológico/volume de água a ser dessalinizada, foram realizados os testes fixando-se o volume de água salobra (salinidade 0,7‰) e variando-se a massa do material biológico. O tempo de contato entre a água salobra e o material biológico era 10 min. Após esse tempo retirava-se uma alíquota para análise de

sódio por fotometria de chama, dessa forma, a melhor proporção seria aquela em que determinasse uma menor concentração de sódio em solução após a sorção.

De posse da melhor proporção para estudo do dessalinizador seguia-se com os testes de sorção de sal pelo material biológico usando-se água salobra 0,7 ‰. O material biológico previamente moído, lavado e seco à temperatura ambiente era transferido para seis béqueres, onde ficava em contato com a água salobra por 10, 20, 30 minutos, 1, 2 e 3 horas, na proporção 1g:10mL (esquema na figura 28). Após o contato do material biológico com a água salobra retirava-se alíquotas do sobrenadante e fazia-se leituras diretas no fotômetro de chama para determinar a concentração de sódio remanescente na água após sorção de parte do sal pelo material em teste.

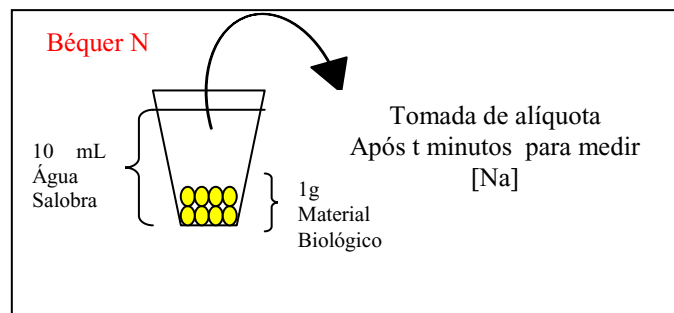


Figura 28- Teste de sorção de Sal em um determinado tempo pelo material biológico moído e lavado previamente usando-se 10 mL de água salobra 0,7 ‰ e 1 g de material biológico seco a temperatura ambiente.

4.6 CÁLCULOS PARA A PERCENTAGEM DE SORÇÃO DE SAL NO MATERIAL BIOLÓGICO

A percentagem de sorção de sal no material biológico foi calculada através da equação 6:

$$\% \text{ Sorção} = \frac{([\text{Na}]_{\text{inicial}} - [\text{Na}]_{\text{Remanesc.}}) \times 100}{[\text{Na}^+]_{\text{inicial}}}$$

Equação (6)

Onde:

$[\text{Na}^+]_{\text{inicial}}$ = concentração inicial de sódio na água salobra (0,7 ‰) antes do contato com o material biológico.

$[\text{Na}]_{\text{Remanesc.}}$ = Concentração sódio eterminado na água após contato com o material biológico.

4.7 PREPARAÇÃO E TESTES COM O DISPOSITIVO CASEIRO

Utilizou se no preparo do dispositivo caseiro um filtro de água plástico da marca SAP FILTROS, com capacidade de 4 L, encontrado comercialmente com uma vela ôca de cerâmica como elemento filtrante (figura 29).



Figura 29 - Filtro de água, marca SAP FILTROS, capacidade 4L, usado para o dispositivo dessalinizador.

Foram realizados dois procedimentos para dessalinização da água salobra usando este filtro, sendo que em ambos usava-se o material biológico (tratado segundo a metodologia descrita neste trabalho) e a água de baixa salobridade ($S \sim 0,7 \text{ ‰}$), como freqüentemente encontrada

para beber na região semi-árida baiana, mantendo-se a proporção de 1g:10mL (massa do material/volume da água salobra). Da água filtrada transferida para a parte inferior do filtro era recolhida uma alíquota para a determinação do Na por fotometria de Chama.

Procedimento A: Enchimento da vela de cerâmica com o material biológico selecionado (figura 30a) e adaptação ao filtro com a água salobra a ser filtrada através dessa vela em um fluxo constante. Um suporte de polipropileno com roscas de teflon (figura 33b) foi utilizado para sustentar a vela de cerâmica dentro do filtro (figuras 30c e d).

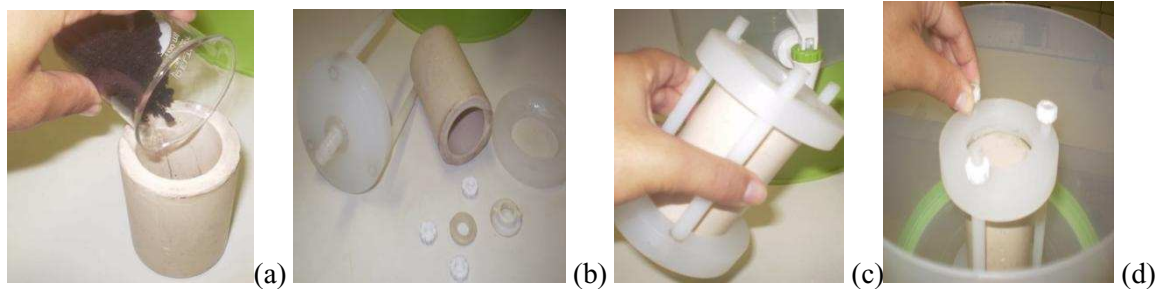


Figura 30 - (a) Preenchimento da vela de cerâmica com o material biológico; (b) Peças do Suporte da vela de cerâmica; (c) e (d) adaptação da vela contendo o material biológico ao suporte.

Procedimento B: consistia em adaptar a vela ôca de cerâmica no filtro com um regulador de fluxo equipo (Figura 31a) com objetivo de controlar o fluxo da água a ser filtrada, enquanto a mesma era agitada com o material biológico na parte superior do filtro. O regulador de fluxo era posicionado no filtro de modo que a sua extremidade ficasse acima da torneira (figura 31 b, c e d). Após a adaptação do regulador de fluxo à vela de cerâmica, colocava-se no recipiente superior do filtro o material biológico e a água salobra a ser dessalinizada (figura 32).

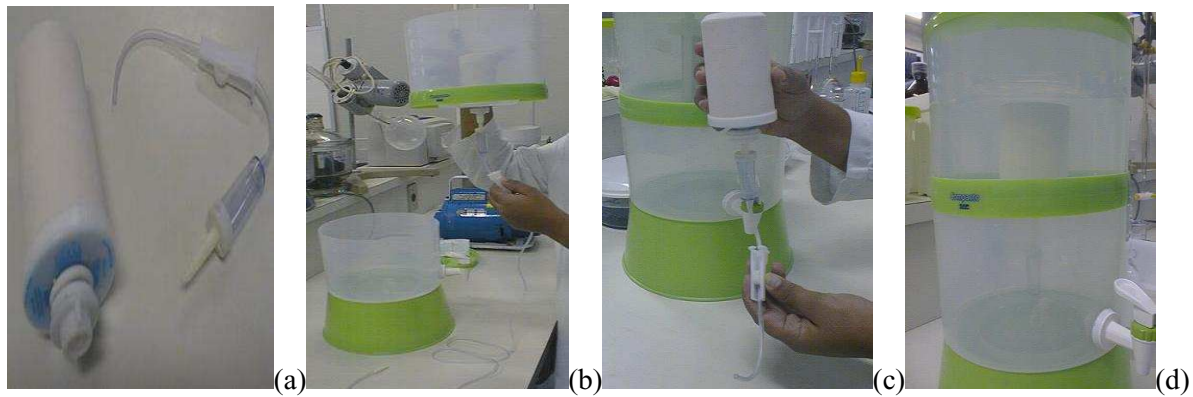


Figura 31 - Adaptação do regulador de fluxo equipo à vela de cerâmica. (a) vela de cerâmica e regulador de fluxo equipo; (b), (c) e (d) adaptação e posicionamento do regulador de fluxo equipo no dispositivo.

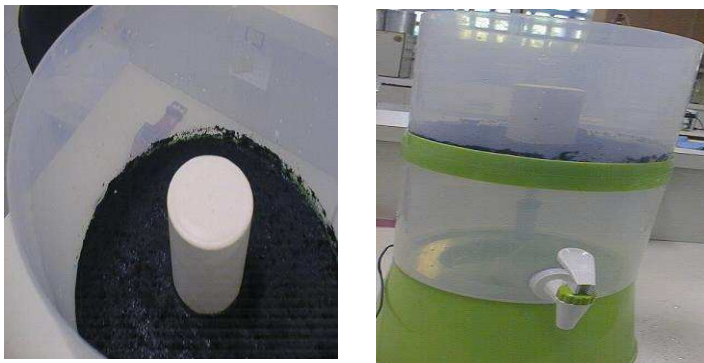


Figura 32 - Disposição do material biológico no recipiente superior do filtro para contato com a água salobra e posterior filtração pela vela de cerâmica com fluxo controlado.

4.8 ANÁLISE DE AMOSTRAS REAIS DE ÁGUAS SALOBRAS PARA OS TESTES COM O DISPOSITIVO DESSALINIZADOR

Testou-se 3 amostras de águas salobras de comunidades da região do Rio Salitre, Semi árido baiano. As amostras foram coletadas em frascos estéreis de polietileno de 1000 mL onde foram armazenadas em geladeira até a realização dos testes com o dispositivo dessalinizador.

Foram realizadas análises físico/químicas, tais como: pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, sódio, potássio, cálcio e magnésio, com o objetivo de avaliar variáveis de

qualidade de águas mais associados aos sais possivelmente presentes antes e após o contato com o material biológico dessalinizador.

A análise físico-química das amostras reais de água visou também avaliar padrões de qualidade da água antes e após o contato com o material, tornando-se como base a Resolução CONAMA 357/05 e/ou Portaria do Ministério da Saúde n.º 518/2004.

4.8.1 Medida do pH

O pH foi determinado potenciométricamente usando-se um eletrodo de vidro combinado. O instrumento de medida de pH, com compensador de temperatura, da marca Denver, foi calibrado com soluções tampão de pH conhecido com exatidão.

4.8.2 Determinação da dureza (cálcio e magnésio como CaCO_3)

A aplicação analítica de maior destaque do equilíbrio de formação de complexos é na determinação volumétrica de metais, denominada volumetria de complexação. Nesta modalidade de método volumétrico o reagente mais empregado na titulação de metais é o EDTA, empregado na forma de sal de sódio, solúvel em água.

Cálcio e magnésio foram determinados nas amostras de água usando-se volumetria por complexação, seguindo a descrição abaixo:

a) Dosagem de Cálcio

Transferiu-se três alíquotas de 10,00 mL da solução amostra, para erlenmeyers acrescentando-se água destilada até cerca de 100 mL. Foram adicionados 5mL de hidróxido de potássio (KOH 3M) e usou-se o Calcon como indicador. Titulou-se com solução de EDTA, padronizada, até que a solução mudança de vermelho para azul. O volume de EDTA gasto no ponto final corresponde à dosagem de cálcio (V_{Ca}).

b) Dosagem de Cálcio e Magnésio (Ca + Mg)

Trasferiu-se três alíquotas de 10,00 mL da solução amostra, para Erlenmeyers acrescentando-se água destilada até cerca de 100 mL. Foram adicionados 5mL de tampão amoniacal (pH = 10) e usou-se Negro de Eriocromo T como indicador. Titulou-se com solução de EDTA, padronizado, até que a solução mudasse de vermelho para azul. Oo volume de EDTA gasto no ponto final corresponde à dosagem da soma de cálcio e magnésio ($V_{Ca + Mg}$).

Calculou-se o volume de EDTA gasto para titular o magnésio usando-se a seguinte relação:

$$V_{Mg} = (V_{Ca+Mg}) - (* V_{Ca}) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde $* V_{Ca}$ corresponde à média dos volumes gastos na titulação do cálcio. Ver memória de calculo das determinações de Ca^{+2} e Mg^{+2} no Anexo B.

A dureza total é definida como a soma das concentrações de cálcio e magnésio, expressas como carbonato de cálcio, em miligramas por litro. O cálculo das concentrações de Íons

cálcio e magnésio equivalentes a CaCO_3 e a Classificadas das águas em função dos níveis de dureza estão apresentados no ANEXO C.

