

## **SALINIZAÇÃO NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTOS POR DISPOSIÇÃO CONTROLADA NO SOLO**

**Henio Normando de Souza Melo, Ricardo J. Araujo Miranda, Cícero Onofre de Andrade Neto e Manoel Lucas Filho**

*PROSAB-UFRN. Nucleo Tecnológico. Campus Universitário. Natal, RN. CEP: 59078-900. Telefone: 55<sup>+</sup> 84 211-9243. E-mail: prosab-rn@digi.com.br*

### **RESUMO**

A contaminação de solos por sais é uma forma de poluição, com origem principalmente agrícola, não sendo um problema novo. Civilizações anteriores a Era Cristã foram desintegradas em função do acúmulo de sais em seus solos irrigados. Percebe-se uma preocupação a nível mundial com relação aos problemas de salinidade e alcalinidade em agricultura irrigada. Esses problemas acarretam a diminuição da produtividade e, até mesmo, em casos extremos, a esterilização dos solos. Diversos estudos estão sendo realizados no sentido de tratar esgotos através da disposição controlada no solo, sendo as características intrínsecas do solo e da água residuária muito importantes para a continuidade do processo, do ponto de vista de uma possível salinização e/ou sodificação. O presente trabalho visa acompanhar a evolução da salinidade no perfil de um solo de classificação “Areia Quartzosa distrófica” com classe textural “Areia Franca”, submetido à pós-tratamento através de Bacia de Infiltração e Tabuleiros com cobertura vegetal, irrigados com águas residuárias de um sistema decanto digestor seguido de filtros anaeróbios. Como cobertura vegetal utilizou-se o *Pennisetum purpureum* (capim elefante). Nesse contexto, foi feito o acompanhamento da qualidade do esgoto aplicado, eficiência de remoção de matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes; e quantidades de sais acumulados no perfil do solo.

### **PALAVRAS CHAVE**

Esgotos tratados; Disposição no Solo; Salinidade.

### **INTRODUÇÃO**

A importância dada aos aspectos de qualidade das águas, segundo Ayres & Westcot, 1991, citado por Gervásio et al., 2000, só começou a ser reconhecida a partir do início desse século. A falta de atenção dedicada a esta questão foi devido à disponibilidade de águas de boa qualidade e de fácil utilização. Entretanto, esta realidade está mudando em vários lugares do mundo, em função do aumento de consumo por águas de boa qualidade, restando como alternativa a este fato, o uso de águas de qualidade inferior.

Dentre as características que determinam a qualidade da água para a irrigação, a concentração de sais solúveis ou salinidade é um fator limitante ao desenvolvimento de algumas cultura. O problema de salinização e/ou alcalinização em solos é mais freqüente em regiões tropicais de clima quente e seco, caracterizado por elevadas taxas de evapotranspiração e baixos índices pluviométricos, a exemplo do semi-árido do nordeste brasileiro, onde no contexto regional, se

concentram atualmente as terras mais intensamente cultivadas; com o uso da irrigação esse risco é ainda maior (SOUZA et al., 2000).

Toda a água superficial ou subterrânea contém certo teor de sais em solução, sendo que em regiões áridas e semi-áridas a concentração é geralmente maior, o que vai se somar ao sempre presente problema de salinização e alcalinização dos solos. A orientação geral é pois, neste caso, de se determinar a qualidade da água de acordo com a concentração de sais (DAKER, 1988).

O acúmulo de sais no solo é geralmente evidenciado através de um balanço salino onde as concentrações que entram na área de influência do sistema radicular das plantas é maior que as encontradas na saída. Esse fenômeno pode ser considerado uma consequência de concentrações elevadas de sais nas águas utilizadas em irrigação ou fertirrigação.

A água usada na irrigação em geral contém sais solúveis em níveis variados e, quando esta é aplicada ao solo na ausência de lixiviação ou com drenagem restrita e na presença de evapotranspiração excessiva, produz acúmulo dos sais na zona radicular em concentrações prejudiciais às plantas (BERNSTEIN, 1974).

