

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

TARCISIO BATISTA DANTAS

NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO NO SOLO E NA ÁGUA DECORRENTES DO USO DE EFLUENTES
EM PERÍMETRO URBANO

MOSSORÓ - RN
FEVEREIRO 2012

TARCISIO BATISTA DANTAS

NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO NO SOLO E NA ÁGUA DECORRENTES DO USO DE EFLUENTES
EM PERÍMETRO URBANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Ferreira Neto

MOSSORÓ - RN

2012

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

D192n Dantas, Tarcísio Batista.

Níveis de contaminação no solo e na água decorrentes do
uso de efluentes em perímetro urbano. / Tarcísio Batista
Dantas -- Mossoró, 2012.
46f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo. Área de
concentração: Agronomia e Ciência do solo) – Universidade
Federal Rural do Semi-Árido.

Orientador: Profº. D.Sc. Miguel Ferreira Neto.

Co-orientador: Profº. D.Sc. José Simplicio de Holanda.

1.Salinidade. 2.Metals Pesados. 3.Matéria Orgânica. 4.
Remoção. I.Título.

CDD: 631.82

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB15 120

TARCISIO BATISTA DANTAS

NÍVEIS DE CONTAMINAÇÃO NO SOLO E NA ÁGUA DECORRENTES DO USO DE
EFLUENTES EM PERÍMETRO URBANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte dos requisitos para obtenção do título de “Mestre em Ciência do Solo”.

APROVADO EM: ____/____/____

Dr. Miguel Ferreira Neto - UFERSA
Orientador

Dr. José Simplicio de Holanda - EMBRAPA
Conselheiro

Dr. Sandra Maria Campos Alves – UFERSA
Conselheiro

Dedico esta dissertação, sobretudo a **Deus** por tudo que representa.

Com muito carinho a minha esposa **Valdete Ana de Medeiros Dantas**, Filhos: **Katiuce Glyce de Medeiros Dantas e Kledson de Medeiros Batista Dantas**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à **Deus**, a quem tenho muita fé, responsável por todas as conquistas da minha vida;

A minha esposa *Valdete Ana de M. Dantas* e filhos *Katiuce e Kledson* pelo confiança e incentivo a minha realização profissional, aos meus irmãos pelo apoio nas minhas ausências;

Ao meu ORIENTADOR, o professor Dr. Miguel Ferreira Neto e co-orientador Dr. José Simplicio de Holanda, por acreditar em minha capacidade, ajudando nos conhecimentos técnicos científicos e por ter me dado a chance de crescer profissionalmente;

Os Professores Esterfeson Bezerra de Melo e Sandra Maria Campos Alves pelo apoio na realização da análise Estatística e Discussão dos resultados;

A EMBRAPA e EMPARN pelo apoio financeiro e autorização para realização do sonhado curso de Mestrado;

A UFERSA e todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelos ensinamentos prestados;

Aos Proprietários Amauri, Quelim e Vicente pelo consentimento da pesquisa em seus lotes de terras;

A todos os meus colegas do Laboratório, Valdo, Ronildo, Ernesto, Alfredo, Marcos, Gley, Fátima, Ligia, Socorro, Ângela e Miriam, pela realização das análises laboratoriais.

À todos o meu MUITO OBRIGADO!

RESUMO

TARCISIO BATISTA DANTAS. **Níveis de contaminação no solo e na água decorrentes do uso de efluentes em perímetro urbano.** Mossoró - RN, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Fevereiro de 2012. 46 p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo. Orientador: Professor Dr. Miguel Ferreira Neto.

A qualidade de água residuária constitui-se como a principal limitação para produção agrícola, carecendo de pesquisas que permitam avaliar seu reuso sustentável. O reuso na agricultura é apontado por especialistas como forma eficaz no destino final de água residuária. A técnica de disposição superficial no solo vem sendo estudado como alternativa promissora para produção de forragens. Neste sentido, objetivo deste trabalho foi caracterizar o efluente de esgoto urbano e avaliar os índices de contaminação de compostos orgânicos e metais pesados no solo cultivado com capim elefante irrigado com água residuária na periferia de Caicó/RN. O presente estudo foi realizado na zona periférica de Caicó. Sendo uma área irrigada com água do rio livre de esgoto à montante da cidade, denominada de área referência (AR), e três áreas localizadas a jusante em locais irrigados com água de esgoto há 20, 36 e 48 anos no cultivo de capim elefante. Em cada local foi demarcada uma parcela de 25x25m onde se coletou ao acaso amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-20, 20-40 e 40-60 cm com três repetições, nos meses de julho/10, dezembro/10 e maio/11. A amostragem de água realizou-se durante estação seca da região nos meses de julho, outubro, dezembro/10 e maio, setembro/11 nos locais de captação de água residuária de origem urbana para irrigação. Os parâmetros analisados na água foram: CE e pH no local de coleta, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Zn, Cu, Fe, Mn, Cd, Pb, Cr, Ni e P (total), N (Kjedhal), N-NH_3 , além de DQO, DBO e coliformes fecais e totais. E no solo analisou-se Cr, Cd, Ni, Pb, Zn, Cu, Mn, Na, K, N e P além da MO, CE_{es} e pH. O monitoramento da água residuária apresentou risco de toxicidade moderada e alta, classe de média e alta salinidade com baixa concentração de metais pesados e densidade de DBO e coliformes acima dos padrões recomendados pela CONAMA. As profundidades de 0 a 5 e 5 a 20cm do solo das áreas irrigadas com esgoto apresentaram diferença significativa. De modo geral, o lançamento de esgoto no solo durante estação seca aumentou a concentração de composto orgânico e inorgânico no solo comparado ao local AR, sendo observada elevada remoção após período chuvoso. Em geral, a qualidade da água residuária não apresenta risco de impacto ambiental negativo se forem utilizadas técnicas de aplicação apropriada para água de qualidade inferior. Demonstrando que o reuso é fonte alternativa viável de água para produção de forragem, sobretudo em região de clima Semi Árido como Nordeste brasileiro.

Palavras-chave: Salinidade. Metais Pesados. Matéria Orgânica. Remoção

ABSTRACT

TARCISIO BAPTIST DANTAS. **Contamination levels in soil and water resulting from the use of wastewater in urban perimeter.** Mossoró - RN, Universidade Federal Rural do Semi-Arid (UFERSA), February 2012. 46 p. Dissertation. Graduate Program in Soil Science. Advisor: Professor Dr. Miguel Ferreira Neto.

