

## II-312 - APROVEITAMENTO COMO ADUBO LÍQUIDO DO CONCENTRADO DE MEMBRANA DE OSMOSE INVERSA UTILIZADA NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS

**Larissa Caroline Saraiva Ferreira<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental e Mestranda em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

**Layane Priscila de Azevedo Silva**

Bióloga, Mestre em Engenharia Sanitária e Especialista em Licenciamento Ambiental *on shore*.

**Cícero Onofre de Andrade Neto**

Engenheiro civil, Mestre em Engenharia Sanitária e Doutor em Recursos Naturais. Professor associado da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua José Vicente, 1980, Bl AI Apto 201 - Planalto - Natal - RN - CEP: 59074-566 - Brasil - Tel: (84) 88379479 - e-mail: [lalinhasaraiva@hotmail.com](mailto:lalinhasaraiva@hotmail.com).

### RESUMO

A crescente utilização da tecnologia de membranas filtrantes no tratamento de esgotos vem sendo impulsionada tanto pela viabilização de sistemas compactos de tratamento quanto pela elevada qualidade da água produzida, o que promove o reúso da água para diversos fins. A corrente líquida do concentrado, gerada no processo de separação, necessita de um gerenciamento adequado, com disposição ambientalmente sustentável, uma vez que comporta todos os poluentes rejeitados da corrente do permeado. Considerando que os esgotos contêm elevada concentração de nutrientes, o objetivo desse trabalho foi analisar o aproveitamento do concentrado gerado no processo de separação em membrana de osmose inversa, para uso na agricultura como adubo líquido. A pesquisa foi desenvolvida em dois módulos de membranas, sendo a microfiltração utilizada como pré-tratamento para a membrana de osmose inversa, que foi o objeto de estudo dessa pesquisa. Foi utilizado esgoto essencialmente doméstico para alimentar a membrana, que antes passou por tratamento biológico, composto por filtro anaeróbio e biofiltros aerado submerso. Os ensaios foram realizados em batelada, totalizando em experimentos de três semanas. Os resultados mostraram que a membrana de osmose inversa removeu grande parte dos íons analisados e os índices de rejeição estiveram acima de 95%, à exceção do nitrato, mostraram-se coerentes quando comparados com a eficiência informada pelo fabricante da membrana, que é de 99% para íons monovalentes. Paralelamente a esses resultados, a corrente líquida do concentrado, por conter todos os íons rejeitados da alimentação, passa a ter elevada concentração de nutrientes e demais sais. Assim, o concentrado da membrana de osmose inversa tem elevado potencial para uso na agricultura como adubo líquido, por conter a grande parte dos nutrientes presentes no esgoto. Contudo, é necessário atentar para a salinidade e sodicidade desse concentrado, que pode ser prejudicial às plantas. Porém, isso não é um fator limitante para o aproveitamento do concentrado como adubo líquido, já que provavelmente será diluído na água de irrigação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Osmose inversa, uso do concentrado, gerenciamento do rejeito, fertilizante líquido, rejeito de membranas.

### INTRODUÇÃO

Devido ao quadro crescente de poluição, acentuam-se os esforços no sentido de aprimorar o tratamento dos efluentes para a sua utilização (reúso de água), e a tecnologia de membranas filtrantes tem se destacado nesse sentido. Ocorre que, para reúso em modalidades que requerem água com maior grau de pureza, como a indústria, por exemplo, os tratamentos biológicos convencionais não atendem aos requisitos exigidos. No entanto, a tecnologia de membranas é considerada confiável, pois é capaz de eliminar contaminantes físicos, químicos e microbiológicos dos esgotos.

Entre as principais vantagens na utilização das membranas no pós-tratamento de efluentes estão: produção de água com elevado grau de pureza, constância na qualidade da água produzida, baixa utilização de produtos

químicos, pouco espaço necessário para as instalações e a facilidade de automação e operação do sistema (XIA *et al.*, 2005). Entretanto, um dos problemas na utilização desta tecnologia, assim como ocorre nos demais sistemas de tratamento, é a geração de um rejeito, nesse caso, o concentrado.