Quanto às características da qualidade da água para irrigação, de modo geral, deve ser analisada com relação a cinco parâmetros básicos (SALASSIER, 1995):

1) Concentração total de sais (salinidade) – A principal consequência do aumento da concentração de sais solúveis de um solo é a elevação de seu potencial osmótico. Em razão da facilidade e rapidez de determinação, a condutividade elétrica (CE) passou a ser o procedimento padrão, a fim de expressar a concentração total de sais para classificação e diagnose das águas destinadas à irrigação;

2) Proporção relativa de sódio, em relação a outros cátions (capacidade de infiltração do solo) – A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da razão de adsorção de sódio (RAS) e, ou, decréscimo de sua salinidade. Sendo assim os dois parâmetros, RAS e salinidade, devem ser analisados conjuntamente para se poder avaliar corretamente o efeito da água de irrigação na redução da capacidade de infiltração de um solo. A porção relativa de sódio, em relação a outros sais, pode ser expressa adequadamente, em termos da razão de adsorção de sódio (RAS), e pode ser calculada como mostra a equação 1:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{(\text{Ca} + \text{Mg})}{2}}} \quad (1)$$

Na qual: Na, Ca, Mg = concentração dos sais solúveis em miliequivalente por litro;

3) Concentração de elementos tóxicos – Os elementos encontrados nas águas de irrigação e que mais comumente causam problemas de toxidez às plantas são íons de cloro, sódio e boro. A magnitude do problema depende da concentração do íon na água de irrigação, da sensibilidade da cultura ao íon, da demanda evapotranspirométrica da região e do método de irrigação em uso. Este íons geralmente acumulam-se nas folhas, onde causam problemas de clorose e queima dos tecidos, reduzindo a produção vegetal ou mesmo chegando a morte da planta, quando o seu acúmulo é muito elevado;

4) Concentração de bicarbonatos – Nas águas que contêm concentrações elevadas de íons bicarbonato, há tendência para a precipitação do cálcio e magnésio, sob a forma de carbonatos, reduzindo, então, a concentração de cálcio e magnésio na solução do solo e, conseqüentemente,

aumentando a proporção de sódio, uma vez que a solubilidade do carbonato de sódio é superior à dos carbonatos de cálcio e magnésio;

5) Aspecto sanitário – Quanto ao aspecto sanitário, há três casos a considerar: a contaminação do irrigante durante a condução da irrigação, a contaminação da comunidade ao redor do projeto de irrigação e a contaminação do usuário dos produtos irrigados.

Todos os solos contêm sais, em magnitude variável, e, de modo geral, os sais são carregados pela água que se movimenta no perfil do solo, podendo precipitar ou ser conduzidos em solução até o mar. Normalmente os sais são encontrados no solo sob três formas distintas:

- a) na forma de íons na água do solo;
- b) na forma de cátions adsorvidos às partículas do solo;
- c) na forma de sal precipitado.

A classificação dos solos em salinos e alcalinos tem como base os teores de sais solúveis e de sódio trocável. Uma das formas mais simples e úteis de determinar a concentração de sais solúveis é medir a condutividade elétrica do extrato de saturação. Um método apropriado para estimar o sódio trocável (P.S.T. – Percentagem de sódio trocável) esta apresentado na equação 2:

$$\text{PST} = \text{teor de sódio trocável} / \text{CTC} \quad (2)$$

Na qual: CTC é a capacidade de troca de cátions.

A capacidade de troca de cátions do solo é definida como sendo a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas (EMBRAPA,1997).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na estação de tratamento de esgoto (ETE) da UFRN, em área destinada as pesquisas do PROSAB-RN. A textura do solo foi classificada como areia franca, cuja granulometria apresentou percentuais de 86,19%; 0,64% e 13,17% de areia, silte e argila, respectivamente, apresentando ainda uma porosidade de 43,12%.

A bacia de infiltração rápida fez parte do Edital 2 do PROSAB. A área utilizada para receber o efluente dos filtros anaeróbios foi de 3,50 X 3,50 m, como mostra a figura 01.