The quality of wastewater constitutes itself as a major limitation for agricultural production, lacking research to assess their sustainable reuse. The reuse in agriculture is pointed to by experts as an effective way to the final destination of wastewater. The technique available in the soil surface has been studied as a promising alternative for fodder production. In this sense, objective of this study was to characterize the effluent from urban sewage and evaluate the contamination levels of organic compounds and heavy metals in soil planted with elephant grass irrigated with wastewater in the outskirts of Caicó / RN. This study was conducted in the peripheral zone of Caicó. Being an area irrigated with river water free from sewage upstream of the city, called the reference area (RA), and three areas located downstream in areas irrigated with wastewater for 20, 36 and 48 years in the cultivation of elephant grass. At each site was demarcated a portion of 25x25m where randomly collected soil samples at depths 0-5, 5-20, 20-40 and 40-60 cm with three replicates in the months of julho/10, and dezembro/10 maio/11. The water sampling was conducted during the dry season in July, October and May and setembro/11 dezembro/10 and the local water catchment from urban wastewater for irrigation. The parameters analyzed in the water were: EC and pH at the collection site, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Zn, Cu, Fe, Mn, Cd, Pb, Cr, Ni and P (total), N (Kjedhal), $\text{NH}_3\text{-N}$, and COD, BOD and fecal coliforms. And the soil analyzed as Cr, Cd, Ni, Pb, Zn, Cu, Mn, Na, K, N and P in addition to the MO, CE and pH. The wastewater monitoring the risk of toxicity showed moderate to high, middle class and high salinity with low concentration of heavy metals and BOD and coliform density above the standard recommended by CONAMA. Depths of 0 to 5 and 5 to 20cm of soil from areas irrigated with wastewater showed a significant difference. In general, the release of sewage into the soil during the dry season increased the concentration of organic and inorganic nitrogen in the soil compared to the local HR, high removal was observed after the rainy season. In general, the quality of wastewater no risk of adverse environmental impact if application techniques appropriate for water of inferior quality. Showing that reuse is a viable alternative source of water for forage production, especially in semi-arid climate region like Northeast Brazil.

Keywords: Salinidade. Heavy Metals. Organic Matter. Removal

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição total média (mg L^{-1}) de metais pesados na água residuária dos Rios Seridó e Barra Nova.....	18
Tabela 2. Concentração média de íons solúveis da água residuária dos Rios Seridó e Barra Nova.....	21
Tabela 3. Composição de Nitrogênio (mg L^{-1}), Demanda Química e Biológica de Oxigênio e Contaminação por coliformes totais e fecais na água dos rios Seridó e Barra Nova.....	23
Tabela 4. Análise fatorial extraída da ACP dos parâmetros físicos químicos e metais pesados correspondente ao mês de julho/10 e maio/11 e suas respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total, variância acumulada e comunalidade.....	34
Tabela 5. Análise fatorial extraída da ACP dos parâmetros físicos químicos e metais pesados correspondente mês dezembro/10 e suas respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total, acumulada e comunalidade.....	36
Tabela 6. Caracterização média dos parâmetros físico químico do solo nos dois períodos monitorados.....	38
Tabela 7. Médias (mg kg^{-1}) de metais pesados do solo nos três períodos monitorados.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem de satélite do experimento.....	15
Figura 2. Água do rio Barra Nova a jusante de Caicó (A) e capim elefante irrigado (B).....	16
Figura 3. Equação do cálculo da RAS água.....	17
Figura 4. Gráfico de dispersão mostrando a relação entre fatores 1 e fator 2 de julho/10 e maio/11.....	33
Figura 5. Gráfico representando a relação entre fatores 1 e 2 (A) e da distribuição da nuvem de variáveis (B) correspondente ao mês de dezembro/10 extraída pelo método das Componentes Principais.....	33
Figura 6. Gráfico de dispersão mostrando a relação entre fatores 1 e 2 (A) projeção das variáveis no círculo de correlação unitária das variáveis (B) correspondente ao mês de dezembro/10.....	35
Figura 7. Variação média no conteúdo de Cd no solo.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO ÁGUA RESIDUÁRIA.....	14
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.1 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETAS.....	15
2.2 AMOSTRAGENS.....	16
2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS ÁGUA.....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
3.1 COMPOSTOS QUÍMICOS TOTAIS DISSOLVIDOS NA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	17
3.2 PARÂMETROS DE SALINIDADE NA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	19
3.3 PARÂMETROS INORGÂNICO DA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	22
3.4 COMPOSIÇÃO ORGÂNICAS NA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	23
3.5 DENSIDADE MICROBIANA NA ÁGUA RESIDUÁRIA.....	24
4. CONCLUSÕES ÁGUA RESIDUÁRIA.....	24
5. LITERATURA CITADA.....	25
6. INTRODUÇÃO SOLO.....	29
7. MATERIAL E MÉTODOS SOLO.....	30
7.1 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETAS DE SOLO.....	30
7.2 AMOSTRAGEM DE SOLO.....	31
7.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS SOLO.....	32
8 . RESULTADOS E DISCUSSÃO SOLO.....	32
8.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM JULHO/10 E MAIO/11.....	32
8.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM DEZEMBRO/2011.....	35
8.3 MATERIA ORGÂNICA NO SOLO.....	37
8.4 METAIS PESADOS NO SOLO.....	40
8.5 EFEITOS DA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS DO SOLO DURANTE ESTAÇÃO CHUVOSA.....	42
9. CONCLUSÕES SOLO.....	43
10. LITERATURA CITADA SOLO.....	44

RESUMO

TARCISIO BATISTA DANTAS. Qualidade da água residuária de origem urbana destinada à irrigação de forrageiras. Mossoró – RN, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Fevereiro de 2012. 46 p. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Professor Dr. Miguel Ferreira Neto.

A qualidade de água residuária constitui-se como a principal limitação para produção agrícola, carecendo de pesquisas que permitam avaliar seu reuso sustentável. O objetivo deste trabalho foi monitorar a qualidade química e biológica da água de origem urbana dos rios Seridó e Barra Nova em Caicó/RN durante o período de irrigação de capim elefante na estação seca do ano. O presente estudo foi realizado na zona periférica de Caicó, nos locais de instalação de bomba de captação de esgoto. A coleta de água foi realizada no rio em local livre de esgoto situado a montante da cidade, denominado de área de referência (AR) e em três locais 02, 03 e 04 localizados à jusante. Os parâmetros analisados foram CE e pH no mesmo local de amostragem, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Zn^+ , Cu^+ , Fe^+ , Mn^+ , Cd^+ , Pb^+ , Cr^+ , Ni^+ , P (total), N (Kjedhal), N- NH_3 , além de DQO, DBO e coliformes fecais e totais. O monitoramento da água residuária apresentou risco de toxicidade moderada e alta, classe de média e alta salinidade com baixa concentração de metais pesados e densidade de DBO e coliformes acima dos padrões recomendados pela CONAMA. Em geral, a qualidade da água residuária não apresenta risco de impacto ambiental negativo se forem utilizadas técnicas de aplicação apropriada para água de qualidade inferior.

Palavras-chave: Salinidade. Metais pesados. Forragens. Coliformes.

ABSTRACT

TARCISIO BATISTA DANTAS. Water quality from urban wastewater for irrigation of fodder. Mossoró – RN, Rural Federal University of Semi-Arid (UFERSA), February 2012. 46 p. Dissertation. Graduate Program in Soil Science. Advisor: Professor Dr. Miguel Ferreira Neto.

The quality of wastewater is to the main constraint to agricultural production, but require more research to assess their sustainable reuse. The objective of this study was to monitor chemical and biological quality of water from urban rivers Seridó and Barra New in Caicó / RN during the irrigation of elephant grass. This study was conducted in the peripheral zone of Caicó at exactly the same site of capture sewage pump. The collection of water in the river was conducted in a free drainage upstream of the city, called the reference area (RA) and three locations 02, 03 and 04 located downstream. The parameters studied were CE_{es} and pH in the same sampling site, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Zn^+ , Cu^+ , Fe^+ , Mn^+ , Cd^+ , Pb^+ , Cr^+ , Ni^+ , P (total), N (Kjedhal) NH_3-N , in addition to DQO, DBO and fecal and total coliform. The monitoring of wastewater toxicity risk showed moderate and severe, middle class and high salinity with low concentration of heavy metals and composition of DBO and coliforms above the standard recommended by CONAMA. In general the quality of wastewater does not offer negative environmental impact if used application technique suitable for lower quality water.