4.8.3 Condutividade Elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

A condutividade elétrica de uma água esta diretamente correlacionada com a quantidade de sólidos totais dissolvidos naquela água. Seu valor depende da concentração e do grau de dissociação dos compostos, bem como da temperatura e da velocidade de migração dos íons no campo elétrico. A cédula de condutividade não é seletiva, mede a soma total das concentrações dos eletrólitos dissolvidos na solução. O valor da concentração dos sólidos totais dissolvidos medidos potenciométricamente é estimado a partir de um eletrólito padrão de NaCl ou KCl. Desta forma usou-se um Condutivímetro com cédula de condutividade com compensador de temperatura, marca Bunker, previamente calibrado com solução de KCl $146,9 \pm 0,5\% \mu\text{S}/\text{cm}$ seguindo os seguintes procedimentos: Em um béquer de 150 mL, colocou-se cerca de 100 mL de amostra homogeneizada deixando-se a cédula imersa e em repouso até o aparelho estabilizar. A cédula era lavada com água deionizada antes e depois de cada leitura.

4.9 ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DO MATERIAL USADO NO DESSALINIZADOR BIOLÓGICO

Do material biológico usado como dessalinizador uma pequena porção era pesada e transferida para um béquer ao qual era adicionado água deionizada sempre na proporção de 1g: 100 mL . Depois de vigorosa agitação com bastão de vidro era feito a filtração a vácuo. Após a

filtração determinava-se a concentração de sódio por fotometria de chama na solução filtrada. Se nesta etapa fosse observado presença de sódio repetia-se o procedimento com o mesmo material biológico até que não fosse mais encontrado sódio no filtrado remanescente. Procedia-se então à secagem do material isento de sal em estufa (temperatura ambiente)

Com o material seco e livre de sal realizava-se o teste com o dispositivo caseiro com amostras de águas salobras reais, seguido da análise físico/ química antes e após passar pelo mesmo, a fim de se verificar se o reuso do material ocorria com a mesma eficiência.

4.10 TESTE DE ADSORÇÃO

Para obtenção das isotermas de adsorção, os testes foram feitos em bateladas, a partir de 20 mL de soluções de sódio nas concentrações de 170, 250, 300, 350, 400, 500 e 600 mg L⁻¹ e 2 mg do material sob agitação constante de 8rpm, por um período de 10 min. A influência da temperatura no processo de adsorção foi verificada variando as temperaturas de adsorção (30, 40 e 50°C). Após o tempo de contato, as soluções foram filtradas á vácuo e o sobrenadante foi analisado por fotometria de chama.

A quantidade de material adsorvido por unidade de massa do adsorvente (mg g⁻¹) foi calculada pela diferença entre a concentração inicial e após o equilíbrio da adsorção. Foram usados dois modelos de isoterma para obter a relação entre a concentração de equilíbrio: Modelo de Langmuir (equação 1.1) e o Modelo de Freundlich (equação 5.1).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 QUESTIONÁRIOS APLICADOS EM COMUNIDADES DA REGIÃO DO RIO SALITRE, NO SEMI ÁRIDO BAIANO

Observou-se através dos 30 questionários (modelo no anexo A) aplicados em sete comunidades da região do Rio Salitre que 92% das pessoas bebem água encanada. Destes, 63% responderam ter conhecimento da qualidade da água que bebem, sendo que 35 e 12% afirmaram que bebem água pouco salobra e muito salobra respectivamente (figura 33). Entre os 30 questionários respondidos 3% continha informação positiva sobre a presença de dessalinizador na localidade, com a informação adicional do não funcionamento regular do mesmo. Em entrevistas informais usuários da água daquelas localidades declararam que a manutenção dos dessalinizadores, realizada por técnico do governo federal, oferece um funcionamento regular do equipamento no máximo por 3 meses, ficando às vezes uma semana ou mais sem consertar.

Segundo os questionários aplicados, aquelas comunidades não tem habito de fazer qualquer coisa para melhorar a qualidade da água de beber. Quando perguntados sobre ter conhecimento de sementes, folhas de plantas ou qualquer outro material biológico que pudesse absorver sal da água salobra, indicaram diferentes materiais abundantes na região que poderiam ser testados, tais como: Junco (raiz), neem Indiano, gengibre, cajá, pinha, casca do abacaxi, cajarana, endro (erva), batata de umbuzeiro, umbu, bucha vegetal, melancia, umbu cajá, sabugo de milho, palha de milho seca, siriguela, jatobá, palma, acerola, amendoim, milho, girassol, buriti, mangaba, mari, juazeiro (juá), inhame, beterraba, oiti, limão, tamarindo, pucuna, abacate, café, buriti, mangaba, beterraba, oiti, caroço de jaca, graviola, umburana de cheiro, cajarana, coco, mulungu, abobora e algaroba.

Entre esses, a capacidade de sorção de sais de dez materiais foi testada neste trabalho. Outros foram excluídos por apresentarem dificuldade de triturar, por sofrerem decomposição quando adicionados em água após moagem ou por apresentarem baixa abundância na região.

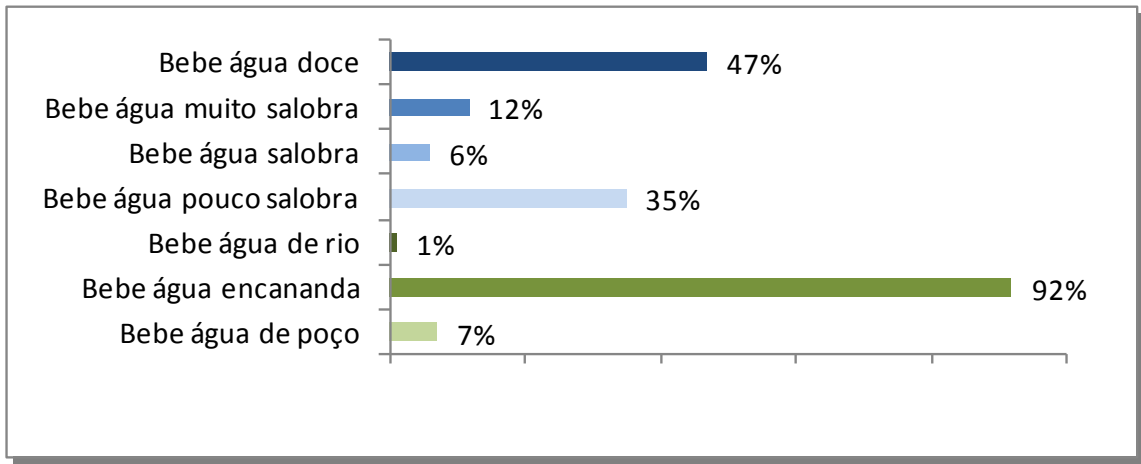


Figura 33 - Percentual da qualidade e origem da água bebida por comunidades da região do Rio Salitre.

5.2 MATERIAL BIOLÓGICO MAIS ADEQUADO PARA USO NO DISPOSITIVO DESSALINIZADOR

Uma vez tendo sido observado que os materiais biológicos a serem testados como dessalinizadores continham originalmente sais, foi necessário testar um procedimento eficiente de limpeza deste sal antes de usar o material como dessalinizador, pois esta etapa poderia inviabilizar seu uso. Os resultados do teor de sódio nos diferentes materiais usados é apresentado na tabela 2, juntamente os resultados dos testes de extração de sal intrínseco ao

material biológico indicando o número de extrações utilizadas para isentar totalmente o material de sal. Condições: 1 g do material biológico: 100 mL de água deionizada a cada extração.

Tabela 2 - Número de extrações necessárias para retirada do sal original, considerando-se de 1g de material biológico com 100 mL de água deionizada e tempo de contato de 10 min.

Nº de extrações	1	2	3	4	[Na ⁺] extraído do material biológico, (µg g ⁻¹)
Material biológico	[Na ⁺] mg L ⁻¹				
<i>Abobora</i>	8,9	3,5	1,0	0,0	1300
<i>Mulungun</i>	15	1,7	0,30	0,0	1700
<i>Umburana</i>	6,9	2,6	0,0	-	950
<i>Amendoa</i>	5,0	3,4	1,0	0,0	940
<i>Moringa</i>	2,2	1,0	0,50	0,0	370
<i>Bucha vegetal</i>	0,80	0,10	0,0	-	90
<i>Umbu</i>	0,10	0,0	-	-	10
<i>Algaroba</i>	1,1	0,0	-	-	110
<i>Coco (endocarpo)</i>	7,4	0,40	0,0	-	780
<i>Coco (mesocarpo)</i>	18	0,40	0,0	-	2200
<i>Girassol</i>	0,0	-	-	-	0,0

A semente de girassol, *Helianthus annuus*, foi a única que não apresentou sal originalmente e entre os outros materiais biológicos testados a semente de umbu, *Spondndias Tuberosa Cheg. Cam.*, foi a que continha menor quantidade de sais originalmente (10 µg g⁻¹), seguida pela semente de bucha vegetal, *Luffa Cylindrica*, (90 µg g⁻¹) e de algaroba, *Prosopis juliflora*, (110 µg g⁻¹). Nos casos do umbu e da algaroba o sal contido em 1 g do material foi extraído totalmente em uma única vez com 100mL de água deionizada. Os outros materiais continham entre 370 e 2200 µg g⁻¹ de sódio, sendo necessárias três extrações para limpá-la totalmente.

A figura 34 mostra os resultados obtidos nos testes preliminares de sorção de sal por diferentes materiais biológicos. Estes resultados sinalizaram para uma necessidade de se encontrar novos materiais com maior capacidade de sorção de sal, ou de se aumentar a capacidade destes até agora estudados, na busca de uma melhor eficiência do dispositivo a ser proposto. Uma possibilidade de se alcançar esta meta estaria em aumentar a temperatura de secagem do material. Para isso foi planejado novo procedimento experimental: moer o material, extrair o sal intrínseco e secá-lo a diferentes temperaturas em diferentes tempos, testando novamente a capacidade de sorção do material em contato com a água salobra por 10 minutos.

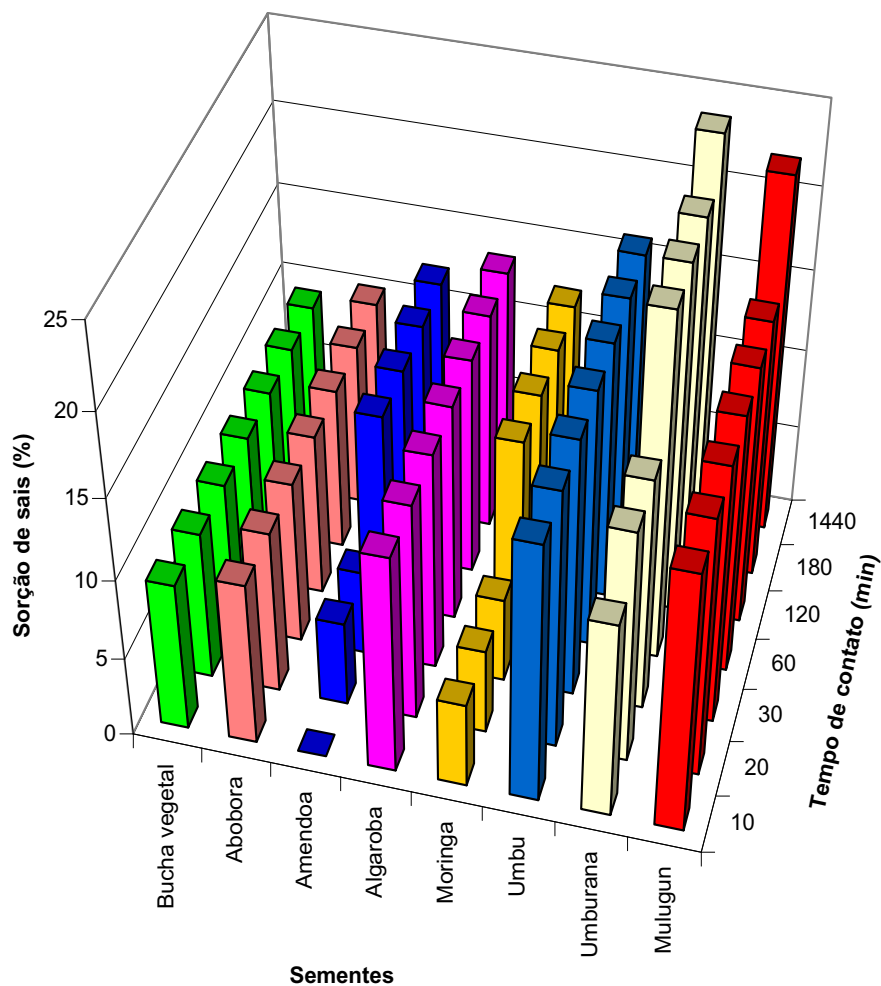


Figura 34 - Percentagem de sorção de sal por diferentes tipos de sementes em função do tempo de contato com a água salobra. Condições: 1g de material previamente moído, lavado e seca a 50° C.