Figura 1 - Alimentação da bacia de infiltração

A bacia recebeu uma carga hidráulica inicial de 200 cm/dia, em aplicação contínua de quatro dias seguidos por três dias de descanso, o que equivale a um volume de  $24,5\text{m}^3/\text{dia}$ ; passando em uma segunda fase para uma taxa de aplicação de 2m/dia com uma vazão média de  $13\text{m}^3/\text{dia}$  e um ciclo operacional de 5 dias de aplicação por dois dias de descanso.

Ao lado da bacia, foi construído um poço de amostragem com 1,00m de diâmetro e 7,30m de profundidade. Foram instalados drenos horizontais em cinco diferentes profundidades (0,50m – 1,20m – 2,20m – 4,30m e 6,60m) para coleta de amostras. Foram avaliados remoção de patogênicos, matéria orgânica e nutrientes, como mostra a figura 02.



Figura 2 - Poço de amostragem e sistema de alimentação

Decorrido o período de aplicação de efluentes na referida bacia, foi feita uma tradagem em profundidades semelhantes a dos drenos para que se verificassem os níveis de salinidade em profundidade no solo. Em contrapartida foi feito tradagens em locais próximo da bacia, com mesma topografia e tipo de solo, porém fora da área de influência dos efluentes infiltrados, para se comparar os níveis de sais como referência. Como pode-se observar na figura 03.



Figura 03 - Foto da tradagem

O plantio do *Pennisetum purpureum* (capim elefante) foi feito em tabuleiro confinado com 10m de comprimento e 3.5m de largura e profundidade de 25cm, com declividade de 6%, funcionando como bacia de disposição controlada com escoamento subsuperficial como pode ser visto através das figuras 04 e 05.

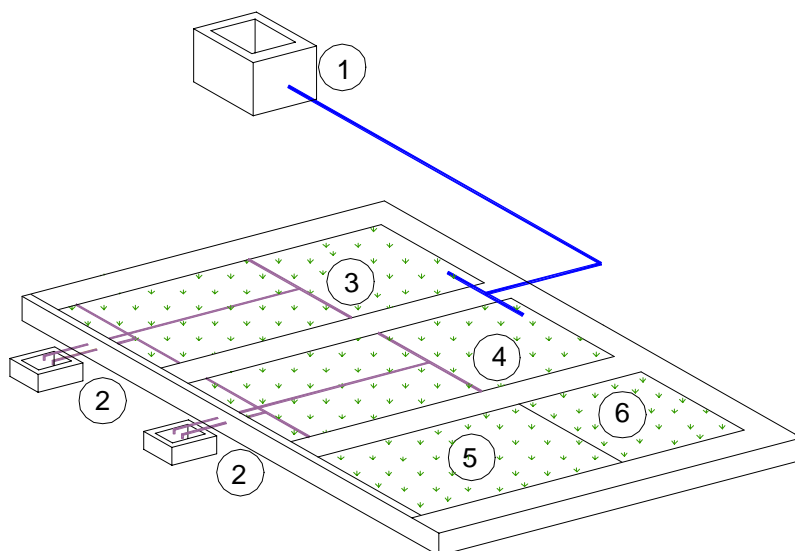


Figura 4 - Esquema da área de plantio. Legenda: 1. Esgoto tratado; 2. Efluente dos tabuleiros; 3, 4. Tabuleiros irrigados com esgoto; 5, 6. Tabuleiros irrigados com água



Figura 5 - Foto dos tabuleiros

O turno de rega aplicado nos tabuleiros foi de 3 dias de irrigação por período igual de descanso, recebendo uma carga hidráulica contínua de 20 mm/dia, alimentados a partir de tubo de PVC de 50mm de diâmetro, sendo modificado posteriormente para 2 dias de aplicação por 5 dias de descanso, com carga hidráulica da ordem de 57mm/dia.

A irrigação foi efetuada com esgoto essencialmente doméstico, tratado em um sistema decantodigestor seguido de filtros anaeróbios.