Keywords: Salinity. Heavy metals. Forage. Coliforme.

1. Introdução

Em regiões de clima Semi Árido como no Nordeste brasileiro a água de boa qualidade é recurso natural limitado e juntamente com os baixos índices pluviométricos anuais da região, afetam o desenvolvimento da agricultura, em particular dos pequenos agricultores que não dispõem de fontes alternativas de água para manter sua produção durante a estação seca. O desenvolvimento de tecnologia sustentável que permita atender a demanda por água pela população, indústria e agricultura é um grande desafio da sociedade moderna. O reuso planejado e controlado de efluente na agricultura apresenta-se como alternativa promissora para minimizar o problema da escassez de água em região como nordeste brasileiro Paganini (2003).

A técnica de disposição controlada e planejada de água residuária no sistema solo e planta além de fornecer água para produção agrícola, supre também parte da demanda nutricional das culturas, reduzindo o uso de fertilizante no solo Medeiros et al. (2005). Essa é uma forma de destino final de esgoto que tem sua carga poluidora reduzida por processos físicos, químicos e biológicos do solo, diminuindo o impacto ambiental nos corpos receptores de água de esgoto urbano. Todavia, segundo Ayers e Westcot (1999) a principal limitação do reuso na agricultura é o conteúdo de nutrientes, presença em alta concentração de íons específicos como Sódio e ou Cloreto na água e a tolerância das culturas.

A carga de compostos químicos como metais pesados (Cd, Cr, Pb e Ni) na água que se destina a irrigação é outro parâmetro que merece atenção, em caso de suspeita de contaminação recomenda-se a avaliação da qualidade da água Holanda et al. (2010). O acúmulo destes compostos no perfil do solo pode propiciar fitotoxicidade as plantas ou constituir em risco a saúde humana, pela introdução na cadeia alimentar dos animais consumidores Paganini (2003).

As águas residuárias são ricas em substâncias químicas e biológicas de risco potencial a saúde humana, quanto a essas características o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA e Companhia de Tecnologia em Saneamento Ambiental - CETESB estabelecem limites agrônômicos e ambientais aceitáveis para água de reuso na agricultura. A concentração dos metais pesados, conteúdo total de sais e biológicos são apontados como parâmetros essenciais na avaliação da qualidade de água residuária destinada à

irrigação. A prática de aplicação superficial de efluente no solo para produção de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) tem sido demonstrada por Sanchez (1976), Marques (2004) e Mato (2010) apontado como excelente alternativa para produção de forrageiras e tratamento final de efluente. Em vista dessa cultura apresentar características ideais para a irrigação com águas residuárias, sendo até mesmo recomendado o uso de efluentes com tratamento primário na sua irrigação Metcalf e Eddy (1991). Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade química e biológica na água de origem urbana dos Rios Seridó e Barra Nova em Caicó/RN durante o período de irrigação.

2 Material e Métodos

2.1 Localização dos pontos de coletas

A área de estudo está localizada na periferia da cidade, onde finaliza as edificações urbanas e inicia a zona rural, distribuídas nas margens dos Rios Seridó e Barra Nova pertencentes à bacia hidrográfica do Seridó e Itans a jusante e montante de Caicó/RN. Foram escolhidos quatro locais: AR (área de referência) localizada a montante da cidade livre do lançamento de efluente de esgoto urbano, (02) na Ilha de Santana próximo ao local de lançamento de esgoto, ambas no Rio Seridó e os locais 03 e 04 situado no rio Barra Nova a jusante da cidade. Coordenadas Geográficas: AR ($6^{\circ}28'19''S$ e $37^{\circ}03'12''W$), 02 ($6^{\circ}27'35''S$ e $37^{\circ}05'56''W$), 03 ($6^{\circ}27'44''S$ e $37^{\circ}06'26''W$) e 04 ($6^{\circ}27'31''S$ e $37^{\circ}06'22''W$). A coleta foi realizada exatamente no mesmo local de captação de água de esgoto para irrigação de capim elefante, como pode ser visualizado na figura 1.



Figura 1- Imagem de satélite das áreas de referência (A) irrigada com água do rio livre esgoto; locais 02, 03 e 04 irrigado com água residuaria de origem urbana.

2.2 Amostragens de água

As amostras de água livre de esgoto e a água residuária foram coletadas nos meses de julho, outubro e dezembro de 2010, e em maio e setembro de 2011, no mesmo local de instalação de bombas de captação da água do rio para irrigação de capim elefante. A figura 2 mostra a paisagem natural do rio Barra Nova com fluxo de água a jusante da cidade (A) e (B) as características da forrageira irrigada com água residuária do rio.

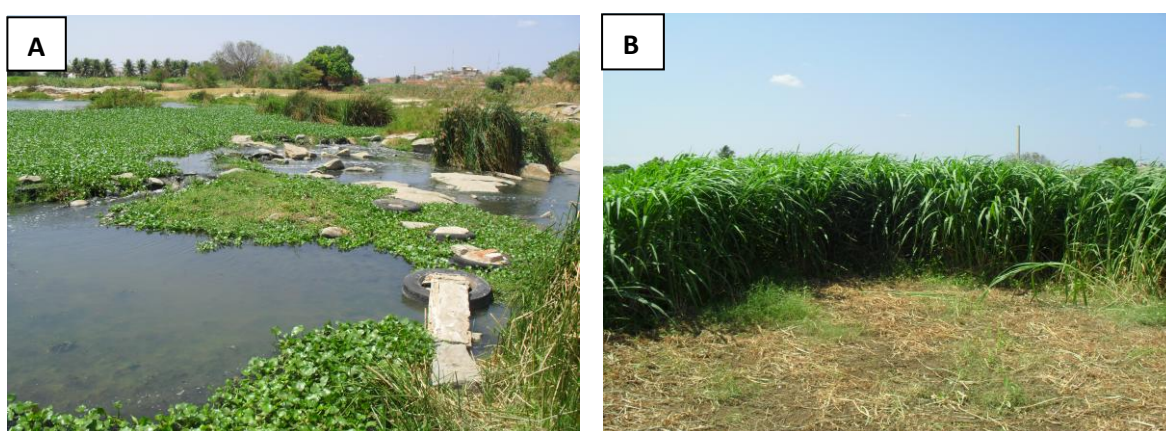


Figura 2. Água do rio Barra Nova a jusante de Caicó (A) e capim elefante irrigado (B)

Para coleta de água adotou-se a metodologia recomendada pelo CONAMA, determinando a CE e pH no próprio local, para em seguida ser acondicionadas em dois recipientes de 1L, sendo uma garrafa de vidro tratada com ácido Nítrico até pH 2 e a garrafa Pet sem tratamento. Ambas as garrafas foram condicionadas em caixa de isopor à baixa temperatura com gelo e imediatamente transportadas ao laboratório da EMPARN Natal/RN, onde foram feitas as demais análises utilizando a metodologia do Standard Methods for the Examinations of Water and Wasterwater of AWWA 20 Edition, 1998.