Com a disseminação da tecnologia das membranas filtrantes, os desafios da gestão do concentrado ficaram ainda maiores. Isso porque, de maneira geral, os estudos com membranas filtrantes evidenciam a qualidade da água produzida, porém, em sua grande maioria, não é apresentada qualquer opção de gerenciamento do concentrado. Assim, faz-se necessário encontrar uma disposição técnica, ambiental e economicamente adequada. Apesar de haver aparato tecnológico, a viabilidade passa a ser questionada, pois, os custos de eliminação estão representando maior porcentagem no custo total da planta de membranas.

Os métodos convencionais para a eliminação do concentrado são: lançamento em águas superficiais, lançamento em rede de esgoto, lagoas de evaporação, injeção em poço profundo e aplicação na irrigação (MICKLEY, 2004). Com exceção do último método citado, os demais desperdiçam totalmente os componentes do concentrado, além de serem muito onerosos, ou muito poluentes, quando se trata de uma alternativa de menor custo, como lançamento em corpos d'água.

No caso dos esgotos sanitários sabe-se que esses possuem elevada concentração de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo. Quando esses efluentes são submetidos às membranas de OI, tais nutrientes são perdidos, pois ficam retidos por essas membranas. Sendo assim, analisar o aproveitamento desses componentes do concentrado constitui uma linha de pesquisa inovadora e de grande relevância para o saneamento ambiental.

A recuperação de nutrientes dos esgotos tem se tornado cada vez mais importante, principalmente o fósforo, devido ao esgotamento desse recurso mineral. Atualmente, quase todo fósforo utilizado em fertilizantes é processado a partir de rocha fosfática. Essa prática não é sustentável, uma vez que a taxa de regeneração do fósforo é insignificante em comparação com a taxa de exploração corrente, culminando na elevação crescente do custo de aquisição dos fertilizantes fosfatados (BLÖCHER, NIEWERSCH e MELIN, 2012). O nitrogênio, por sua vez, pode ser produzido quimicamente para uso na agricultura, porém a um alto gasto energético (JÖNSSON *et al.*, 2004).

A recuperação dos nutrientes do concentrado também foi estudada por Johir *et al.* (2011), os autores enfatizaram que essa é uma solução sustentável, tanto pela contribuição na redução da poluição hídrica, quanto pela abertura de uma nova fonte de nitrogênio e fósforo, que demandam muitos recursos para serem produzidos como fertilizantes, elevando o custo de aquisição.

Valorizar o concentrado como um recurso de água e nutrientes, a qual se denominou de adubo líquido, pode viabilizar a implantação de sistemas de membranas. O adubo líquido pode ser comercializado para diluição na água de irrigação, e o permeado de membranas reutilizado no meio urbano e na indústria.

Considerando o custo de aquisição dos fertilizantes, principalmente o fósforo, bem como a diminuição da oferta de água aplicável a diversos usos, a utilização de membranas filtrantes é justificada no pós-tratamento de esgotos, com o objetivo principal de adotar um tratamento de maior eficiência, cujos produtos permitem várias tipos de aproveitamento e diminuição do volume de efluentes que chegam aos cursos d'água.

Assim, o objetivo desse trabalho é analisar o aproveitamento do concentrado gerado no processo de separação em membrana de osmose inversa, aplicada no pós-tratamento de esgotos sanitários, para uso na agricultura como adubo líquido.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em dois módulos de membranas, sendo um de microfiltração e outro de osmose inversa. A membrana de microfiltração foi alimentada com o efluente de uma estação de tratamento de esgotos biológico, enquanto que a membrana de osmose inversa foi alimentada com o permeado da microfiltração. O esgoto afluente a esse sistema de membranas é tratado em estação experimental, composta por reatores anaeróbios e biofiltros aerados submersos, localizada na da Universidade Federal do Rio Grande do Norte

(UFRN). O esgoto afluente à esta ETE experimental é essencialmente doméstico, proveniente das residências universitárias, do departamento de educação física e do restaurante do Campus Central da UFRN.