Os líquidos foram monitorados na entrada e na saída do tabuleiro, com coleta através de dreno. Os parâmetros físico-químicos analisados nos esgotos foram pH, dureza, condutividade elétrica, alcalinidade (carbonato e bicarbonato), cátions (cálcio, magnésio, sódio, potássio), somados aos parâmetros do tratamento do esgoto como sólidos suspensos, DQO total e filtrada, nitrogênio

amoniaco, nitratos e fósforo, segundo o Standard Methods for the Examination Water and Wastewater (AWWA/APHA/WEF, 1995).

Os parâmetros do solo estudados foram pH, condutividade elétrica, hidrogênio, alumínio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, sódio, feitos segundo os métodos da EMBRAPA, 1979.

Foram obtidos os dados pluviométricos do período estudado na estação de meteorologia da UFRN.

Foi efetuado o cálculo da RAS (relação de adsorção de sódio) do esgoto usado para irrigação dos tabuleiros na entrada e na saída, assim como foi feito a P.S.T. (percentagem de sódio trocável) do solo no período estudado.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se através da RAS e da condutividade elétrica (CE) dos efluentes da bacia de infiltração, com valores médios de 4,79 e 668,18 microS/cm respectivamente, que a qualidade do afluente tem uma classificação C2-S1 segundo o diagrama (figura 06) do “U.S. Salinity Laboratory Staff (citado por Salassier, 1995), que é uma classificação com poucas restrições para uso em irrigação levando em consideração a salinidade e alcalinidade (sodicidade).

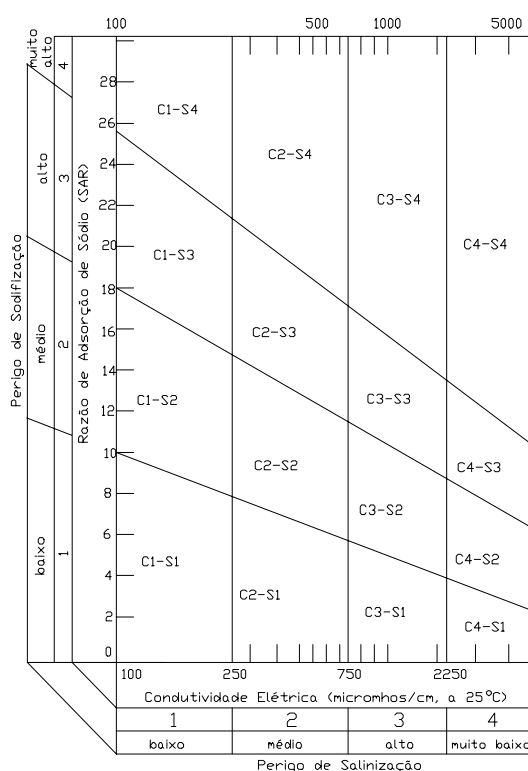


Figura 6 - Diagrama esquemático para classificação da água para irrigação (fora de escala)

Da mesma forma, nos tabuleiros, os valores da RAS e condutividade elétrica (CE) dos efluentes do sistema, com valores médios de 5,62 e 668,18 microS/cm respectivamente, mostram que a qualidade na entrada tem uma classificação C2-S1 segundo o diagrama supra citado. Na saída, a classificação aumenta para C2-S2 com valores da ordem de 9,94 e 473,18 microS/cm para RAS e CE respectivamente. Esse acréscimo, indica a ocorrência de lixiviação dos sais que estão sendo adicionados através do esgoto no processo de pós-tratamento. Por outro lado, essa passagem das

características de C2-S1 para C2-S2 pode ser acarretado pela absorção do cálcio e do magnésio através das raízes da gramínea.

A evolução vertical da percentagem de sódio trocável (PST) obtidos no perfil do solo da bacia pode ser observado na figura 07, onde é possível notar que há um aumento da salinidade diretamente proporcional a profundidade. Na altura do segundo dreno, 1,2 metros de profundidade, observa-se que existe um acréscimo da salinidade, voltando a decrescer no terceiro dreno, 2,2 metros de profundidade, onde o aumento passa a ser gradativo até o último dreno na profundidade de 4,40 metros. Esse aumento na salinidade a profundidade de 1,2m pode ser explicado pela ação das forças de Van der Waals, implicando em adsorção dos sais sobre as partículas coloidais de natureza orgânica e inorgânica ali existentes.