Nas amostras de água contidas nas garrafas Pet sem adição de ácido, foram efetivadas as análises biológicas: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5); Demanda Química de Oxigênio (DQO) sistema aberto; Coliformes totais e fecais pelo método membrana filtrante, além do Nitrogênio orgânico total Kjeldhal (NTK) com adição de MgO e Liga devarda em destilador TE 036/1 e nitrogênio amoniacal (NH_4^+) método do colorimétrico usando reagente de Nessler; fósforo total (PT) em molibdato de amônio

usando colorímetro fotoelétrico B 340; Potássio (K^+) e Sódio (Na^+) fotometria de chama B462. A RAS foi estimada pela Eq. 1:

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

Figura 3. Equação do cálculo da RAS água.

Onde,

Na, Ca e Mg – concentração na água residuária, em $mmol_c L^{-1}$.

Nas garrafas de vidro tratada com ácido analisou-se os metais pesados totais: Cd, Pb, Ni, Cr, Zn, Cu, Fe e Mn no Espectro Fotômetro de Absorção Atômica modelo Spectr AA 220 do Laboratório da EMPARN, empregando metodologia APHA 1998.

2.3 Análises estatísticas e classificação da água

A análise estatística foi realizada por análise descritiva, considerando os parâmetros médios e desvio padrão e comparando-os com o local de referência, Resolução 430 do CONAMA (2010) e CETESB Decreto Estadual 8.468/76. Para classe de salinidade foi adotado os parâmetros estabelecidos por Ayers e Westcot (1999) e Holanda et al. (2010) classificado quanto ao risco de salinidade (C), sodicidade (S) e toxicidade (T).

3. Resultados e discussão

3.1 Compostos químicos totais dissolvidos na água residuária.

O monitoramento da água residuária de origem urbana dos rios Seridó e Barra Nova realizado durante o segundo semestre de 2010 (julho, outubro e dezembro) e 2011 (maio e setembro), apresentou concentração de metais pesados satisfatória para reuso agrícola. De acordo com as médias dos dados (Tabela 1). Os elementos químicos de risco a saúde humana, tais como: Cr, Pb, Cd e Ni dissolvidos na água de rejeito urbano encontram-se em concentração abaixo dos valores de referência estabelecido pelo CONAMA e CETESB Decreto Estadual 8.468/76. Indicando que não há restrições quanto ao reuso na agricultura

para esses elementos, em vista dos níveis de concentração encontram-se nas diretrizes químicas apropriadas para reuso agrícola, não oferecendo de modo geral risco de poluição ambiental do solo.

Da mesma forma observa-se que as médias dos teores de micronutrientes totais: Zn, Cu, Fe e Mn dissolvidos na água residuária, comparados com (AR), com os níveis dos Órgãos ambientais CONAMA e CETESB de modo geral não se constata valores elevados. Apenas o local 02 apresentou média e desvio padrão dos valores de Ferro total um pouco maior comparado aos demais.

Entretanto, o reuso de água residuária de forma planejada com estas concentrações poderá ser reutilizada sem maiores danos ambiental, em vista que esse micronutriente em tal concentração não deve causar toxicidade a forrageiras. Já que o Fe é largamente controlado pelos óxidos hidratados, alta concentração de bicarbonato e excesso de P no solo, além do pH do solo, que diminui a disponibilidade do (Fe^{2+}) em aproximadamente mil vezes a cada unidade do aumento do pH na faixa de 4 a 9 Abreu et al. (2007).

Composição total em mg L^{-1} de 2,45; 0,013; 0,005 e 0,10 de Fe, Zn, Cu e Mn respectivamente, foi determinado em água residuária por Rodrigues (2009) quando avaliou-se aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo na UFCG -PB. Mostrando que os valores de Fe, Mn e Zn do local 02, que foi o ponto mais crítico em relação aos demais, encontram-se pouco acima das médias informados pelo Pesquisador.

Tabela 1 – Composição total média (mg L^{-1}) de metais pesados na água residuária dos Rios Seridó e Barra Nova.

Parâmetros Orgânicos	Referência	Local 02	Local 03	Local 04	CONAMA 430/2011	CETESB DC.8.468/76
Fósforo	$0,39 \pm 0,29$	$4,86 \pm 1,49$	$1,00 \pm 0,14$	$1,66 \pm 0,22$	0,15	-
Zinco	$0,01 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,20$	$0,01 \pm 0,006$	$0,01 \pm 0,007$	5,0	2,0
Cobre	$0,038 \pm 0,037$	$0,05 \pm 0,04$	$0,018 \pm 0,010$	$0,086 \pm 0,085$	1,00	0,2
Ferro	$0,251 \pm 0,062$	$2,56 \pm 2,15$	$0,489 \pm 0,213$	$0,59 \pm 0,26$	15,0	5,0
Manganês	$0,113 \pm 0,065$	$0,160 \pm 0,04$	$0,195 \pm 0,04$	$0,198 \pm 0,039$	1,00	0,20
Cromo	$0,004 \pm 0,001$	$0,005 \pm 0,004$	$0,003 \pm 0,002$	$0,003 \pm 0,003$	0,05	0,10
Cádmio	$0,002 \pm 0,002$	$0,002 \pm 0,002$	$0,004 \pm 0,004$	$0,002 \pm 0,002$	0,20	0,01
Chumbo	$0,025 \pm 0,014$	$0,050 \pm 0,024$	$0,031 \pm 0,023$	$0,025 \pm 0,020$	0,50	0,50
Níquel	$0,008 \pm 0,007$	$0,010 \pm 0,007$	$0,010 \pm 0,008$	$0,006 \pm 0,005$	2,00	0,20

Fonte: FAO and agriculture organization; Resolução CONAMA 430/11 e CETESB Decreto Estadual 8.468/76.

Já a concentração de fósforo total determinada nas águas dos pontos de coletas AR, 02, 03 e 04, os limites encontram-se acima dos padrões recomendado pela resolução 430 do CONAMA (2011). Até mesmo a água do local de referência obteve valor acima dos limites estabelecido pelo Órgão ambiental, porém de valor inferiores aos outros pontos estudados. Sendo a água do local 02 que apresentou maior média de fósforo ($4,86 \pm 1,49$) em relação aos demais, provavelmente devido à localização desse ponto, encontrando-se bem próximo ao local de lançamento de esgoto bruto da cidade, separado apenas pelo leito do rio.

Resultado semelhante foi identificado por Rodrigues (2009), ao avaliar impactos sobre a fertilidade do solo, decorrentes da aplicação de água residuária de origem doméstica, observando uma média de $4,60 \text{ mg L}^{-1}$ de P total contido na água de esgoto doméstico. Demonstrando que as águas dos Rios Seridó e Barra Nova possuem elevada carga de fósforo.

Estudo realizado por Medeiros et al. (2005) mostram valores médias de $12,64 \text{ mg l}^{-1}$ de fósforo total em água residuária pós tratamento, reportando que a disposição de lamina de 1201 mm/ano de esgoto filtrado no solo supriu a necessidade de fósforo para cafeeiro. Lucena et al., (2006) concluíram que o uso de efluente de esgoto tratado quando comparado com o uso da água de abastecimento, melhorou as propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico, no que diz respeito ao aumento dos teores de Fósforo e Matéria Orgânica do solo.