A figura 34 mostra ainda que entre aqueles tipos de sementes estudadas, previamente moídas, lavadas e secas à temperatura ambiente, colocadas em contato com água salobra por uma hora, a Umburana (*Amburana cearensis* Fr. Aliem.) foi o material biológico com maior capacidade de sorção de sais (22%), seguida pelo Umbu (*Spondndias Tuberosa* Cheg. Cam) e Mulungu (*Erythrina verna* Vell) (16%). O mesmo não ocorre considerando-se um menor tempo de contato (10 minutos), quando a umburana absorve apenas 12 % dos sais e os outros dois mantêm os 16%.

A figura 35 representa resultados de testes de sorção de sais por materiais biológicos secos a 100°C durante tempos diferentes e deixados em contato com a água salobra por 10 minutos. Observa-se que mantendo-se a temperatura constante e variando-se o tempo de secagem do material biológico, a eficiência de sorção de sais pelos diferentes tipos de sementes praticamente se mantém constante a partir de 1 hora de secagem. Desta forma, os testes de sorção de sal passaram a ser realizados com os materiais secos durante uma hora, variando-se a temperatura de secagem, o que foi feito em 50, 100, 150, 200 e 250°C. A tabela 3 apresenta estes resultados para todas as temperaturas testadas para secar os diferentes materiais biológicos usados, confirmando aquela observação anterior.

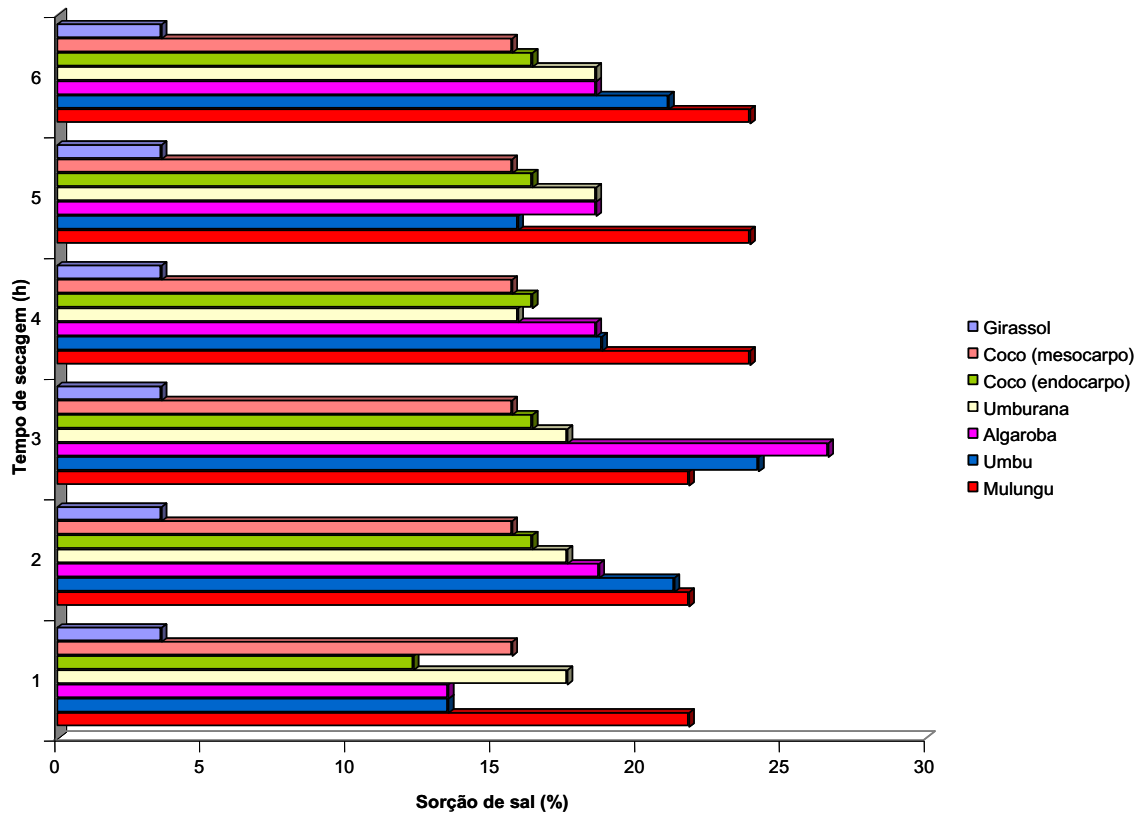


Figura 35- Percentagem de sorção de sal da água salobra por diferentes tipos de sementes secas a 100 °C em diferentes tempos de secagem.

Os dados da tabela 3 mostram que houve um aumento na capacidade de sorção de sal por todos os materiais testados, com destaque para a umbu e o umburana que absorviam 16 e 12 % de sal respectivamente, quando secos à temperatura ambiente e passaram a absorver 24 e 25 % quando secos a 250° C.

Tabela 3 – Percentagem de Sorção de sal da água salobra por diferentes materiais biológicos previamente lavados e secos em diferentes temperaturas e tempos de secagem. Condições: 1g de material, tempo de contato de 10 min.

<i>Material Biológico</i>	<i>Algaroba</i>	<i>Mulungu</i>	<i>Umbu</i>	<i>Umburana</i>	<i>Coco</i>		<i>Girassol</i>
					<i>Endocarpo</i>	<i>Mesocarpo</i>	
Tempo de Secagem (h)	Temperatura: 50°C						
1	14	16	16	22	12	13	-
2	14	16	16	22	12	16	-
3	14	16	16	22	12	16	-
4	14	22	16	24	12	16	-
5	-	-	-	-	12	16	-
24	-	-	-	-	12	16	-
	Temperatura: 100°C						
1	14	22	14	18	12	16	3,6
2	19	22	14	18	16	16	3,6
3	27	22	14	18	16	16	3,6
4	19	24	16	16	16	16	3,6
5	19	24	16	19	16	16	3,6
24	19	24	16	19	16	16	3,6
	Temperatura: 150°C						
1	16	22	16	18	16	16	7,2
2	16	22	19	18	16	16	7,2
3	21	22	19	18	16	16	7,2
4	21	24	19	19	16	16	7,2
5	21	24	19	19	20	16	7,2
24	21	24	19	19	20	16	7,2
	Temperatura: 200°C						
1	20	24	20	20	16	16	11
2	13	23	21	24	16	16	11
3	13	24	21	20	16	16	11
4	-	-	-	-	16	18	11
5	-	-	-	-	21	18	11
24	-	-	-	-	21	18	11
	Temperatura: 250°C						
1	22	20	24	25	-	18	-
2	-	-	-	-	-	18	-
3	-	-	-	-	-	18	-
4	-	-	-	-	-	18	-
5	-	-	-	-	-	18	-
24	-	-	-	-	-	18	-

Não foi possível secar em temperaturas mais altas alguns dos materiais estudados, assim como deixá-los por um tempo de contato maior com a água, pois ocorria decomposição rápida como nos casos do endocarpo do Coco e da semente de Girassol.

De todos os materiais biológicos testados o umbu (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam*) foi considerado o mais adequado ao uso no dispositivo dessalinizador, pois continha menor quantidade de sais, $10 \mu\text{g g}^{-1}$ Na (tabela 2), facilitando sua purificação prévia; removia da água salobra uma quantidade maior de sais do que os outros materiais, quando pulverizado e seco a 250°C e em contato com a água por 10 minutos (tabela 3) e ainda pode ser encontrado facilmente em grandes quantidades na região semi-árida baiana. A semente de umburana também se apresenta como um dos melhores entre os materiais estudados, mas sua desvantagem principal em relação ao umbu é ter quase 100 vezes mais sal intrinsecamente do que a semente do umbu. Além disso, o conhecimento pela literatura científica do alto teor mineral da polpa do umbu, Borges (2007), parece até o momento permitir o reuso do material em alimentação animal após sua utilização na dessalinização, evitando qualquer possibilidade de produção de efluente e conseqüentemente evitando problemas ambientais, comuns aos outros processos de dessalinização de água.

5.3 RESULTADOS DOS TESTES DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA COM O DISPOSITIVO CASEIRO EM DUAS MONTAGENS DIFERENTES.

Utilizando-se para a montagem do dispositivo caseiro o filtro de água da marca SAP FILTROS, de plástico transparente, com capacidade de 4 L (Figura 32), foram realizados dois procedimentos para dessalinização da água salobra, usando-se a semente de umbu (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam*) como material biológico dessalinizador e a água de baixa

salobridade (0,7 ‰), mantendo-se a proporção de 1g:10 mL (massa do material/volume da água salobra). Da água filtrada transferida para a parte inferior do filtro foram tomadas alíquotas para controle do sódio retirado da água pelo material, indicando o processo de dessalinização.

Procedimento A: a vela de cerâmica que acompanhava o filtro comercial usado foi preenchida com o material biológico (sementes de umbu, previamente lavadas, trituradas e secas a 250°C) e adaptada ao filtro sustentada pelo suporte de polipropileno (figura 30c). Em seguida adicionava-se a água salobra para ser filtrada através dessa vela em um fluxo constante. O dispositivo foi testado usando-se dois tipos de velas de cerâmica encontradas comercialmente, com porosidades diferentes, o que produzia diferentes fluxos da água a ser filtrada. A vela com maior porosidade produziu um fluxo de 2 mL seg⁻¹ de água filtrada, enquanto que com a de menor porosidade o fluxo foi de 0,7 mL seg⁻¹. A percentagem de sorção de sais da água obtida com este procedimento se mostrou muito baixa (cerca de 8 %) quando comparada aos testes de bancada, cujos resultados foram apresentados anteriormente, indicando que não estava ocorrendo contato adequado entre a água e o material biológico contido dentro da vela.

Procedimento B: consistiu em adaptar à vela de cerâmica colocada no filtro um regulador de fluxo equipo com objetivo de impedir o fluxo da água a ser filtrada durante um tempo, possibilitando agitação do material com a água, aumentando o contato direto e mais prolongado entre eles (Figuras 31 e 32). O regulador de fluxo era adaptado na parte inferior da vela de cerâmica, se posicionado no compartimento inferior do filtro, ficando a sua extremidade acima da torneira do mesmo. Com o regulador de fluxo equipo fechado colocava-se na parte superior do filtro o material biológico e a água, deixando-os em contato por 10 min após agitação com auxílio de um bastão de vidro. A influência da agitação na

eficiência do processo de sorção de sais foi determinada testando-se a sorção sem agitação entre a água e o material, com pouca agitação e com vigorosa agitação, obtendo-se respectivamente 20, 23 e 24 % de sorção de sal pelo material usado como dessalinizador.