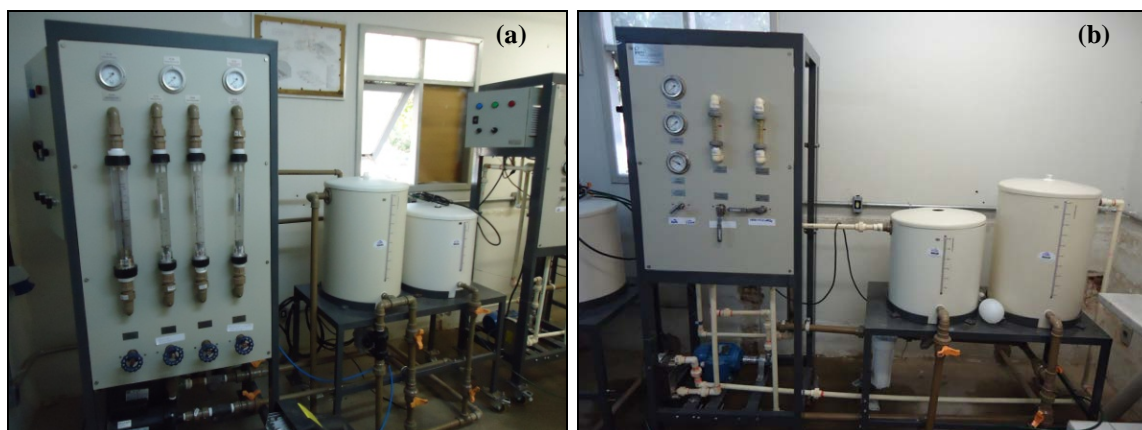
A membrana de microfiltração foi utilizada apenas para o pré-tratamento das amostras que saem do tratamento biológico e antecedem a membrana de osmose inversa, e por isso, não se trata de objeto de estudo desta pesquisa. O pré-tratamento se faz necessário para aumentar o desempenho e a vida útil das membranas de OI. Isso porque a tendência de águas de alimentação colmatar as membranas através do fouling é um dos parâmetros de projeto mais importantes em sistemas de membranas.

As principais características das membranas de Microfiltração e Osmose Inversa, informadas pelos fabricantes das membranas, estão apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1: Principais características das membranas de Microfiltração e Osmose Inversa.**

	Microfiltração	Osmose Reversa
<b>Fabricante</b>	PAM Membranas	Dow Filmtec
<b>Configuração</b>	Fibras ocas	Espiral
<b>Material de fabricação</b>	Polieterimida	Poliamida
<b>Retenção</b>	Microorganismos e sólidos maiores que 0,4 µm	>99% para sais monovalentes
<b>Área da membrana</b>	3,44 m <sup>2</sup>	2,5 m <sup>2</sup>
<b>Pressão utilizada</b>	0,5 bar	5 bar
<b>Pressão máxima</b>	5 bar	15 bar
<b>Temperatura máxima</b>	55 °C	45 °C
<b>pH</b>	4,0 a 10,0	2,0 a 11,0

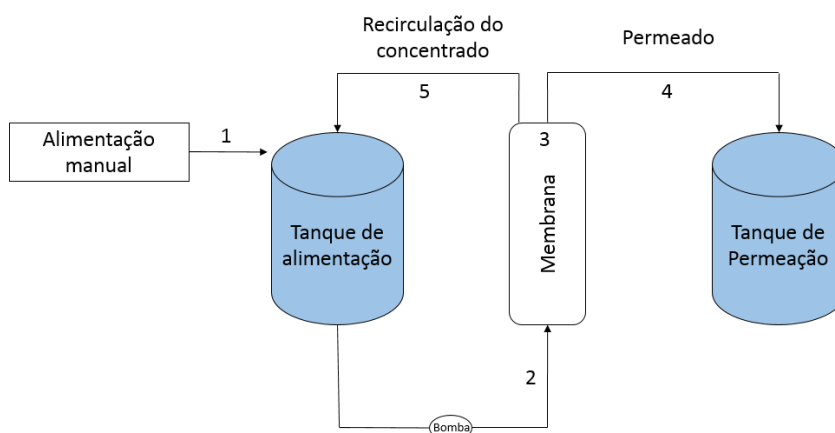
Os sistemas de filtração das membrana em escala piloto (Figura 1) possuem capacidade de cinquenta litros de alimentação por batelada, compreendendo: membranas, tanques de alimentação e armazenamento, conjunto de tubulações e conexões, bomba centrífuga, painel elétrico e painel hidráulico. A vazão e a pressão das correntes podiam ser lidas no painel hidráulico, e as condições de operação alternadas utilizando as válvulas de controle. No painel elétrico era possível variar a rotação da bomba de alimentação.