De modo geral, a concentração de fósforo em esgoto tratado destinado ao reuso na agricultura, não deve apresentar risco a biota do solo, já que o capim elefante absorve elevada concentração deste nutriente do solo, favorecendo equilíbrio nutricional do sistema solo planta. Isto também foi comprovado por Matos et al. (2010) quando relata que o capim elefante em três meses de cultivo conseguiu remover do solo de $0,39$ a $30,17 \text{ kg ha}^{-1}$ em rampa de tratamento de água residuária. Brasil et al. (2007) obtiveram remoção de $302 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de fósforo em sistema alagados construídos em escala reduzida, cultivado com capim elefante durante 3 meses, utilizando águas residuárias da suinocultura.

3.2 Parâmetros de salinidade na água residuária.

Tendo em vista as diretrizes apresentadas por Ayers e Westcot (1999) observando que, em se tratando de qualidade de água para irrigação quanto à salinidade, a água residuária não apresentou restrições para reuso na agricultura. Para a CE (dS m^{-1}), que

expressa à concentração de sais solúveis na água, as médias e desvio padrão (Tabela 2) de todos os locais encontram-se na faixa de classificação do risco de salinidade na classe C_2 , considerada de média salinidade. Comparando a água do local de referência com a qualidade da água dos pontos 02, 03 e 04, observa-se concentração de sais mais elevada na água residuária de todos os locais, sendo o local 02 de valor superior às demais.

Segundo Ayers e Westcot (1999) água com essa concentração pode ser aplicada em solo com capacidade de alta lixiviação e em culturas com níveis de tolerâncias altas como forrageiras. Quanto aos valores médios do pH na água residuária quando comparado a faixa preconizada pelo o CONAMA estão adequados para irrigação.

No que se refere a íons específicos como Sódio e Cloreto, considerados elementos mais propensos a causarem toxidez as plantas sensíveis a sais, os níveis de concentração da água dos locais de coletas encontram-se acima dos limites de 69 e 106, 5 (mg L^{-1}) respectivamente, preconizados pela Norma da CETESB. Conforme Ayers e Westcot (1999), de acordo com os dados das médias de Na^+ e Cl^- dissolvido na água residuária (Tabela 2) apenas o local 02 foi inserido na classe de toxicidade alta (T_3), considerado de risco de toxicidade severo às plantas de baixa resistência a sais, enquanto aos outros pontos de coleta obtiveram classe média (T_2) com problema moderado. Sendo a água do local de referência o que apresentou menor conteúdo de sódio dissolvido em relação à água residuária.

Mesmo a água de esgoto apresentando concentração de Na^+ e Cl^- alta não foi observado efeito fitotóxico na folha do capim elefante. Esse comportamento foi semelhante ao observado por Rodrigues et al. (2009) com concentração de 141,80 mg L^{-1} de sódio e 197,28 mg L^{-1} para cloreto, reportando que não foi observado efeito fitotóxico no cultivo da mamoneira decorrente da aplicação de água residuária no solo durante o ciclo de produção da cultura.

Segundo Ayers e Westcot (1999) e Holanda et al. (2011) os efeitos de toxicidade de Sódio e ou do Cloreto nas plantas sensíveis a sais podem ser amenizados, se o método de aplicação da água for dirigido ao solo, preferencialmente durante a noite ou nas horas mais frias do dia. Ademais, solo arenoso de alta permeabilidade com baixa capacidade de adsorção de íons favorece a lixiviação dos sais no perfil do solo, diminuindo os riscos de salinização do solo em vista da redução de acúmulo de sais nas partículas do solo.

Tabela 2 - Concentração média de íons solúveis da água residuária dos Rios Seridó e Barra Nova.

Parâmetros Orgânicos	Referência	Local 02	Local 03	Local 04	CONAMA 430/2011	CETESB DC.8.468/76
CE (dS m ⁻³)	0,78 ± 0,12	1,34±0,12	0,91 ±0,13	0,93±0,11	-	2,9
pH (25°C)	8,4 ± 0,4	7,10±0,34	7,0 ± 0,41	7,0±0,33	6,0a9,0	-
Cloreto (mg L ⁻¹)	201,62±79,29	248,0±17,03	203,5±26,7	207,04±21,88	250	106,5 mg L ⁻¹
Sódio (mg L ⁻¹)	129,64±36,14	220,8±51,7	150,4±18,1	153,85±18,42	-	69,0 mg L ⁻¹
Potássio (mg L ⁻¹)	7,53 ± 1,79	17,51±2,61	9,92±0,43	10,15±0,42	-	-
Cálcio (mg L ⁻¹)	9,83 ± 1,15	32,48±4,46	28,25±1,93	29,63±1,30	-	-
Magnésio (mg L ⁻¹)	13,33±1,53	20,25±2,06	18,75±2,22	19,25±1,71	-	-
RAS	6,38±2,04	6,70±0,65	5,01±0,22	5,11±0,36	-	9
STD (mg L ⁻¹)	502±74,8	859±74,6	584±80,3	594±69,3	-	-
Na (mmol _c L ⁻¹)	5,61	9,60	6,54	6,69	-	-
Classe das águas	C ₂ S ₂ T ₂	C ₂ S ₂ T ₃	C ₂ S ₃ T ₂	C ₂ S ₃ T ₂	-	-

Fonte: FAO and agriculture organization; Resolução CONAMA 430/11 e CETESB Decreto Estadual 8.468/76. Risco de Salinidade média C₂; risco de Sodicidade S_{2 (3)} crescente e severo; risco de Toxicidade por Na⁺ e ou Cl⁻ T_{2 (3)} média e alta.

Quanto ao conteúdo dos Cátions Ca⁺², Mg⁺² e K⁺ (Tabela 2) conforme Holanda (2008), Ayers e Westcot (1999), de modo geral os valores das médias e desvio estão adequados para uso na agricultura, já que são nutrientes essenciais para o desenvolvimento das culturas.

Para a CETESB um dos principais aspectos da qualidade de efluente destinado a irrigação é a razão de adsorção de Sódio (RAS), relação que melhor correlaciona com PST do solo e risco de salinidade com maior segurança (RAS com a Condutividade Elétrica da água CEa). Parâmetro que deve ser adotado a fim de avaliar os riscos de sodificação do solo, tendo em vista os problemas de permeabilidade provocado no solo pelo reuso de água com qualidade inferior. Os valores médios de RAS das águas, conforme o Órgão ambiental, Ayers e Westcot (1999), a classe de sodicidade da água do local de referência (AR) e local 02, se inserem na classe S₂, de risco de problema de infiltração no solo crescente, diferente dos locais 03 e 04 classificados como classe S₃ com problema severo.

De acordo com a CETESB para aplicação de efluente no solo com RAS acima de nove (9) há necessidade de considerar o grau de tolerância da cultura e a característica física e química do solo. Como a maioria das gramíneas apresentam alta tolerância a sais, a água residuária não oferece toxicidade para irrigação do capim elefante. Rodrigues et al. (2009) e Medeiros, et al. (2005) pesquisando a utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura determinaram valores de RAS de 3,55 e 3,30 respectivamente,

representando cerca da metade dos valores da RAS das águas residuárias monitoradas neste estudo.