5.4 APLICAÇÃO DO DISPOSITIVO CASEIRO PARA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA

Amostras de águas salobras usadas por comunidades do Semi-Árido Baiano foram coletadas e trazidas para o laboratório visando testar com amostras reais o processo de dessalinização desenvolvido neste projeto. Características químicas importantes das referidas amostras foram determinadas, tabela 4, cujo conhecimento possibilitou que se verificasse a eficiência do dessalinizador, não somente com relação ao cloreto de sódio, mas também levando em consideração os sais totais dissolvidos (STD), incluindo outros sais importantes contidos naquelas águas, como é o caso de sais de cálcio, magnésio e potássio. Foram usadas no dispositivo desenvolvido águas salobras com salinidade desde 0,6 e 1,2 ‰ de salinidade, incluindo águas consideradas muito dura (dureza como $\text{CaCO}_3 > 200 \text{ mg L}^{-1}$). Sabe-se que a salinidade de uma água, é diretamente relacionada à concentração de Sólidos Totais Dissolvido (STD), o que foi feito neste trabalho. Por exemplo, $500 \text{ mg/L de STD} = 0,5\text{‰ de Salinidade}$.

Tabela 4- Características químicas importantes de amostras reais de águas salobras do Semi-Árido baiano usadas neste trabalho.

PARÂMETROS DE QUALIDADE									
Água Salobra	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	S ‰	Na	K	STD	Ca	Mg	Dureza (CaCO_3)
				(mg L ⁻¹)					
1	1690	7,25	0,78	245	2,3	779	117 ± 0,8	61,7 ± 0,4	546 ± 4
2	1321	7,71	0,62	159	1,5	619	157 ± 0,4	69,4 ± 0,2	616 ± 2
3	2280	7,89	1,2	267	4,3	1218	113 ± 1,2	84,2 ± 0,4	628 ± 4

Usando o **Procedimento B** realizou-se testes com o mulungu e a umburana com água salobra real, já que os mesmos apresentaram uma capacidade de sorção de 20 e 25% (tabela 2), respectivamente, esse último maior que o umbu (23%). Na tabela 5 temos os resultados das variáveis de qualidade das águas de amostras de águas salobras quando usados no dispositivo com contato inicial de 10 min com os materiais biológicos umbu, mulungu e umburana nas condições usados nos testes de laboratório com os materiais previamente lavados e secos a 250° C por 1h e mantendo a proporcionalidade entre massa do material biológico e volume de água também usada nos testes, ou seja, usando-se toda a capacidade do filtro comercial (4L de água) usou-se 400 g do material biológico.

Tabela 5- Parâmetros de qualidade de amostras de águas salobras quando em contato (10 min) com os materiais biológicos umbu, mulungu e umburana. Condições dos materiais: previamente lavados e secos a 250° C por 1h.

PARÂMETROS DE QUALIDADE									
Água Salobra	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	pH	S %	Na	K	STD	Ca	Mg	Dureza (CaCO_3)
				(mg L ⁻¹)					
UMBU									
1	1132 (33%)	6,02	0,51	136 (44%)	2,0	514 (34%)	78,1 ± 0,4 (33%)	44,4 ± 0,2 (28%)	377 ± 2 (31%)
2	953 (28%)	6,94	0,45	74 (53%)	1,0	454 (27%)	77,2 ± 0,4 (51%)	54,4 ± 0,2 (22%)	389 ± 3 (37%)
3	1396 (39%)	7,42	0,76	160 (40%)	3,0	759 (38%)	84,0 ± 0,4 (26%)	73,1 ± 0,2 (13%)	511 ± 2 (17%)
MULUNGU									
1	1830	7,61	0,75	181 (26%)	2,0	757 (2,8%)	154 ± 1,2	64,1 ± 0,4	648 ± 5
2	1587	7,93	0,60	133 (17%)	1,0	601 (2,9%)	210 ± 0,4	97,2 ± 0,2	926 ± 2
3	2469	7,82	1,2	181 (32%)	4,0	1184 (2,8%)	132 ± 0,4	155 ± 0,4	967 ± 3
UMBURANA									
1	1820	6,41	0,95	211 (14%)	2,0	955	128 ± 0,4	80,2 ± 0,2	649 ± 2
2	1658	6,80	0,86	141 (11%)	1,0	861	169 ± 0,4	72,7 ± 0,2	721 ± 2
3	1525	6,63	1,2	177 (34%)	4,0	1239	108 ± 0,4	88,7 ± 0,2	635 ± 2

() Percentuais de redução

Ressaltam-se algumas observações em relação à análise físico-química dessas águas, cujos dados estão apresentados nas tabelas tabela 4 e 5.

Em relação à quantidade de sólidos dissolvidos usando como material dessalinizador umbu, houve uma redução na quantidade dos mesmos de 34, 27 e 38% nas amostras de águas salobras 1, 2, e 3. Isso não foi suficiente para tornar a amostra 3 uma água doce (STD < 500 mg/L), segundo Resolução CONAMA 357/05. No entanto a portaria do Ministério da Saúde, que trata da potabilidade, admite até 1000 mg/L de STD, enquadrando-se então as três amostras reais dentro dos limites de potabilidade com relação a este parâmetro após o contato com umbu tratado segundo indicado neste trabalho.

Para a umburana e mulungu houve um aumento considerável em todas as amostras nas concentrações de Mg^{+2} e também de Ca^{+2} , aumentando conseqüentemente os valores de STD e CE. Isso indica que estes dois tipos de sorventes estão adicionando Mg^{+2} e Ca^{+2} à água após o contato, embora retire o sódio da mesma com razoável eficiência (cerca de 20 e 25% em média, respectivamente). Dessa forma houve um considerável aumento da dureza da água usando aquelas sementes. Isso não aconteceu usando o umbu como material dessalinizador. O percentual de redução de dureza com o mesmo foi de 37% em média nas amostras de água salobra 1, 2 e 3 (tabela 5). A amostra de água salobra 3 tinha uma dureza muito alta ($628 \text{ mgL}^{-1} \text{ CaCO}_3$) ficando ainda um pouco acima dos níveis de normalidade ($<500 \text{ mgL}^{-1} \text{ CaCO}_3$), segundo Portaria MS 518/04.

Comparando os resultados da tabela 4 com os da tabela 5 observa-se que águas entre 0,6 e 1,2 ‰ de salinidade e com águas dureza elevada ($> 300 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$) podem ser levadas ao nível de normalidade usando-se o dessalinizador caseiro contendo sementes de umbu tratadas segundo indicação deste trabalho.

5.5 REUSO DO MATERIAL BIOLÓGICO

Usando-se a semente de umbu (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam*) como material biológico dessalinizador e a amostra de água salobra 1 no dispositivo, fez-se o estudo de reuso desse mesmo material. Foram realizadas três extrações com 100 mL de água deionizada e 1g do material dessalinizador removendo-se praticamente todo o sal (representado pelo sódio) na primeira extração, (tabela 6). Considerando-se o baixo custo do material usado no

dessalinizador (\approx R\$ 2,00) o custo benefício do seu reuso seria muito alto em função do gasto de água para extrair o sal.

TABELA 6 - Número de extrações necessárias para limpar o material usado como dessalinizador (umbu) no dispositivo.

Nº de extração	Na (mg L ⁻¹)
1	43
2	3
3	0

A tabela 7 representa os resultados das variáveis de qualidade de água antes e após o contato do material biológico (umbu) reaproveitado no processo de dessalinização. Em geral houve uma redução de todas as variáveis de qualidade da amostra de água após passada pelo dispositivo dessalinizador (contendo oumbu) reaproveitado. Porém se compararmos com aqueles apresentados na tabela 5, houve uma menor eficiência no processo da dessalinização, pois o percentual de redução nos parâmetros de qualidade da água foi pequeno: cerca de 8% na salinidade e 13% na dureza.

TABELA 7 – Médias dos parâmetros de qualidade da água antes e depois do contato do material biológico (umbu) reaproveitado após usado em processo de dessalinização de água.

Ca		Mg		Na		K		Dureza (CaCO ₃)	
(mg L ⁻¹)									
Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
113 ± 2	89,0 ± 0,4	61,7 ± 0,4	64,3 ± 0,8	245	198	2	1	546 ± 4	476 ± 3

Continuação

pH		CE (μ S cm ⁻¹)		STD (mg L ⁻¹)		S (%)	
Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
7,25	6,10	1690	1672	779	723	0,78	0,72

5.6 MODELO DE ADSORÇÃO

As isotermas de sistemas líquido/sólido podem ser classificadas de acordo com suas formas determinadas pelo mecanismo de adsorção podendo esta classificação pode ser usada para definição da natureza da adsorção.

Experimentos foram realizados para determinar as isotermas de adsorção para o sistema monocomponente sódio em umbu em três temperaturas controladas : 30, 40 e 50°C a partir de uma concentração inicial de 270 mg/L de sódio (salinidade $\approx 0,5 \text{ ‰}$) e agitação a 8 rpm. Após agitação por 10 min, para garantir que o equilíbrio da adsorção fosse atingido, a quantidade de sódio removida por unidade de massa do umbu como adsorvente foi determinada por fotometria de chama. A Figura 36 mostra as formas das isotermas obtidas nos experimentos. Em seguida ajustou-se aos modelos de Langmuir (equação 1.1) e Freundlich (equação 5.1) obtendo as isotermas de sódio em umbu como mostra as figuras 37 e 38 respectivamente.

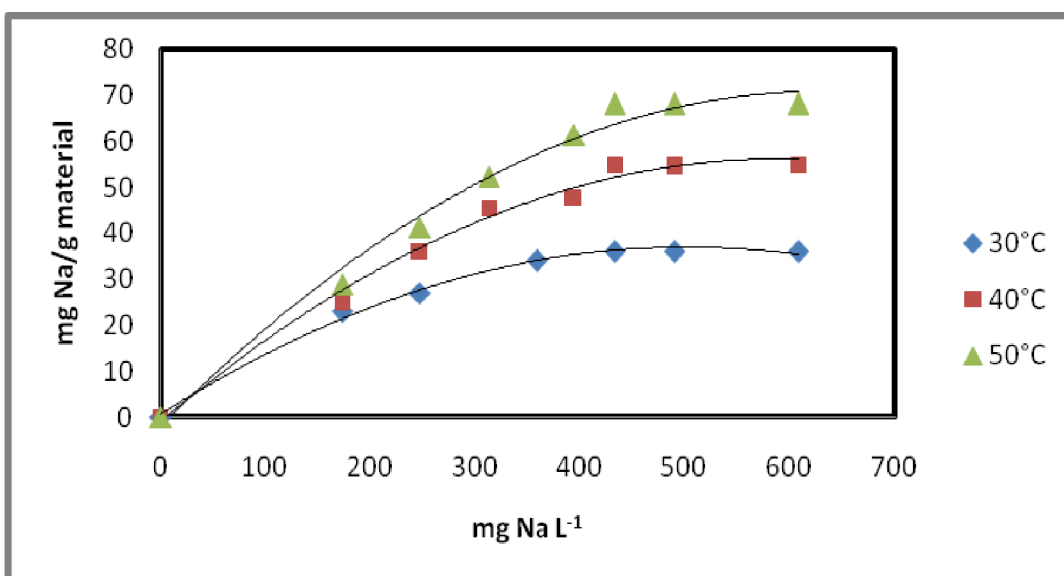


Figura 36- Isotermas de adsorção: concentração de sódio adsorvido no material em função da sua concentração de sódio na solução a 30, 40 e 50°C. ($C_0 = 170 \text{ mg/L}$ e agitação 8 rpm).