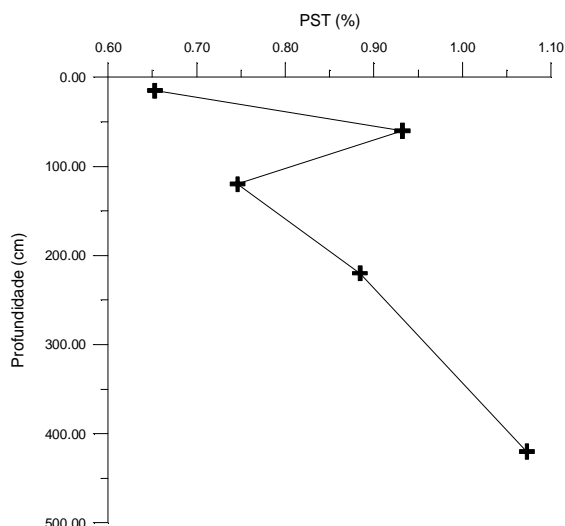


Figura 7 - Comportamento da salinidade PST(%) x Profundidade(cm) na bacia de infiltração

Na figura 08 estão plotados os valores da PST do solo utilizado como testemunha, nele observa-se também que há um aumento gradativo na concentração de sais em profundidade, não obstante nessa área não ter havido nenhum tipo de irrigação. Dessa forma, infere-se que a salinidade no solo em estudo é oriunda exclusivamente da lixiviação natural do mesmo através das precipitações pluviométricas. Esse aumento nas concentração são bastante inferiores aos acréscimos encontrados na área da bacia de infiltração; sendo o maior valor da PST da área testemunha 0,70%, enquanto que o menor valor encontrado na área da bacia de infiltração 0,65%. Isso mostra nitidamente um aumento na concentração dos sais nos solos utilizados como destino final de efluentes.

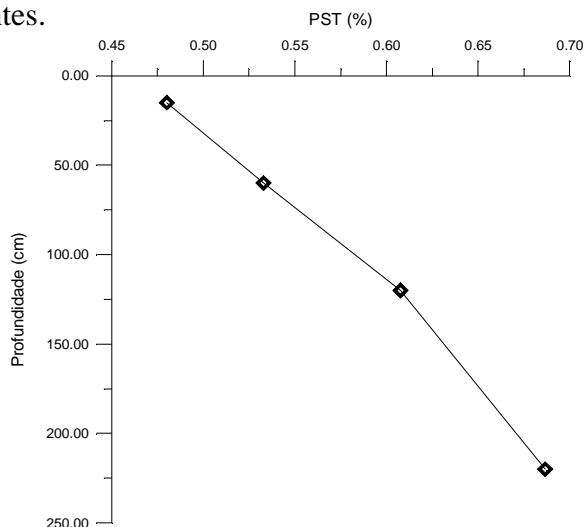


Figura 8 - Comportamento da salinidade PST(%) x Profundidade(cm) no solo testemunha



Por outro lado, fica também evidenciado que o aumento na PST não chega ser suficiente para causar limitações em seus usos, visto que o maior valor encontrado foi de 1,07% na bacia de infiltração a uma profundidade de 4,2m. o que não classifica o solo como salino; além disso, trata-se de um solo sem camadas de impedimento a sua drenagem, tornando possível lixiviações periódicas.

Quanto ao tratamento dos efluentes, como mostra a tabela 01, a bacia de infiltração mostrou redução nas concentrações de todos os parâmetros estudados, excetuando-se as concentrações de nitrato onde houve um acréscimo bastante significativo. Isso ocorre evidentemente pela nitrificação na presença do oxigênio existente nos interstícios do solo, ou seja na porosidade do solo.