**Figura 1: Sistema de filtração das membranas de microfiltração (a) e osmose inversa (b).**

Nos dois sistemas de filtração, o funcionamento ocorre da seguinte forma: (1) alimentação manual do afluente no tanque de alimentação; (2) o afluente será bombeado do tanque de alimentação para o módulo das membranas; (3) após ser filtrado, será separado em duas correntes líquidas: permeado e concentrado; (4) o permeado será encaminhado para o tanque de permeação; e (5) o concentrado será recirculado para o tanque

de alimentação (Figura 2). No módulo da membrana, a entrada do afluente ocorre pela parte inferior e a saída pela parte superior, sendo a saída do permeado pelo furo central e a do concentrado pelas extremidades.



**Figura 2: Desenho esquemático do fluxograma do sistema de filtração de membranas. 1) Alimentação, 2) Entrada do afluente no módulo, 3) Saídas das duas correntes líquidas, 4) Permeado e 5) Recirculação do concentrado.**

Para os ensaios com esgoto, realizou-se a coleta do efluente final da ETE experimental, que era feita manualmente, com auxílio de bombonas com capacidade para vinte litros. O efluente coletado era então despejado no tanque de alimentação da membrana de Microfiltração e o permeado dessa membrana era direcionado para a membrana de osmose inversa (Figura 3). Após o processo de recirculação, quando o nível mínimo do tanque de alimentação era atingido, o sistema era desligado automaticamente. Nesse momento, as amostras do permeado e concentrado da membrana de OI eram coletados para posterior análise laboratorial.



**Figura 3: Coleta do efluente da ETE (a) e alimentação das membranas (b).**

Antes da realização de cada experimento era efetuada uma limpeza química em cada membrana para garantir as mesmas condições operacionais nos ensaios. Além disso, a realização da limpeza química das membranas era necessária para recuperar o fluxo, que com tempo diminui devido à colmatação das membranas. Desse modo, as limpezas foram realizadas semanalmente, um dia antes do dia do experimento. A limpeza foi realizada de acordo com as recomendações do fabricante das membranas, o qual indicou o uso do hipoclorito de sódio, com solução final de 300 mg/L para a membrana de MF; e o hidróxido de sódio 1N, com solução final de pH 10 seguida de ácido clorídrico em pH 4, para as membranas de OI.

Os ensaios com as membranas aconteceram em batelada, com testes em triplicata, totalizando três semanas de experimentos. Para a caracterização físico-química do permeado e concentrado da membrana da OI foram realizadas as análises de nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total, potássio, condutividade elétrica, sódio,

cálcio, magnésio e RAS°. Todas as técnicas têm como referência os métodos padronizados para análise de água e esgoto da APHA *et al.* (2012).

## RESULTADOS

Os resultados dos indicadores analisados para a alimentação, permeado e concentrado da osmose inversa estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Média dos resultados obtidos nos ensaios com a membrana de osmose inversa.**

Parâmetro	Unidade	Alimentação	Permeado		Concentrado
			Resultado	Remoção	
Nitrogênio amoniacal	mg/L	13,9	0,5	96,40%	39,7
Nitrato	mg/L	19,5	1,2	93,80%	97,3
Fósforo Total	mg/L	10	0	100%	30,1
Potássio	mg/L	23	0,9	96,10%	92
Condutividade elétrica	µS/cm	690,7	30,7	95,60%	2.129,00
Sódio	mg/L	87,5	3,8	95,70%	316
Cálcio	mg/L	6,3	0	100%	5,7
Magnésio	mg/L	15,4	0,5	96,80%	42,9
RAS°	mmol/L	3,01	0,05	98,30%	9,12

A membrana de osmose inversa removeu a maior parte dos íons analisados, com um índice de rejeição acima de 95%, com exceção do nitrato com remoção de 93%. Comparando com os resultados dos outros parâmetros, essa baixa remoção pode ser explicada já que o nitrato é o íon de menor tamanho e por isso tem a maior probabilidade de atravessar a membrana de filtração. De uma forma geral, os resultados encontram-se relativamente compatíveis quando comparamos a eficiência informada pelo fabricante da membrana para íons monovalentes que é de 99%. Esses valores também são próximos das pesquisas de Chamon (2011), que obteve remoção de condutividade de 94,6% em OI alimentada com efluente de MBR; de Kucera (2010) que obteve remoção entre 92-98% para os íons sódio, cálcio e magnésio; e de Chon, Cho e Shon (2013), que para nitrogênio amoniacal e nitrato obtiveram remoção de 100%.