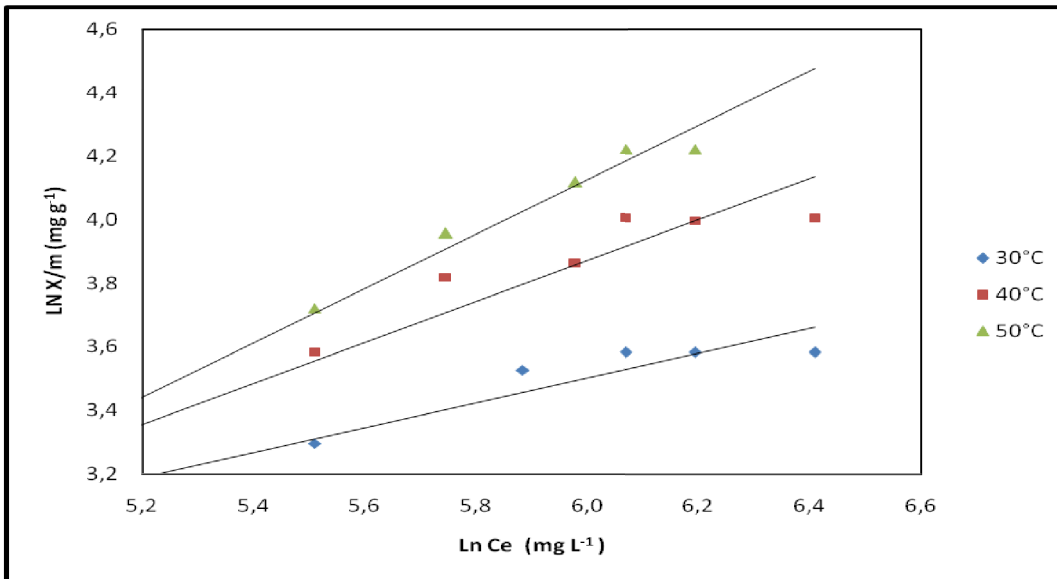


Figura 37 - Isotermas de adsorção ajustadas ao modelo de Freundlich ($C_0 = 170$ mg/L, agitação 8 rpm).

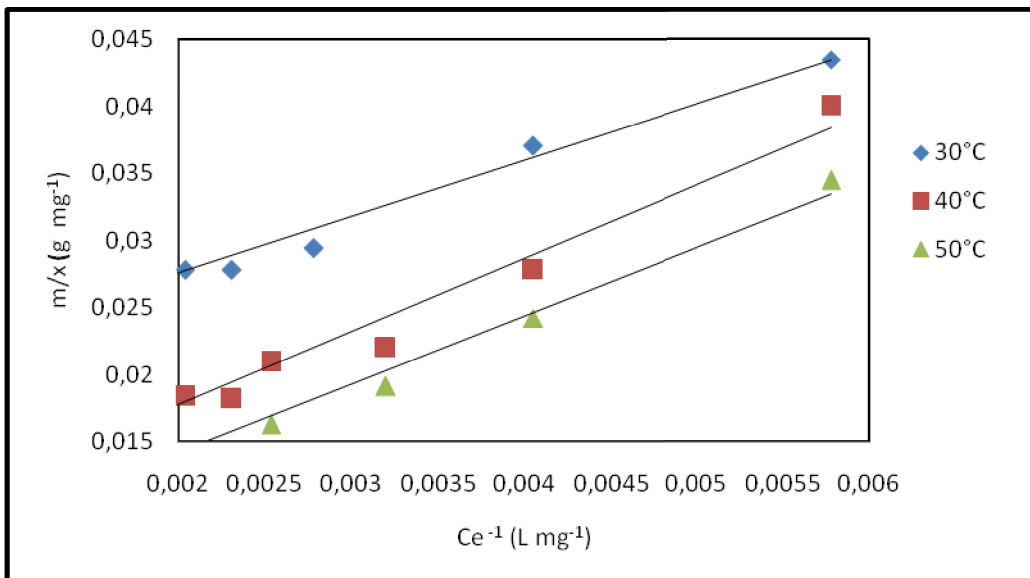


Figura 38 - Isotermas de adsorção ajustadas ao modelo de Langmuir. ($C_0 = 170$ mg/L, agitação 8 rpm).

Observa-se através da curva apresentada na Figura 36 que com o aumento da temperatura de 30 para 50° C houve o aumento da capacidade de adsorção. Os parâmetros dos modelos de adsorção de Langmuir e Freundlich foram calculados e aparecem na Tabela 8. De acordo com

os dados experimentais registrados nesta tabela os resultados para a linearização de Freundlich não foram satisfatórios, com um coeficiente de correlação linear (R^2) baixo. Já para o modelo de Langmuir os resultados obtidos mostraram-se adequados acima de 0,956.

Tabela 8 - Parâmetros de equilíbrio das isotermas dos modelos de Langmuir e Freundlich.

T (°C)		30	40	50
Langmuir	K_L (L mg ⁻¹)	0,0046	0,0011	0,0009
	$C_{m\acute{a}x}$ (mg g)	52,6	165	250
	R^2	0,968	0,956	0,971
Freundlich	K_F (mg L ⁻¹)	3,15	1,01	2,72
	n	2,55	1,55	1,17
	R^2	0,914	0,904	0,902

O parâmetro $C_{m\acute{a}x}$ da equação de Langmuir tem sido usado para estimar a adsorção máxima e K_L é a constante de adsorção de Langmuir relacionada à energia de ligação soluto-superfície adsorvente. Quanto menores os valores de K_L mais deslocado para direita (formação do complexo adsorbato-adsorvente) estará o equilíbrio envolvido no processo. A linearização para esse modelo mostrou boa correlação, o que indica um sistema de adsorção em monocamadas. O $C_{m\acute{a}x}$ obtido aumentou de 52,6 para 250 mg g⁻¹, com o aumento da temperatura de 30 para 50°C e K_L diminuiu com o aumento da temperatura (tabela 8), indicando que a interação entre adsorbato e adsorvente é maior em temperaturas mais elevadas.

O estudo da adsorção de sódio em umbu usando o modelo de Langmuir permitiu estimar a capacidade máxima de adsorção do sódio no umbu: 52,6, 165 e 250 mg g⁻¹ nas temperaturas de 30, 40 e 50°C respectivamente (tabela 8). Desta forma, de acordo com este modelo, utilizando 1 L de cada uma das águas salobras do Semi Árido baiano, usadas nesse trabalho como amostras reais, as quais contêm respectivamente 245, 159 e 267 mg/L Na, todo o Na de

1 L de cada uma dessas águas se aquecidas a 50°C poderá ser removido com apenas cerca de 1g de semente de umbu.

Baseando nos dados obtidos pelo modelo de Langmuir e considerando-se a concentração de NaCl em águas de diferentes salinidades construiu-se curvas em função da massa de umbu requerida para remoção de todo o NaCl das águas nas temperaturas de 30, 40 e 50°C (figura 39). A massa de sementes de umbu seca necessária para remoção do sal em cada litro de água em diferentes temperaturas, também pode ser estimada pelas equações dessas curvas apresentadas na tabela 9.

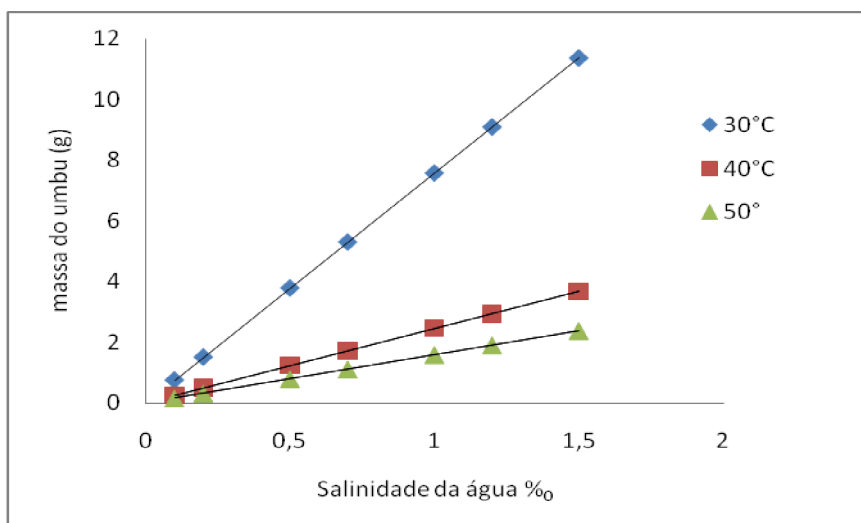


Figura 39 – Massa do umbu requerida para remoção de sal por litro de água salobra em função da salinidade e diferentes temperaturas: 30, 40 e 50°C.

Tabela 9 - Equações para estimar a massa de umbu (Y) em gramas necessária para remoção do sal em água salobra de diferentes salinidade (X) cada litro de água e diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Equação
30	$y = 7,575x$
40	$y = 2,457x$
50	$y = 1,592x$

5.7 CÁLCULO DOS PARÂMETROS TERMODINÂMICOS DA ADSORÇÃO

De acordo com os resultados apresentados tabela 10, para a constante de equilíbrio de Langmuir, verifica-se que K_L diminui com o aumento da temperatura. Esta observação esta de acordo com o comportamento exotérmico da adsorção, sendo possível estimar o calor de adsorção ΔH , a variação de entropia ΔS e a variação da energia livre de ΔG usando a equação de van't Hoff na forma integrada (equação 4). Desta forma construiu-se o gráfico de $\ln K_L$ versus $1/T$ (figura 40 encontrando-se os parâmetros termodinâmicos mostrados na tabela 10).

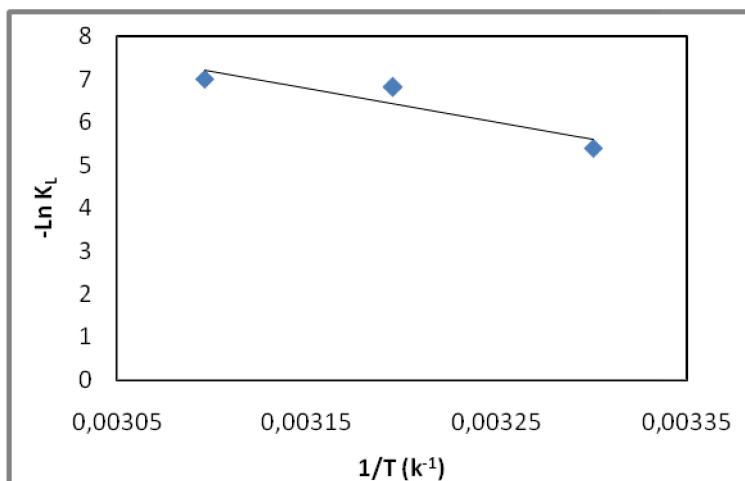


Figura 40 - Efeito da temperatura na constante de equilíbrio de adsorção de umbu em água salobra (valores de K 's determinados pela isoterma de Langmuir, tabela 10).

Tabela 10 - Parâmetros termodinâmicos obtidos a partir dos resultados da adsorção de sódio em umbu.

Temperatura °C	$-\Delta G^\circ$ (kJ mol^{-1})	$-\Delta S$ ($\text{kJ K}^{-1}\text{mol}^{-1}$)	$-\Delta H$ (kJ mol^{-1})
30	167	0,655	66,4
40	172		
50	178		

O valor da energia livre (ΔG), além de medir a força que guia determinada reação, também indica quão distante do equilíbrio está o estado inicial do sistema. Os valores negativos de ΔG obtidos neste experimento (Tabela 10) indicam que as formas adsorvidas são mais estáveis que aquelas em solução.

O valor de entalpia de adsorção (ΔH) obtido de $66,4 \text{ kJ mol}^{-1}$, é menor que a entalpia de adsorção química, que é em torno de 80 kJ mol^{-1} . Valores de ΔH em torno de 40 kJ mol^{-1} indicam um processo de adsorção física (AROGUZ, 2006). Valor negativo de ΔH confirma a natureza exotérmica do processo de adsorção do sódio em umbu, enquanto o valor negativo de ΔS sugere que durante o processo de adsorção o estado adsorvido bidimensional é mais ordenado que anteriormente no estado livre tridimensional (LIU, 2005). Logo houve um aumento da ordem na interface sólido-solução e o processo da adsorção de sódio em umbu é espontâneo.

6. CONCLUSÕES

A semente de umbu (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam.*) apresentou características mais adequadas para ser usada como material dessalinizador de água salobra: maior capacidade de adsorção de sais da água, principalmente quando seca a 250° C, por 1 hora; menor teor original de sais, facilitando sua purificação prévia; encontrado facilmente em grandes quantidades na região semi-árida baiana.

Quando secas a 250° C, sementes de umbu (*Spondndias Tuberosa Cheg. Cam*) e umburana (*Erythrina verna Vell*) tem praticamente a mesma capacidade de sorção de sódio da água. No entanto, originalmente o umbu é praticamente isento de sais (cerca de 10 µg/g Na ou 10⁻³ %), enquanto que a umburana necessita de limpeza prévia para retirada de sais originais (cerca de 950 µg/g Na).