Tabela 1 - Taxas de remoção dos parâmetros de tratamento de esgotos na bacia de infiltração

Parâmetro	Efluente	Afluente B1	Afluente B2	Afluente B3	Unidade
COT	13,0	5,2	4,0	3,2	mg/l
DQO <sub>t</sub>	127	66	56	48	mg/l
DQO <sub>f</sub>	83	44	37	29	mg/l
SS	19,0	6,9	6,3	2,6	mg/l
Nitrato	1,35	15,86	15,80	15,78	mg/l
N-Amoniacal	40,98	-	25,26	10,30	mg/l
Fósforo	2,16	1,74	1,79	183	mg/l

Os valores da percentagem de sódio trocável (P.S.T.) no solo dos tabuleiros, estão representados graficamente na figura 09. Antes de ter início a aplicação dos efluentes tratados no solo, ainda no ano de 1998, o valor da PST foi de 0,82%, Após ter início a disposição no solo, constatou-se um pico de 3,72% sem no entanto denotar uma tendência específica nem crescente nem decrescente.

A análise dos dados obtidos da P.S.T., mostra claramente que, para as condições da pesquisa, não houve acúmulo progressivo de sódio no solo, demonstrando que não se terá problemas de sodificação ao longo do tempo com a disposição dos esgoto no solo arenoso objeto do nosso estudo, devido a sua alta permeabilidade e baixa CTC. Dessa forma todos os sais são lixiviados pelo próprio esgoto aplicado, ou nas águas das chuvas. Como pode ser observado através dos dados pluviométricos na tabela 02, houveram grandes precipitação no período fevereiro a junho de 1999, onde, os valores da PST passaram de 3,72 no referido mês para 0,57 em período posterior do mesmo ano.

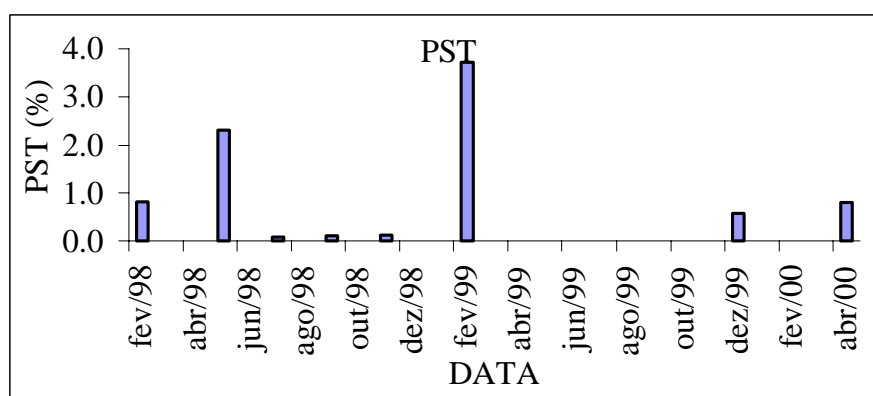


Figura 9 - PST em função do tempo



Tabela 2 - Dados pluviométricos dos anos de 1998, 1999 e 2000

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Unid
1998	48,7	78,3	80,5	74,7	202,7	210,0	788,3	138,9	19,0	13,7	8,5	17,0	mm
1999	12,6	143,8	139,2	175,8	289,5	131,5	31,1	49,8	51,1	14,5	5,2	60,9	mm
2000	50,0	83,9	114,9	177,4	230,3	577,4	482,3	288,8	205,1	8,7	12,1	23,0	mm

Observa-se também que quando se teve o primeiro turno de rega de três dias de aplicação por três dias de descanso as taxas de remoção de matéria orgânica particulada, foram da ordem de 51% para  $DQO_t$  e de 41% para SS, como podem ser observados pela tabela 03, já para matéria orgânica dissolvida obteve-se valores de 55% e 49% para os parâmetros  $DQO_f$  e COT respectivamente.