A corrente líquida do concentrado, por conter toda a concentração dos íons rejeitados da alimentação, passa a ter elevada concentração de nutrientes e demais sais. Considerando o valor da condutividade elétrica de 2.129,00 µS/cm e da RAS° de 9,12 mmol/L, a salinidade é considerada alta (classificação que considera o conteúdo de sais de 700 a 2.250 µS/cm) e a sodicidade baixa (RICHARDS, 1954), e assim o concentrado é considerado uma água de qualidade regular para irrigação (MORAIS *et al.*, 1998). Em relação ao cloro e sódio, o risco de toxicidade específico para esses íons é considerado severo (PIZARRO, 1996).

Em relação ao risco de salinidade, águas com alta salinidade não podem ser usadas em solos com drenagem deficiente, e mesmo com drenagem adequada podem ser necessárias práticas especiais para controle de salinidade e só deve ser aplicada para irrigação de plantas tolerantes aos sais; já em relação ao risco de sodicidade, água com teor baixo de sódio pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, com pouca probabilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável (ALMEIDA, 2010).

Desta feita, considerando apenas o parâmetro infiltração, relacionado aos riscos de salinidade e sodicidade, o concentrado da osmose inversa deve ser obrigatoriamente diluído. Porém, a qualidade da água de irrigação não é determinada apenas por esses quesitos. Além do parâmetro infiltração, para atestar o uso do concentrado como fertilizante na agricultura faz-se necessário o conhecimento das características físico-químicas dos solos em que serão aplicadas, assim como a susceptibilidade e resistência/tolerância aos níveis de salinidade e toxicidade dos cultivos que vão ser irrigados (ALMEIDA, 2010).

Acerca dos nutrientes, que é o foco principal para uso do concentrado como adubo líquido, o concentrado da OI apresentou alta concentração de fósforo, nitrogênio amoniacal e nitrato. O que também deve ser observado



com cautela, pois o excesso de nitrogênio pode ocasionar desequilíbrio nutricional nas plantas, bem como provocar o desbalanço dos elementos do solo (ALMEIDA, 2010).

Considerando a diluição, Mickley (2001) cita que o concentrado pode ser aplicado em terras de cultivo ou vegetação, por técnicas de aspersão ou de superfície, também para rega de gramados, parques ou campos de golfe e para a preservação e ampliação de cinturões verdes e espaços abertos.

Considerando que, além de conter os nutrientes o concentrado também detém um elevador teor de sais, o que é prejudicial a maior parte das plantas, para o seu uso como adubo líquido na agricultura é necessário verificar a aceitabilidade das culturas em relação à salinidade e sodicidade (EDWARDS e BOWDOIN, 1990). No entanto, isso não é um fator limitante para o aproveitamento do concentrado, já que ele pode ser diluído na água de irrigação, alcançando os valores toleráveis para cada cultura.

Um outro parâmetro que também deve ser analisado é a compatibilidade entre os nutrientes, bem como entre os íons da água de irrigação, a fim de que se evite a formação de precipitados. O sulfato, por exemplo, é incompatível com o cálcio, e os fosfatos com o cálcio e o magnésio, podendo formar compostos insolúveis (BORGES & SILVA, 2012). Para averiguar essa incompatibilidade, pode ser realizado um teste em que misturando-se os fertilizantes com a água de irrigação em recipiente transparente, na mesma diluição água/fertilizante aplicada no sistema de irrigação. Após a mistura, deixa-se em repouso por 2 horas e observa-se a presença de precipitados ou turvamento no fundo do recipiente. Caso isso ocorra, há possibilidade de a injeção simultânea dos dois produtos causar entupimento das linhas ou dos emissores (VIEIRA & RAMOS, 1999).

Considerando, então, que o concentrado da osmose inversa deve ser diluído para utilização na agricultura, ou seja, deve ser utilizado como um fertilizante concentrado a ser introduzido na água de fertirrigação e não como água de irrigação prontamente para uso, se faz necessário a comparação desse concentrado com formulações específicas para composição de fertilizantes fluidos, afim de atestar a viabilidade do seu uso quanto às concentrações dos macro e micronutrientes exigidos na legislação vigente e/ou literatura. Dessa forma, se faz necessário um teste de diluição afim de analisar se após introdução na água de irrigação, os nutrientes ainda vão estar em quantidades suficientes atender às necessidades das plantas.