Neste sentido, o reuso de água com estas características não apresenta risco ao sistema solo/planta, tendo em vista que o solo apresenta classe textural areia com alta capacidade de drenagem, favorecendo a lixiviação no perfil do solo. Nessa condição, as gramíneas em especial o capim elefante, tem alta capacidade de absorver do solo quantidades expressivas de nutrientes, proporcionando equilíbrio químico no ambiente.

3.3 Parâmetros Inorgânicos da água residuária.

A Tabela 3 mostra média e desvio padrão do nitrogênio amoniacal e total contido no efluente, observa-se que os teores dos pontos de coletas de água residuária ficaram muito acima do valor da água do local de referência, sendo a concentração dos locais a jusante ligeiramente inferior do local 02. Apenas a água desse local apresentou valor de N-NH_3 superior ao referenciado pelo CONAMA e CETESB. A razão provável disso deve-se a proximidade desse local do ponto de lançamento de esgoto urbano, separado apenas pelo leito do rio, tendo em vista que nitrogênio na água de esgoto no instante inicial de despejo encontra-se basicamente na forma de N-Org ou N-NH_4^+ e se modifica através da oxidação que se processa ao ar livre. O CONAMA e CETESB permitem padrão máximo de N-NH_4^+ (mg L^{-1}) de 13,3 e 20,0 respectivamente, em pH abaixo de 7,5.

Medeiros et al. (2005) objetivando investigar as alterações químicas do solo, em resposta à aplicação de água residuária filtrada de origem doméstica e comparar os resultados obtidos com o do manejo convencional, encontrou valor médio de $48,0 \text{ mg L}^{-1}$ de N-total em água residuária pós filtração, portanto, superior ao observado nestes locais monitorado. Também um valor mais elevado ($31,5 \text{ mg L}^{-1}$) foi registrado por Rodrigues et al. (2009), quando avaliavam os impactos sobre a fertilidade do solo, em resposta à aplicação de água residuária de origem doméstica, situando muito próximo do valor $29,6 \text{ mg L}^{-1}$ determinado no local 02 deste estudo. Isso indica que este local apresenta baixa capacidade de nitrificação decorrente do curto tempo no processo de autodepuração do ambiente aquático.

De acordo com Ayers e Westcot (1999), o nitrogênio contido na água de irrigação produz efeito nas plantas similar ao N dos fertilizantes, sendo que a aplicação de quantidades elevadas através da irrigação pode favorecer o crescimento vegetativo a ponto de retardar a maturação ou oferecer a obtenção de produtos de baixa qualidade.

Sabe-se que o nitrogênio tem grande mobilidade no perfil do solo, podendo lixiviar para camadas inferiores e contaminar a água subterrânea, todavia, conforme Sanchez (1976), como o capim elefante apresenta alta capacidade de remoção de N do solo, chegando a extrair de 144 a 800 kg há⁻¹/ano na produção de 10 a 45 t ha⁻¹ de massa seca, boa parte do nutriente adicionado ao solo através da irrigação, será removido pelo capim elefante, diminuindo dessa forma sua acumulação no solo.

Tabela 3. Composição de Nitrogênio (mg L⁻¹), Demanda Química e Biológica de Oxigênio e densidade de coliformes totais e fecais na água dos rios Seridó e Barra Nova.

Parâmetros	Referência	Local 02	Local 03	Local 04	CONAMA 430/2011	CETESB DC.8.468/76
N-NH ₃	0,34 ± 0,34	29,17±12,03	8,34±3,18	9,52±3,40	13,3pH<7,5	20
N-total	0,84 ± 0,24	29,58±7,92	6,77±2,73	7,69±1,63	-	-
DQO	19,42 ± 5,13	58,25 ± 15,84	58,25 ± 13,08	24,93 ± 8,40	-	-
DBO	7,98 ± 2,45	24,64 ± 9,23	27,87 ± 11,12	11,65 ± 3,58	10	-
Coliformes UFC/100ml						
Totais	1,5x10 ⁴	3,4x10 ⁵	3,9x10 ⁵	4,3x10 ⁶	< 2x10 ⁴	-
Fecais	4x10 ³	3,2x10 ⁵	3,6x10 ⁵	4x10 ⁶	< 4x10 ³	≤ 10 ⁵

Fonte: FAO and agriculture organization; Resolução 430 do CONAMA e CETESB Decreto Estadual 8.468/76.

3.4 Composição Orgânicas na água residuária.

A matéria orgânica dissolvida na água, indiretamente pode ser expressa pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Segundo Hespanhol (2005), quando em concentração elevada pode prejudicar a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas. Pelos valores médios de (DBO) inserido na tabela 3 somente a água do local de referência apresentou valor médio abaixo do estabelecido pelo CONAMA, enquanto que nos demais locais a DBO ficou ligeiramente acima dos padrões aceitáveis pelo Órgão ambiental.

É importante salientar que o CONAMA aceita valores de (DBO) acima do limite estabelecido, desde que seja definido pelo órgão ambiental competente do município ou do estado. Portanto, comparado com valores da literatura proposto por: Santos (2003); Hespanhol (2005) e do Conselho Estadual do Meio Ambiente do RS (CONSEMA 128, 2006) os quais recomendam limites de DBO de até 80 mg L⁻¹, 30 mg L⁻¹ e 80 mg L⁻¹ respectivamente, as médias de DBO dos locais 02, 03 e 04 de 24,64, 27,87 e 11,65 situam-se dentro dos padrões aceitáveis para disposição no solo.

Machado et al. (2005) investigando a qualidade das águas do Rio Paraibuna no trecho urbano de Juiz de Fora, MG, averiguaram concentração de 15,57 mg L⁻¹ para DBO no ponto mais crítico de seu estudo. Ficando abaixo dos valores observado nas médias de

DBO dos locais 02 e 03, localizados mais próximos dos pontos de despejo de esgoto e acima do registrado no ponto 04 mais a jusante da Cidade.

3.5 Densidade Microbiana contido na água residuária.

Quanto aos parâmetros microbiológicos inserido na tabela 3 os dados mostram que as médias de coliformes fecais e totais nos pontos 02, 03 e 04 obtiveram valores acima dos limites referenciados para coliformes fecais pela resolução 430 do CONAMA, exceto para água do local de referência. Para a CETESB, que leva em consideração o tipo de cultura, grupo de pessoas exposto e técnica de aplicação, apenas a densidade microbiológica do local de referência ficou abaixo de $\leq 10^5$ UFC/100 ml, estabelecido pelo Órgão ambiental, diferente dos outros locais (02, 03 e 04) cujos valores foram superiores. Como se trata de irrigação irrestrita destinada à produção de forragem, utilizando técnica de disposição superficial no solo de forma controlada e planejada, o reuso poderá ser realizado sem maiores riscos de contaminação do capim e das pessoas envolvidas.

Os resultados obtidos são compatíveis em estudos com efluente realizados por Konig et al. (2005) que observaram concentração (UFC/100 mL) de Coliformes fecais $6,3 \times 10^5$, $1,1 \times 10^5$ e $2,9 \times 10^5$ de Nov/95 a fev /96; set a dez/96 e Nov/95 a dez/96 respectivamente. Marques (2004), usando diferentes lâminas de irrigação de água residuária doméstica tratada, relatam que o efluente final apresentou qualidade microbiológica inferior, com valores médios de coliformes fecais da ordem de 10^6 UFC/100mL, mostrando que os limites microbiológicos quantificados nesse estudo estão de acordo com dados pesquisados em água de esgoto tratado.