Tabela 3 - Taxas de remoção dos parâmetros de tratamento de esgotos

Parâmetro	Turno de rega 3 por 3 dias			Turno de rega 2 por 5 dias			Unidade
	Efluente	Afluente	Remoção %	Efluente	Afluente	Remoção %	
COT	21,4	10,9	49,0	16,7	9,4	43,6	mg/l
$DQO_t$	104,6	51,0	51,3	117,3	52,7	55,1	mg/l
$DQO_f$	69,2	30,9	55,4	78,1	43,9	43,8	mg/l
SS	25,7	15,0	41,5	22,8	6,7	70,5	mg/l
Nitrato	3,5	7,3	-	1,5	3,0	-	mg/l
NTK	39,3	8,7	78,0	46,3	11,0	76,3	mg/l
N-Amoniacal	34,0	4,0	88,3	27,2	0,7	97,4	mg/l
Fósforo	1,81	0,37	79,3	1,69	0,09	94,8	mg/l

Quando optou-se pelo segundo turno de rega com aplicação de dois dias por cinco dias de descanso, observou-se que, em termos de matéria orgânica particulada a remoção de  $DQO_t$  foi da ordem de 55% e não apresentou grandes variações. Entretanto, os valores de Sólidos Suspensos em níveis de 70% representa um acréscimo considerável, possivelmente devido ao maior tempo de detenção acarretando a sedimentação e também acúmulo, mesmo que de forma transiente. Assim sendo, para DQO e COT foi constatado que a maior aeração promovida pelo segundo turno de rega não foi suficiente para favorecer a bioconversão de forma significativa.

Observa-se também nesse novo turno de rega que os nutrientes fósforo e N-amoniacal obtiveram aumentos nas remoções, da ordem de 79% para 94% e de 88% para 97% respectivamente, o que se deve ao maior tempo de contato entre as raízes das plantas e o fósforo facilitando assim sua absorção, bem como maior nitrificação pela aeração do solo.

## CONCLUSÕES

Não há restrições em se utilizar solos de classe textural do tipo areia franca, e sem impedimentos a sua drenagem ao longo do seu perfil, para pós tratamento de esgotos domésticos.

A salinidade não se acumula nesses tipos de solo em níveis que inviabilizem sua utilização a longo prazo, devendo se realizar lixiviações periódicas.

Para solos com classificação textural de areia franca, nota-se que não existe tendência ao acúmulo progressivo de sódio nem sais, devido possivelmente a lixiviações pelas irrigações freqüentes ou mesmo pelas águas das chuvas.

Para turno de rega menos freqüentes há um aumento na remoção de nitrogênio e fósforo, devido certamente ao maior tempo de contato entre às raízes e a solução do solo, com maior nitrificação do devido a aeração através do espaço intersticial.

Na bacia de infiltração houve um acréscimo de nitrato em profundidade, o que pode acarretar uma poluição do aquíferos suterrâneos.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AWWA/APHA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19<sup>a</sup> ed. Washington, 1995.
- BERNSTEIN, I. Crops Growth and Salinity. In Schilfgarde, I Vam ed Drenaige for Agriculture. American Society of Agronomy. Madison. (ASA. Agronomy, 17) p.39-99, 1974.
- DAKER, A. Irrigação e Drenagem; A água na agricultura, 3<sup>o</sup> vol., 7<sup>a</sup> ed. ver. ampl. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1988.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Ministério da Agricultura – Rio de Janeiro, 1979.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2<sup>a</sup> ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.
- GERVÁSIO, E.S.; CARVALHO, J.de A. & SANTANA, M.J.de. Efeito da Salinidade da Água de Irrigação na Produção da Alface Americana. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.125-128, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 2000.
- SALASSIER, B. Manual de Irrigação, 6<sup>a</sup> ed. Viçosa: UFV, Impr. Uni., 1995.
- SOUZA, L.C.de; QUEIROZ, J.E. & GHEYI, H.R. Variabilidade Espacial da Salinidade de um Solo Aluvial no Semi-Árido Paraibano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.35-40, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 2000.
- WITHERS, B. & VIPOND, S. Irrigação. Projeto e Prática. Tradução de Francisco da Costa verdade. São Paulo, EPV. Ed. da Universidade de São Paulo, 1977.