De acordo com Johir *et al.* (2011), a recuperação de nutrientes do concentrado de membranas utilizadas no tratamento de esgotos é uma solução sustentável, tanto pela contribuição para redução da poluição hídrica, quanto pela abertura de uma nova fonte de nitrogênio e fósforo, que demandam muitos recursos para serem produzidos como fertilizantes, onerando o preço de aquisição.

## CONCLUSÕES

O concentrado da membrana de osmose inversa tem elevado potencial para uso na agricultura como adubo líquido, por conter a grande parte dos nutrientes presentes no esgoto. Contudo, é necessário atentar para a salinidade e sodicidade desse concentrado, que pode ser prejudicial às plantas. Porém, isso não é um fator limitante para o aproveitamento do concentrado da separação por membranas no pós-tratamento de esgotos sanitários, já que o concentrado deve ser diluído na água de irrigação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, O. A. Qualidade da Água de Irrigação. 1ª Edição. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Hardcover, 1368p, 2012.
3. BLÖCHER, C.; NIEWERSCH, C.; MELIN, T. Phosphorus recovery from sewage sludge with a hybrid process of low pressure wet oxidation and nanofiltration. Water Research, v. 46, p.2009-2019, 2012.
4. BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. In: SOUZA, V. *et al.* Irrigação e fertirrigação em fruteira e hortaliças. Brasília: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Capítulo 7, p. 253-264, 2012.

5. CHAMON, R. P. Pós-tratamento de lixiviado de aterro industrial pelo processo de osmose reversa: Estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
6. CHON, K.; CHO, J; SHON, H. K. A pilot-scale hybrid municipal wastewater reclamation system using combined coagulation and disk filtration, ultrafiltration and reverse osmosis: Removal of nutrients and micropollutants, and characterization of membrane foulants. *Bioresource Technology*, v. 141, p.109-116, 2013.
7. EDWARDS, E.; BOWDOIN, P. Irrigation with Membrane Plant Concentrate Fort Myers Case Study. *Desalination*, 78, 49–58, 1990.
8. JOHIR, M. A. H. *et al.* Removal and recovery of nutrients by ion exchange from high rate membrane bioreactor (MBR) effluent. *Desalination*, Sydney, v. 275, p.197-202, 2011.
9. JÖNSSON, H. *et al.* Evaluating the effects of nutrient reuse on use of nonrenewable resources. 4th International Water Congress, Marrakech, Morocco, 2004.
10. KUCERA, J., *Reverse Osmosis Design, Process, and Applications for Engineers*, Jonh Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, and Scriverener Publishing LLC, Salem, Massachusetts, 2010.
11. MICKLEY, M. C. Membrane concentrate disposal: practices and disposal. *Desalination and water purification research and development program report N° 69*, U.S Department of the interior, 2001.
12. MICKLEY M. P. E. Review of concentrate management options. Ground water report 363, technical papers, case studies and desalination technology resources, *The Future of Desalination in Texas*, vol. II., Texas Water Development Board, 2004.
13. MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. L.; OLIVEIRA, M. Qualidade da água para irrigação em amostras analíticas do banco de dados do departamento de solos e geologia da escola superior de agricultura de Mossoró, Mossoró / RN. *Caatinga*, Mossoró, v. 11, p. 75-83, 1998.
14. PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF). *Goteo, microaspersión y exdación*. 3 ed. ver. y amp. Madrid: Mundi-Prensa, 513p, 1996..
15. RICHARDS, L. A. Diagnóstico y recuperación de suelos salinos y sódicos. *Personal de Laboratorio de Salinidad de EE.UU*. 6 ed. México: Editorial LIMUSA, 176p, 1993.
16. VIEIRA, R. F.; RAMOS, M. M. Fertirrigação. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. *Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a. aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 359 p, 1999.
17. XIA, S. *et al.* Pilot study of drinking water production with ultrafiltration of water from the Songhuajiang river (China). *Desalination*, v. 179, p. 369-374, 2005.