O Mulungu (*Erythrina verna Vellpois*) e a Algaroba (*Prosopis juliflora*) absorvem mais de 20% de sódio da água quando secos acima de 150° C. No entanto, o primeiro contém teor elevado de sais (1700 µg/g Na) e sobre o segundo sabe-se da literatura que causa doenças do sistema nervoso central em animais cuja alimentação incorporou elevados teores de Algaroba.

Testes com o dispositivo caseiro com águas salobras reais e material biológico umburana e mulungu revelaram que há um aumento considerável nas concentrações de Mg⁺² e Ca⁺² na água, aumentando os valores de STD e CE. Estes dois tipos de sorventes adicionam Mg⁺² e Ca⁺² à água após o contato, embora retirem o sódio da mesma com razoável eficiência. Dessa forma há um considerável aumento da dureza da água usando aquelas sementes.

No uso da semente de umbu como material dessalinizador o percentual de redução da dureza da água foi de 37% em média quando aplicado a águas salobras.

Um estudo do reuso da semente de umbu como material dessalinizador mostrou um alto custo benefício desta operação em função da quantidade de água necessária para a limpeza de todo material biológico.

O dispositivo caseiro desenvolvido para dessalinização de água, em pequenas quantidades, suficientes para o uso familiar em dessedentação humana, a partir da semente de umbu tratada segundo indicação neste trabalho pode transformar água de baixa salobridade, mas imprópria para beber ($> 0,5$ a $\approx 1,5$ ‰) em água doce e baixar a característica de águas altamente duras a águas com padrões de aceitação de consumo humano.

O estudo termodinâmico do processo da adsorção de sódio em umbu permitiu encontrar, o valor de entalpia de adsorção (ΔH) de $- 66,4 \text{ kJ mol}^{-1}$, indicando que o processo de adsorção é físico de natureza exotérmica, enquanto o valor negativo de ΔS sugeriu que o processo é espontâneo.

O estudo da adsorção dos sais em umbu realizado para explicar o processo de dessalinização da água salobra usando-se material produzido por secagem e moagem da semente do umbu, atendeu ao modelo de Langmuir e permitiu estimar a capacidade máxima de adsorção de sódio pelo umbu a 30, 40 e 50°C em: 52,6, 165 e 250 mg g^{-1} respectivamente. Desta forma, 1 L de água salobra de salinidade entre 0,6 e 1,2‰, como aquelas do Semi Árido baiano testadas, pode ter seu teor de sal removido com apenas 1g daquelas sementes tratadas segundo indicação neste trabalho e aquecendo a água a 50°C.

7. FINALIZAÇÃO DO TRABALHO

Serão feitos contatos com líderes das comunidades usuárias da água de interesse do estudo na da Bacia do Rio Salitre, no sentido de programar reuniões/seminários para divulgação do dispositivo dessalinizador, quando será distribuído sob forma de “receita” um protocolo caseiro para aplicação do processo de dessalinização caseiro indicado neste trabalho.

8. ESTUDOS FUTUROS

-Estudo do reuso do material dessalinizador em alimentação de animais da região do Semi Árida baiano.

-Investigação do(s) principal(is) componente(s) responsável(is) pela adsorção de sal na semente do umbu.

REFERÊNCIAS

Alencar, A. P.; Fari, M.; Melo, N. F. **Estudo da distribuição floral e da formação de frutos do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.)**. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 48. 1997, Crato. Resumos. Fortaleza: CNB, 1997. p. 14.

Amorim, M. C. C.; Porto, E. R.; Silva Júnior, L. G. A. **Evaporação solar como alternativa de reuso dos efluentes da dessalinização por osmose inversa**. <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-007.pdf>. 17 agost 2008.

ANA- Agencia Nacional de Águas- **Relação demanda/disponibilidade de água nas 12 regiões hidrográficas brasileiras**. Disponível em: www.ana.gov.br/SalaImprensa/anexos/not230-anexo1.pdf
Acesso: 07 abr 2009.

Andrade A. M. et al.; **Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos Nucifera* Linn) e Análise do Carvão Vegetal**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.5, p.707-714, 2004.

Andrade, P. L. ; Silva, Ricardo O. ; PAIXAO, J. A.; Bandeira, A. R. G. ; Schwartz, M. O. E. . **O uso da semente de *Cucurbita Pepo* L (*Jerimum*) como fonte de vitamina e na prevenção de câncer de próstata**. In: I Congresso Norte e Nordeste de Química, 2007, Natal. Anais do I Congresso Norte Nordeste de Química, 2007.

Apodi.info, **Os dessalinizadores são uma alternativa eficiente e sustentável para as áreas mais atingidas pela escassez de água**. Disponível em: http://www.apodi.info/index.php?option=com_content&task=view&id=1335&Itemid=1. Acesso: 18 out 2008.

Aroguz, A. Z.; J. Hazard. Mater. 2006, 35, 100.

Associação dos Geógrafos Brasileiros. **Embrapa utiliza rejeito dessalinizadores para criar peixes e caprinos**. <http://geocities.yahoo.com.br/agbcg/dessali.htm>. 10 Jul. 2004.

Borba, C. E. **Modelagem da remoção de metais pesados em coluna de adsorção de leito fixo**. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 2006.

Borges, S. V.; Maia, M. C. A.; Gomes, R. C. M. e Cavalcanti, N. B. QN, 2007, 30, 49.

Brasil. Fundação Nacional de Saúde, **Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**, Portaria nº 1.469. Brasília, 2001. 32 p. Disponível em: http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf. Acessado em 11 nov 2008.

Brasil. Fundação Nacional de Saúde. **Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Brasília. 2001.32 p. Disponível em: http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf. Acessado em 19 out 2008.

Brito, L.T. de L. **Avaliação de impactos das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Salitre, BA, e classificação das fontes hídricas**. Campina Grande:UFCG, 2003. 184p. Tese Doutorado.

Brito, Luiza Teixeira de Lima ; SILVA, Aderaldo de Souza ; SRINIVASAN, Vajapeyam S ; et al. **Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas superficiais da bacia hidrográfica do Salitre**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, SP, v. 26, n. 1, p. 58-66, 2006.

Brito, Luiza Teixeira de Lima; Srinivasan, Vajapeyam S. et al . **Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Salitre**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2005, vol.9, n.4, p. 596-602

Brum S. S.; Bianchi M. L.; Silva V. L. et al **Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café**. Quim. Nova, Vol. 31, No. 5, 1048-1052, 2008.

Buros, O, K. **Dessalting ABC's International Desalination Association Topsfeld,** Massachusetts, USA, 1990. Campina Grande,PB, v. 9, n. 4, p. 596-602, 2005a.

Campos R. T. **Avaliação benefício-custo de sistemas de dessalinização de água em comunidades rurais cearenses**. RER, Rio de Janeiro, v. 45, nº 04, p. 963-984, out/dez 2007.

Canuto K. M.; Silveira E. R.; **Constituintes químicos da casca do caule de amburana cearensis A.C. Smith Quim.** Nova, Vol. 29, No. 6, 1241-1243, 2006

Carvalho, P. **Água Potável Via Energia Solar**. Ciência Hoje , Rio de Janeiro, v. 27 nº 158, pg 72-74, 2000.

Carvalho, P. E. R.; **Espécies Florestais Brasileiras: Recomendações Silviculturais, Potencialidades e Uso da Madeira**, EMBRAPA: Brasília,1994.

Cavalcanti Mata M. E. R. M. et al. **Microencapsulamento do umbu em pó: estudo do tamanho das partículas por microscopia eletrônica**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.7, n.1, p.59-70, 2005

Centro de Estatística e Informação (CEI). **Avaliação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas do Estado da Bahia: Bacia do Rio Salitre**. Salvador, 1986. 2v.

Cheremisinoff, P.N., Ellerbusch, F. **Carbon adsorption handbook**. Ann Arbor Science 1 Ed, 1978.

Clarke, Robin e KING, Jannet. **O atlas da água**. São Paulo: Publifolha, 2005. 128 p.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio, Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005.

Costa N. P.; Luz, T. L. B.; Bruno R. L. A. **Caracterização físico-química de frutos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Câm.), colhidos em quatro estádios de maturação.** Biosci. J., Urbelândia, v. 20, n 2, p. 65-71, 2004

Cravo, J. G.; CARDOSO, H. E, **Dessalinização de águas: conceitos e aplicações no Brasil.** A Água em Revista, CPRM/Belo Horizonte (MG), v. 7, n.11, p. 4 – 20, 1999.

D'almeida, A.L.S.; CALDO, V.; BARRETO, D.W. **Acetilação da fibra de bucha (*Luffa cylindrica*).** Polímeros: Ciências e Tecnologia, São Carlos, v.15, n.1, p.59-62, 2005.

Dickmann, L; Carvalho M. A. C.; Braga L. F. et al **Comportamento de sementes de girassol (*Helianthus Annuus L.*) submetidas a estresse salino** Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta, v.3, p.64-75, 2005

Droguett, S. **Elementos de Catalisis Heterogenea.** Serie de Química. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos, Monografía N° 26 1983.

Drumond, M. A. Kiill, L. H. P. Lima, P. S. F. **Estratégias para o uso Sustentável da Biodiversidade da Caatinga. In: Workshop Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do Bioma Caatinga.** Petrolina, 2000. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br>>. Acesso em: 01 nov. 2008.

Duffie, J. A.; Beckman, W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes** (inglês) 2 ed. USA: Wiley-Interscience, 1991. 919p.

FAO. FAOSTAT: **Statistical database.** Disponível em: <http://www.faostat.fao.org>>. Acesso em: 15 nov. 2003.

Fernandes, P. D., Gheyi H. R., Medeiros, S. S. **Workshop “Uso e Reuso de Águas de Qualidade Inferior - Realidade e Perspectivas.** Campinas Grande, 2005.

Ferreira Filho, W. M., 1994, **Água subterrânea e desenvolvimento sustentável do Semi-Árido Nordeste, ÁRIDAS, SEPLAN/PR, Brasília.**

Ferreira Filho, W.M., **Água subterrânea e desenvolvimento sustentável do Semi- Árido Nordeste, ÁRIDAS, SEPLAN/PR, Brasília, 1994.**

Ferreira M. A. J. F.; **As abóboras (*C. moschata*), morangas e abobrinhas: estratégias para coleta, conservação e uso** 2007. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2007/artigo.2007-04-10.7554499366/> Acesso em: 10 nov 2008

Figueiredo, A. A.; Schmidt, R. **Rheological behavior of mesquite seed gum (MSG) in presence of some food ingredients.** Revista Universidade Rural, Série Ciências da Vida, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1-2, p. 17-21, 1999.

Freire, A. de L.; Menino, I.B.; Filho, J.B.; Neto, M.B. **Sistema de Produção do Girassol para as Mesorregiões do Agreste Paraibano e da Mata Paribana**. João Pessoa: EMEPA, 2007. 17 p.

Furtado, F. N. **Aproveitamento de rejeito de dessalinizadores de água na irrigação de *Atriplex nummularia* Lindl. (Erva Sal)**. Fortaleza, 2000. Originalmente apresentada com dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará.

Germek, H.A. **Influência da época de semeadura na produção da cultura da bucha (*Luffa cylindrica* Roem)**. 1996. 133p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)– Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo.

Ghebremichael, K. A.; Gunaratna, K. R.; Henriksson, H.; Brumer H.; Dalhammar, G.; **A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed**. Wat.Res., v.39, p 2338-2344, 2005.

Gomes, E. C. S.; Vitor, F.C. R.; Peraz, J. O. et al. **Plantas da Caatinga de uso Terapêutico, levantamento etnobotânico**. Engenharia Ambiental - Espírito santo do Pinhal, V. 5, n. 2, p. 074-085, mai/ago 2008.

Grassi M. T. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola **Águas no planeta Terra** Edição especial – Maio 2001

GRH, Universidade Federal da Bahia (UFBA) Departamento de Hidráulica E Saneamento da Escola Politécnica / Grupo de Recursos Hídricos (GRH).Projeto: **Monitoramento da Qualidade da Água Para o Desenvolvimento Sustentável do Semi-Árido**. Relatório Final Ministério do Meio Ambiente (MMA), Salvador, Julho/2001.