4. CONCLUSÕES

1. A água residuária do local 02 apresentou alto risco de toxicidade às plantas sensíveis a sais, enquanto que a dos locais AR, 03 e 04 obtiveram níveis moderado, sem problema para irrigação de forrageiras.
2. As águas residuárias dos rios Seridó e Barra Nova no entorno de Caicó-RN ficaram classificadas com média salinidade, sodicidade e toxidade de média a alta com baixa concentração de metais pesados.
3. A DBO e densidade de coliformes fecais e total das águas residuárias estão acima dos padrões estabelecidos pela resolução 430 do CONAMA.

5. LITERATURA CITADA

ABREU C. A.; LOPES A. S.; SANTOS. G. C. G. Fertilidade do Solo, 1017p. (eds. Roberto Ferreira Novais [et al.]. – Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIROMENT FEDERATION (WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association 20^a Edition, Washington D.C., 1998.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade de água na agricultura. Tradução de GHEYI, H. R.; UFPB 1999. 153 p (Estudos FAO: Irrigação e drenagem, 29 revisado 1).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo - 2005. Secretaria do Meio Ambiente. Série Relatórios: São Paulo, SP. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/agua_geral.asp. Acessado em jul/2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Norma Técnica P 4-002. São Paulo. 2010. artigo 18 do regulamento da Lei 997/76, aprovado pelo Decreto 8468/76.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – CONSEMA. Lei Estadual nº 10.330, de 27/12/1994. Secretaria do meio ambiente do estado do rio grande do sul. Resolução Consema n ° 128/2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução nº. 357, de 17de março de 2005. Legislação Federal. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acessado em nov/2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. LegislaçãoFederal.Disponívelem:<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acessado em jan/2008.

HESPANHOL, I.; GONÇALVES, O. Conservação e reuso de água. Manual de Orientações para setor Indústria. São Paulo: Fiesp, 2005. V.l.

HOLANDA, J.S.; AMORIM, J. A. de; NETO, M. F. e HOLANDA, A. C. de. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados / Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda. Fortaleza, INCT Sal, 2010.

LUCENA, A. M. A.; GUERRA, H. O. C.; CHAVES, L. H. G.; COSTA, F. X. Análise de um efluente de esgoto tratado e seu efeito em propriedades químicas de um neossolo quartzarênico. Mossoró – RN. Revista Caatinga, Mossoró, RN, v. 19, n. 4, p. 409-414, out/dez. 2006.

MACHADO, P. J. O.; VALLE, G. M.; RINCO, L.; CARMO, L. F. Z.; LATUF, M. O. Qualidade das águas do Rio Paraibuna no trecho urbano de Juiz de Fora/MG. Revista Virtú, v.1, p.43-57, 2005.

MARQUES B.C.D.; HANS, A. K.; BEATRIZ, R.G.; CEBALLOS, S.O. Aspectos nutritivos e sanitários do capim elefante (*pennisetum purpureum*) irrigado com diferentes lâminas de água residuária doméstica, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

MEDEIROS, S. de; SOARES, A.; FERREIRA, P.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T. e SOUZA, J. A. A. de. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.603-612, 2005, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG - <http://www.agriambi.com.br> UFV, 2005.

METCALF, L., EDDY, H. P. (1991. Wasterwater Engineering: Treatment Disposal and Reuse. 3. ed. New York: McGraw-Hill. 1335p.

RODRIGUES, N. L.; NERY, A. R.; FERNANDES P.D.; NAPOLEÃO, E. M. B. Aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo. Revista de Biologia e Ciencias da Terra, vol. 9, núm. 2, 2009, pp. 55-67 Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, Brasil.

SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York John Wiley and sons. 1976, 618p.

SANTOS, H. F dos In: MANCUSO, P.C. S. (Editores). Reúso de Água – Barueri, SP: Manole, 2003.

TEDESCO, Marino José. Análises de solo, Planta e outros materias. Porto alegre, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 188 p. Il. (Boletim écnico de solos,5), Porto Alegre 1985.

KONIG, A.; CEBALLOS, B. S. O. de; SANTOS, A.V. dos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.603-612, 2005 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG - <http://www.agriambi.com.br>, 2005.

RESUMO

TARCISIO BATISTA DANTAS. **Impactos no ambiente solo decorrentes do uso de esgoto urbano na irrigação de capim elefante em Caicó/RN.** Mossoró – RN, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Fevereiro de 2012. 46 p. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Professor Dr. Miguel Ferreira Neto.

O reuso de água na agricultura é apontado por especialistas como forma eficaz no destino final de água residuária. A técnica de disposição superficial no solo vem sendo estudado como alternativa viável para produção de forragens. Este trabalho teve como objetivo caracterizar o efluente de esgoto urbano e avaliar os índices de contaminação de compostos orgânicos e metais pesados no solo cultivado com capim elefante irrigado com água residuária na periferia de Caicó/RN. O presente estudo foi realizado nas margens dos Rios Seridó e Barra Nova no município de Caicó RN, sendo uma área irrigada com água do rio livre de esgoto à montante da cidade denominada de área referência (AR), e três pontos localizados a jusante irrigada com água de origem urbana há 20, 36 e 48 anos com o cultivo de capim elefante. Em cada área foi demarcada parcelas de 25x25m onde se coletou ao acaso amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-20, 20-40 e 40-60 cm com três repetições nos meses de julho/10, dezembro/10 e maio/11. Os parâmetros analisados foram metais pesados (Cr, Cd, Ni e Pb) micronutrientes (Zn, Cu e Mn) nutrientes (Na, K, N e P) além da MO, CE_{es} e pH. Nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 20cm das áreas irrigadas com esgoto apresentaram diferença significativa. De modo geral, o lançamento de esgoto no solo durante estação da seca aumentou a concentração de composto orgânico e inorgânico comparado ao local AR, sendo observada elevada remoção do solo após período chuvoso. Demonstrando que o reuso é fonte alternativa viável de água para produção de forragem, sobretudo em região de clima Semi Árido como Nordeste brasileiro.

Palavras-chave: Salinidade. Metais pesados. Matéria Orgânica. Remoção.

ABSTRACT

TARCISIO BATISTA DANTAS. Impacts on soil environment from the use of urban sewage Caicó - RN. Mossoró - RN, Universidade Federal Rural do Semi-Arido (UFERSA), February 2012. 46 p. Dissertation. Graduate Program in Soil Science. Advisor: Professor Dr. Miguel Ferreira Neto.

The water reuse in agriculture is pointed to by experts as an effective way to the final destination of wastewater, the technique available in the soil surface have been studied as a viable alternative for the production of forage. This work aimed to characterize the effluent from urban sewage and evaluate the contamination levels of organic compounds and heavy metals in soil planted with elephant grass irrigated with wastewater on the outskirts of Caicó / RN. This study was conducted on the banks of the Rivers and Seridó New Bar in the city of Caico RN, is an area irrigated with river water free from sewage upstream of the city called the reference area (RA), and three located downstream irrigated with water urban home for 20, 36 and 48 years with the cultivation of elephant grass. In each area was demarcated plots of 25x25m where randomly collected soil samples at depths 0-5, 5-20, 20-40 and 40-60 cm with three replicates in July, and dezembro/10 maio/11. The parameters analyzed were total heavy metals (Cr, Cd, Ni and Pb) micronutrients (Zn, Cu and Mn) nutrients (Na, K, N and P) in addition to MO, CE and pH. The first two depths of the areas irrigated with wastewater showed a significant difference, in general, the release of sewage into the soil during the dry season increased the concentration of organic and inorganic compounds compared to the AR site, and we observed high removal of the soil after the rainy season. Demonstrating viable source of water for forage production.