GRH. Universidade Federal da Bahia (UFBA)/ Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica / Grupo de Recursos Hídricos (GRH).Projeto: Gerenciamento de Recursos Hídricos do Semi Árido do Estado da Bahia. Sub Projeto **“Enquadramento de Rios Intermitentes – Estudo de Caso Rio Salitre”**. Relatório Final - CNPq, Salvador, Abril /2004.

Guerra L. Políticas e Ações de Infra-Estrutura Para a Região Nordeste Temática: Recursos Hídricos – **Projeto Estruturante de Políticas e Ações de Infra-Estrutura para a Região Nordeste**, Fortaleza – Ceará, Dez 1998.

Guiselini C. Silva, I. J. O.;S Piedade S. M. **Avaliação da Qualidade do Sombreamento Arbóreo no Meio Rural**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.3, p.380-384, 1999.

Gurgel, H. C. **Gestão do Rejeito do dessalinizador para o consórcio Piscicultura/Forrageicultura no Distrito de Juá, Ceará**. Universidade federal do Ceará, Fortaleza-Ce. 2006

Homem, E. **Remoção de chumbo, níquel e zinco em zeólita utilizando sistema de leito fluidizado**. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 2001.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 5 out. 2004.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Produção Extrativa Vegetal Tabela 289 Quantidade produzida na extração vegetal 1.8 - Umbu (fruto) (Tonelada) Ano. 1990 a 2001. **Banco de Dados Agregados**. Disponível: www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=289. Acessado em 09 nov. 2008.

Laraque, A. **Estudo e previsão da quantidade de água de açudes do nordeste semi-árido brasileiro**. Recife: SUDENE, 1989. 65 p. Série Hidrológica, 26.

Leite, R. M. B. C; Brighenti, A. M; Castro, C. **Girassol no Brasil**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2005.

Leprun, J.C. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste**. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação de solos do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE, 1983. p.91-141.

Letterman, R.D. **Water quality and treatment: a handbook of community water supplies**. 5 Ed. New York: McGraw-Hill: American Water Works Association, c1999. 1 v.

Lima, N. B.; Trzeciak, M. B.; Vinholes, P. S.; Neves, M. B. das; Villela, F. A. **Perfil Fisiológico de Sementes de *Terminalia Catappa***. L. XVI-CIC. Pesquisa e responsabilidade Ambiental. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS. 2007

Liu, C. C.; Kuang-Wang, M.; Li, Y. S.; Ind. Eng. Chem. Res. 2005, 44, 1438.

Lunardi, D.M.C., Klosowski, E. S., Sandanielo A. **Consumo hídrico e coeficiente de cultura da abóbora italiana na Região de Botucatu-Sp**. Rev. Bras. Agrometeorologia, v. 7, n. 2, p. 179-182, 1999

Mahgoub, O. et al. **Evaluation of Meskit (*Prosopis juliflora*) pods as feed for goats**. **Animal Feed Science and Technology**. v. 121, n. 3-4, p. 319-327, 2005.

Maia, G. N.; **Caatinga: Árvores e Arbustos e Suas Utilidades**, D & Z Ed.: São Paulo, 2004.

Maluf, A. P. ; **Destiladores Solares no Brasil**; Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais – Brasil. 2005. Monografia.

Mansur K; Guimarães P. V.; Guedes E. **A distribuição da água no nosso Planeta**. Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br/item.asp?chave=115>. Acesso em 08 agost 2008.

Mantuano, C. **Propriedades da milagrosa abóbora ou Cucurbita Pepo** 2004. Disponível em;<<http://www.saborearte.com>> Acesso em : 10 jul 2004.

Masel, R. **Principles of Adsorption and Reaction on solid Surfaces**. Wiley Series in Chemical Engineering. 1 Ed. 1996.

Mazali, I. & Alves, O.L. **Morphosynthesis: high fidelity inorganic replica of the fibrous network of loofa sponge (*Luffa cylindrica*)**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 77, n. 1, 2005.

Melo R. R.; Cunha M. C. L. **Crescimento inicial de mudas de mulungu (*Erythrina velutina* Wild.) sob diferentes níveis de luminosidade**. *Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais* V. 4 N. 1 Jan./Abr. 2008

Mendes, F. M. ; Coelho, N. M. M. **Estudo Do Uso Da Moringa Oleifera Para Remoção De Prata E Manganês Em Águas**. *Horizonte Científico*, v. 1, p. 1-18, 2007.

Método das adições de analito para a determinação de sódio em álcool combustível por espectrometria de emissão atômica em chama. *Eclet. Quím.*, v.27, p.285-291. 2002.

Micromacro. **Água - Distribuição, Disponibilidade e Abundância**. Disponível em: http://www.micromacro.tv/saber_mais_agua-02.htm. Acesso em 15 out. 2008

Moreira, Francisco José Carvalho ; INNECCO, Renato ; SILVA, Maria Arlene Pessoa da ; MEDEIROS FILHO, Sebastião . **Tratamentos pré-germinativos em sementes de bucha (*Luffa cylindrica* Roemer)**. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, p. 233-238, 2007

Moreno-Castilla, C. et al. **Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials**, v.42, p.83-94, 2004.

Naglis, M.M.M. & D'almeida, J.R.M. **Aspectos do emprego de fibras naturais como reforço em compósitos: análise da morfologia da *Luffa cylindrica***. In: Anais do 4o MICROMAT, p. 575, São Carlos, out. 1994.

Nóbrega, J. A; A. Okumura, F.; Cavaleiro, E. T. G. **Experimentos simples usando fotometria de chama para ensino de princípios de espectrometria atômica em cursos de química analítica**. *Quim. Nova*, v. 27, n. 5, p. 832-836, 2004.

Nues M. U. C.; Santos, J. R.; Santos, T. C. **Tecnologia para Biodegradação da Casca de Coco Seco e de Outros Resíduos do Coqueiro**. Circular técnica 46. Aracajú - Se. 2007.

Ogbonna, J.C.; L.I, Y.C.; Liu, Y.K.; Tanaka, H. **Lofa (*Luffa cylindrica*) sponge as a carrier for microbiological cell immobilization**. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, v.78, n.6, p. 437-442. 1994.

Okuda, T.; Baes, A.U.; Nishijima, W.; Okada, M. **Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed**. *Wat. Res.*, v.33, n.15, p 3373-3378, 1999.

Oliveira, A. P.; Okumura, L. L.; Neto, J. A. G.; Moraes, M. **Avaliação do método das adições de analito para a determinação de sódio em álcool combustível por espectrometria de emissão atômica em chama**. *Eclet. Quím.*, v.27, p.285-291 2002.

Oliveira, J. I. R. **Estudos Da Contribuição Potencial Do Solo No Processo De Salinização De Águas Superficiais Em Uma Pequena Bacia Hidrográfica Do Semi-Árido Bahiano**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

Osava M. **Água limpa e sem sal no nordeste do Brasil**, Disponível em: <http://www.tierramerica.net/portugues/2007/0127/pacentos.shtml>. Acesso em 15 nov. 2008.

Oscik, J.; COOPER, I.L. **Adsorption**. John Wiley & Sons, 1982. MASEL, R. Principles of Adsorption and Reaction on solid Surfaces. Wiley Series in Chemical Engineering. 1 Ed. 1996.

Osmose. In: Enciclopédia **Wikipédia**. Disponível em: <<http://www.pt.wikipedia.org>>. Acesso em: 17 out. 2008.

Pereira Junior J. S. **Dessalinização de Água do Mar do Litoral Nordestino e Influência da Transposição de Água na Vazão do Rio São Francisco**. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Brasil. fev 2005.

Perry, J. **Manual del Ingeniero Químico**, Capítulo 16, Mc Graw Hill, 6 Ed, 1998.

Pessoa, L. C. C. **Análise do desempenho e do impacto ambiental de Dessalinizadores por osmose reversa instalados no interior do Ceará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

Portaria do Ministério da Saúde N° 518/04. **Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: http://www.saude.ba.gov.br/divisa/arquivos/legislacao/Portaria_MS_518-04.pdf. Acesso em 05 fev 2009.

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 semiárido brasileiro**, 1., 1997, Petrolina. A captação de água de chuva: base para viabilização do semi-árido brasileiro. Anais. Petrolina: Embrapa Semi-Árido/IRPAA/IRCSA, 1999. p.51-57.

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

Rebouças, A. C. **Água e desenvolvimento rural**. In: Estudos Avançados, v. 15, set/dez., p. 327-344, 2001a.

Rebouças, A. C. **Água na região Nordeste: desperdício e escassez**. In: Estudos_avançados, São Paulo. v. 11, p.29, 1997b.

Rios, J. P. Disponível em: <http://www.ecoviagem.com.br/ecoartigos>. Acessado em 10 nov 2008.

Robinson, R.W. **Cucurbits**. British Library: London. 1997, 217 p.

ROCHE. **Vitamina A**. Disponível em: <http://www.roche.pt/vitaminas/vitamina/a.cfm>> Acessado em: 02 nov 2008

Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Água do mar e água salobra são alternativas para a escassez da água em algumas regiões**, 2006. Disponível em:

<<http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=sabesp&pub=T&db=&docid=FA6CEC90E39669E5832571C600637D19>>. Acesso em 10 out. 2008.

Sales, J. A. A.; Airoidi, C.; **J. Non-Cryst. Solids** 2003, 142, 330.

Sales, J. A. A.; Airoidi, C.; **Thermochim. Acta** 2005, 77, 427.

Saturnino, H.M.; Gonçalves, N.P.; Silva, E. De B. **Informações sobre a cultura do umbuzeiro**. Nova Porteirinha, MG: EPAMIG-CTNM, dez. 2000. 6p. (EPAMIG-CTNM. Circular, 8).

Silva Junior, L. G. A; Gheyi H. R. Medeiro, J. F. **Composição Química de Águas do Cristalino do Nordeste Brasileiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.11-17, 1999.

Silva, C. G. et al. **Extração e Fermentação do Caldo de Algaroba (Prosopis juliflora (Sw) DC) para obtenção de aguardente**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 51-56, 2003a.

Silva, L. F. et al. **Efeitos da farinha de algaroba (Prosopis juliflora) durante as fases de gestação e lactação em ratos wistar**. Acta Scientiarum. Biological Sciences, Maringá, v. 25, n. 2, p. 459-465, 2003b

Silva, S. A. et al. **Estudo termogravimétrico e calorimétrico da algaroba**. Química Nova, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 460-464, 2001c.

Silvestre, M. E. D. **Água doce no Brasil: razões de uma nova política**. 2002. 134 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

Soares T. M.; Silva I. J. O.; Duarte S. N.; Silva E. F. F. **Destinação de águas residuária provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa**. Revista Brasileira Engenharia Agrícola. Ambiental, v.10, n.3, p.730–737, 2006.

Stansell, J.R.; Smittle, D.A. Effects of irrigation regimes on yield and water use of summer squash. **Journal of American Society of Horticulture Science**, New York, v. 114, n.2, p. 196-199, 1989.

Suassuna, J. **Recursos Hídricos no Nordeste: a necessidade de gerenciamento, artigo** 2004

Tchobanoglous, G.; Burton, F. L.; Stensel, H. D. Metcalf & Eddy. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**. 4 Ed. Boston, McGraw- Hill, Inc. 2003. 1819 p.

Tsiourtis, N. X. **Desalination and the environment**, Desalination, v.141, p.223-236. 2001.

UFPE - Universidade Federal de Pernambuco; Fundação de Apoio ao Desenvolvimento; Conservation International do Brasil; Fundação Biodiversitas; EMBRAPA semi-árido.

Avaliação de ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da caatinga. Brasília: MMA/SBF, 2002. 36p.

United Nations.

http://www.un.org/esa/population/publications/pop_challenges/Population_Challenges.pdf. 2005. Acesso em: 16 nov 2008.

Weiner, Eugene R. **Applications Environmental Aquatic Chemistry: A Practcal Guide**. 2nd Ed. CRC. 2000. p. 74-77

ANEXOS

ANEXO A - Modelo de questionários aplicados em comunidades da região de estudo para seleção de sementes indicadas como mais abundantes.

Nome _____
 Endereço _____ Cidade _____
 Fone () _____ email: _____

Questionário do Projeto DASSA

1. Qual a origem da água que essa comunidade bebe?

() Água do poço () Água encanada () Água do Rio () Água da chuva () Outros

2. Você tem idéia da qualidade da água que bebe freqüentemente? () SIM () Não

3. Em caso positivo, como é essa água?

() Pouca salobra () Salobra () Muito salobra () Doce

4. Existe Estação de tratamento de água nessa região? () SIM () Não

5. Existe dessalinizadores de água nessa localidade? () SIM () Não

6. Em caso positivo, qual o tipo de dessalinizador? _____

7. O dessalinizador funciona regulamente? () SIM () Não

8. Existe manutenção rotineira para o dessalinizadores? () SIM () Não

9. Em caso positivo quem dá essa manutenção? _____

10. Durante quanto tempo o dessalinizador funciona até quebrar novamente?

11. Esta funcionando no momento? () SIM () Não

12. O que é feito com os rejeitos do dessalinizadores? _____

13. Existe na comunidade o habito de se fazer alguma coisa para melhorar a qualidade da água de bebe? () SIM () Não

14. Conhece umburana e moringa? () SIM () Não

15. Conhece alguma semente, folha de plantas ou qualquer outro material biológico que absorva o sal da água salobra? () SIM () Não

16. Em caso positivo, qual e onde podemos encontrar esse material?

ANEXO B - Memória de cálculo das determinações volumétricas de Ca^{+2} e Mg^{+2}

SEMENTE DE UMBU – AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA Nº1

Nº do Erlenmeyer	Alíquota de Amostra (mL)	Antes*		Depois*	
		EDTA V_{Ca} (mL)	Conc. (Mol Ca L ⁻¹)	EDTA V_{Ca} (mL)	Conc. (Mol Ca L ⁻¹)
1	10	1,96	0,002940	1,29	0,00194
2	10	1,94	0,002910	1,30	0,00195
3	10	1,97	0,002955	1,31	0,00196
Média (antes) = (2,93 ± 0,02) mmol Ca L⁻¹					
Média (depois) = (1,95 ± 0,04) mmol Ca L⁻¹					
Dados: Con.(EDTA) = 0,015 molL⁻¹					

Nº do Erlenmeyer	Alíquota de Amostra (mL)	Antes*		Depois*	
		EDTA $V_{(\text{Mg} + \text{Ca})}$ (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)	EDTA $V_{(\text{Mg} + \text{Ca})}$ (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)
1	10	3,65	0,002550	2,51	0,001830
2	10	3,59	0,002580	2,50	0,001815
3	10	3,69	0,002595	2,51	0,001830
Média (antes) = (2,57 ± 0,02) (mmol Mg L⁻¹)					
Média (Depois) = (1,83 ± 0,01) (mmol Mg L⁻¹)					

(*) antes ou depois de passar pelo dispositivo com a semente especificada

SEMENTE DE UMBU – AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA Nº2

Nº do Erlenmeyer	Alíquota de amostra (mL)	Antes*		Depois*	
		EDTA V_{Ca} (mL)	Conc. (mol Ca L ⁻¹)	EDTA V_{Ca} (mL)	Conc. (mol Ca L ⁻¹)
1	10	2,62	0,003930	1,28	0,001920
2	10	2,61	0,003915	1,29	0,001935
3	10	2,60	0,003900	1,29	0,001935
Média (antes)= (3,91 ± 0,01) mmol Ca L⁻¹					
Média (depois)= (1,93 ± 0,01) mmol de Ca L⁻¹					

Nº do Erlenmeyer	Alíquota de amostra (mL)	Antes		Depois	
		EDTA $V_{(Mg+Ca)}$ (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)	EDTA V_{f2} do Mg (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)
1	10	4,11	0,002250	2,61	0,001980
2	10	4,09	0,002200	2,59	0,001950
3	10	4,11	0,00225	2,6	0,001965
Média (Antes) = (2,24 ± 0,02) mmol Mg L⁻¹					
Média (depois) = (1,96 ± 0,02) mmol Mg L⁻¹					

(*) antes ou depois de passar pelo dispositivo com a semente especificada

SEMENTE DE UMBU – AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA Nº3

Nº do Erlenmeyer	Alíquota de amostra (mL)	Antes		Depois	
		EDTA V_{Ca} (mL)	Conc. (mol Ca L ⁻¹)	EDTA V_{Ca} (mL)	Conc. (mol Ca L ⁻¹)
1	10	1,87	0,002805	1,4	0,002100
2	10	1,89	0,002835	1,4	0,002100
3	10	1,91	0,002865	1,5	0,002250
Média (antes) = (2,83 ± 0,03) mmol Ca L⁻¹					
Média (depois) = (2,10 ± 0,01) mmol de Ca L⁻¹					
Nº do Erlenmeyer	Alíquota de amostra (mL)	Antes		Depois	
		EDTA $V_{(Mg+Ca)}$ (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)	EDTA V_{f2} (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)
1	10	4,31	0,0036	3,41	0,003015
2	10	4,33	0,0037	3,42	0,00303
3	10	4,32	0,0036	3,43	0,003045
Média (Antes) = (3,63 ± 0,01) (mmol Mg L⁻¹)					
Média (depois) = (3,01 ± 0,01) (mmol Mg L⁻¹)					

SEMENTE DE UMBURANA - AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA Nº1

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA V _{Ca} (mL)	Conc. (mol Ca L ⁻¹)
1	10	1,02	0,001530
2	10	1,01	0,001515
3	10	1,00	0,001500
Média (depois) = (1,51 ± 0,01) mmol de Ca L⁻¹			

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA V _(Mg+Ca) (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)
1	10	2,68	0,002504
2	10	2,64	0,002445
3	10	2,66	0,002475
Média (depois) = (2,48 ± 0,03) mmol de Mg L⁻¹			

SEMENTE DE UMBURANA - AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA Nº2

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA V _{Ca} (mL)	Conc. (mmol Ca L ⁻¹)
1	10	2,80	0,004200
2	10	2,81	0,004215
3	10	2,81	0,004215
Média (depois)= (4,21 ± 0,01) mmol Ca L⁻¹			

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA V _(Mg+Ca) (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)
1	10	4,8	0,007200
2	10	4,81	0,007215
3	10	4,8	0,007200
Média (depois) = (2,99 ± 0,01) mmol Mg L⁻¹			

SEMENTE DE UMBURANA - AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA N°3

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA V_{Ca} (mL)	Conc. (mmol Ca L ⁻¹)
1	10	1,81	0,002715
2	10	1,81	0,002715
3	10	1,80	0,002700
Média (depois) = (2,72 ± 0,01) mmol Ca L⁻¹			
Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA V_{Mg+Ca} (mL)	Conc. mol Mg L ⁻¹)
1	10	4,24	0,003645
2	10	4,23	0,003630
3	10	4,25	0,003660
Média (depois) = (3,65 ± 0,01) (mmol Mg L⁻¹)			

SEMENTE DE MULUMGU - AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA N°1

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA V_{Ca} (mL)	Conc.(Mol Ca L ⁻¹)
1	10	2,56	0,003840
2	10	2,58	0,003870
3	10	2,54	0,003810
Média (depois) = (3,84 ± 0,03) mmol de Ca L⁻¹			
Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA $V_{(Mg+Ca)}$ (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)
1	10	4,46	0,00285
2	10	4,41	0,002775
3	10	4,42	0,00279
Média (depois) = (2,67 ± 0,02) mmol Mg L⁻¹			

SEMENTE DE MULUMGU - AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA N ° 2

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA V_{Ca} (mL)	Conc. (mmol Ca L ⁻¹)
1	10	3,5	0,00525
2	10	3,51	0,005265
3	10	3,51	0,005265
Média (depois) = (5,26 ± 0,01) mmol Ca L⁻¹			
Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA $V_{(Mg+Ca)}$ (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)
1	10	6,22	0,004065
2	10	6,21	0,00405
3	10	6,21	0,00405
Média (depois) = (4,05 ± 0,01) mmol Mg L⁻¹			

SEMENTE DE MULUMGU- AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA N ° 3

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA V_{Ca} (mL)	Conc. (mmol Ca L ⁻¹)
1	10	1,81	0,002715
2	10	1,82	0,00273
3	10	1,83	0,002745
Média (depois)= (2,73 ± 0,01) mmol Ca L⁻¹			
Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Depois	
		EDTA $V_{(Mg+Ca)}$ (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)
1	10	6,08	0,006390
2	10	6,08	0,006390
3	10	6,07	0,006375
Média (depois) = (6,38 ± 0,02) (mmol Mg L⁻¹)			

REAPROVEITAMENTO DO RESÍDUO UMBU- AMOSTRA DE ÁGUA SALOBRA N° 1

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Antes		Depois	
		EDTA V _{Ca} (mL)	Conc. (Mol Ca L ⁻¹)	EDTA V _{Ca} (mL)	Conc. (mol Ca L ⁻¹)
1	10	1,87	0,002805	1,47	0,002205
2	10	1,89	0,002835	1,48	0,002220
3	10	1,91	0,002865	1,46	0,002190
Média (depois) = (2,22 ± 0,01) mmol de Ca L⁻¹					
Média (antes) = (2,83 ± 0,03) mmol de Ca L⁻¹					

Nº do Erlenmeyer	Amostra (mL)	Antes		Depois	
		EDTA V _(Mg+Ca) (mL)	Conc. (Mol Mg L ⁻¹)	EDTA V _(Mg+Ca) (mL)	Conc. (mol Mg L ⁻¹)
1	10	4,31	0,003600	3,28	0,002715
2	10	4,33	0,003700	3,20	0,002595
3	10	4,32	0,003600	3,23	0,002640
Média (antes)= (3,63 ± 0,01) mmol de Mg L⁻¹					
Média (depois)= (2,65± 0,06) mmol de Mg L⁻¹					

ANEXO C: Memória de cálculo da dureza total (como CaCO₃) e classificadas das águas em função dos níveis de dureza.

Converte-se as concentração de cálcio e magnésio em concentrações Equivalentes de CaCO₃ como segue:

$$\text{Eq-g} = \frac{\text{Peso molecular ou atômico}}{\text{Carga iônica ou n}^{\circ} \text{ de oxidação}}$$

$$\text{Eq-g Ca}^{2+} = \frac{40,08 \text{ g/mol}}{2 \text{ eq/mol}} = 20,04 \text{ g/eq}$$

$$\text{Eq-g Mg}^{2+} = \frac{24,31}{2 \text{ eq/mol}} = 12,15 \text{ g/eq}$$

$$\text{Eq-g CaCO}_3 = \frac{100,09}{2 \text{ eq/mol}} = 50,04 \text{ g/eq}$$

Determinação dos fatores (F) para se obter as concentrações equivalentes a CaCO₃;

$$F (\text{Ca}^{2+} \text{ como CaCO}_3) = \frac{\text{Eq-g de CaCO}_3}{\text{Eq-g de Ca}^{2+}} = \frac{50,04 \text{ g/eq}}{20,04 \text{ g/eq}} = 2,497$$

$$F (\text{Mg}^{2+} \text{ como CaCO}_3) = \frac{\text{Eq-g de CaCO}_3}{\text{Eq-g de Mg}^{2+}} = \frac{50,04 \text{ g/eq}}{12,15 \text{ g/eq}} = 4,119.$$

Para calcular a dureza total expressa em mg L⁻¹ CaCO₃ usa-se a equação:

$\text{Dureza total (como CaCO}_3) = 2,497 (\text{Ca}^{2+}, \text{ mg L}^{-1}) + 4,118 (\text{Mg}^{2+}, \text{ mg L}^{-1})$

Classificadas das águas em função dos níveis de dureza:

Águas	Dureza (mg CaCO ₃ L ⁻¹)
Moles	< 50
Dureza moderada	entre 50 e 150
Duras	entre 150 a 300
Muito duras	> 300

(WEINER, 2000).