Keywords: Salinity. Heavy Metals. Organic Matter. Removal.

6. Introdução

Diante da crescente demanda por água de melhor qualidade pela população mundial, indústria e agricultura, o desenvolvimento sustentável de tecnologias destinado ao reuso de água residuária na agrícola é indicado como uma das melhores formas do destino final de esgoto. Embora a disposição de água residuária no solo a longo tempo possa ou não provocar impactos negativos no solo, por outro lado, essa prática reduz a poluição nos ambientes aquáticos, como também diminui a procura por água potável pela agricultura Erthall (2010).

Segundo Paganini (2003) dependendo das características químicas, físicas e biológicas da água de esgoto urbano e do solo o reuso agrícola planejado e controlado poderá ser realizado sem nenhum prejuízo a biota do solo. O total de sais dissolvidos, conteúdo de íons tóxicos como sódio e cloro e de metais pesados de risco a saúde humano, se constituem nas principais limitações para o reuso na agricultura Ayers & Westcot (1999).

A aplicação de água de rejeito urbanas no solo poderá elevar a concentração de elementos potencialmente tóxicos acima dos padrões determinados pelos órgãos ambientais. Nesse sentido, conforme a CETESB, (2007), a retenção de compostos químicos acima dos valores de referência para solo considerado limpo, a área será declarada contaminada, pois existem riscos potenciais de efeito deletério sobre a saúde humana.

A maioria das águas residuárias urbana são ricas em sais e compostos orgânicos, o despejo ao longo de anos no solo pode acarretar problemas de acumulação de substâncias químicas e orgânicas, sobretudo na camada superficial do solo. Por outro lado, estudos de Medeiros (2005) e Rodrigues (2009) mostram que o lançamento de esgoto doméstico no solo de forma planejada e com técnica adequada de irrigação poderá suprir parte de nutrientes e água às plantas, principalmente em regiões de clima Semi árido como a região do Nordeste brasileiro. Diante disso, torna-se relevante o conhecimento sobre os impactos no ambiente solo decorrente da irrigação de forrageiras com efluente sem critérios agronômicos e ambientais apropriados.

Segundo Marques (2004) o cultivo de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) irrigado com água residuária é muito comum nas zonas rurais e na periferia das cidades, principalmente, nos leitos e margens dos rios, canais de drenagem, riachos,

vazantes e cabeceiras de açudes, servindo de suporte como volumoso na alimentação do rebanho, durante todo o ano e principalmente na estação seca do ano.

Nesse sentido, o impacto químico causado no solo a partir do lançamento de esgoto para produção de forragem, se constitui no objetivo deste trabalho caracterizar o efluente de esgoto urbano, avaliando os níveis de contaminação por sais e metais pesados no solo cultivado com capim elefante irrigado com água residuária na periferia de Caicó/RN.

7. Material e Métodos

A área em estudo está localizada na periferia da cidade (Figura 1), distribuída nas margens dos Rios Seridó e Barra Nova pertencente à bacia hidrográfica do rio Seridó e Itans à jusante e montante de Caicó/RN. Foram escolhidos quatro locais, sendo uma área irrigada com água livre de esgoto a montante da cidade usada como área de referência (AR) apresentando classificação taxonômica similar às outras áreas e três irrigadas com água residuária escolhidas de acordo com o histórico de ocupação de 20, 36 e 48 anos, denominados: AR localizado nas coordenadas ($6^{\circ}28'19''\text{S}$ e $37^{\circ}03'12''\text{W}$), 02 ($6^{\circ}27'35''\text{S}$ e $37^{\circ}05'56''\text{W}$), 03 ($6^{\circ}27'44''\text{S}$ e $37^{\circ}06'27''\text{W}$) e 04 ($6^{\circ}27'31''\text{S}$ e $37^{\circ}06'22''\text{W}$). As coletas do solo foram feitas ao acaso dentro de uma parcela de 25x25m demarcada em cada área.

7.1 Localização dos pontos de coletas de solo



Figura 1. Imagem de satélite das áreas de referência (A) irrigada com água do rio livre esgoto; locais 02, 03 e 04 regado com água residuária de origem urbana.

O solo dos locais em estudo é o Neossolo Flúvico, classificação pertencente ao primeiro nível taxonômico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006) derivado de sedimentos aluviais transportados pela água do rio em época de fortes

chuvas. Em período de precipitação pluviométrica acima da média (700 mm) ocorre alagamento nessas áreas, sobrepondo nova camada de estratos na superfície do solo ou provocando a erosão nos locais desprotegidos pela vegetação.

7.2 Amostragens de solo

O procedimento amostral baseou-se nos critérios de análises para metais pesados da CETESB (2005) e CONAMA (2008), obedecendo às seguintes profundidades: 0 a 5cm; 5 a 20cm; 20 a 40cm e 40 a 60cm, coletadas em conformidade com as áreas experimentais: AR, 02, 03 e 04. Foram coletadas, em cada profundidade, 10 amostras simples para formar uma amostra composta de 2 kg, distribuída ao acaso na parcela de 25x25 m² dos locais, com três repetições cada.

Sendo realizadas três coletas: a primeira no mês de julho de 2010, momento em que os proprietários iniciam a irrigação, outra no mês de dezembro/10, representando o período de maior disposição de água residuária no solo e a última coleta no mês de maio de 2011, logo após período chuvoso da região. No sentido de avaliar a lixiviação e remoção dos compostos químicos do solo ocasionado pela água das chuvas.

Após identificadas e armazenadas em sacos plásticos, as amostras foram enviadas ao laboratório de solo, água e planta da EMPARN onde foram analisadas. Após secagem, o solo foi destorroado e passado em peneira de malha de 2 mm de diâmetro para análises químicas. O procedimento analítico adotado correspondeu à metodologia do Manual de análises químicas de solo, planta e fertilizantes EMBRAPA (2009) e o método 3050B da USEPA (2006), recomendado pela norma da CETESB (2005) e a DECISÃO DE DIRETORIA N° 195-2005-E. A distinção desse método deve-se, basicamente ao fato dele extrair elementos adsorvidos às frações da matéria orgânica, argila e óxidos, mas não da fração silicatada. Portanto, a extração das frações do solo com grande potencial de retenção de contaminantes.

Os elementos extraídos da amostra de solo pela solubilização em ácido nítrico concentrado, não são totais, mas sim teores dissolvidos em ácido HNO₃ concentrado. Foi empregado o forno de microondas na extração dos metais pesados, por este método oferecer facilidade e rapidez na decomposição, técnica mais usada na extração metais pesados do solo. O método recomenda a solubilização de 500mg da amostra em 10 ml de HNO₃ concentrado, com aquecimento a 175 °C em até 5,5 min, mantendo-se a essa temperatura durante 4,5 min e resfriando por dez minutos USEPA (2006). Segundo a

CETESB 1999a, b, (2005) e CONAMA (2005) quando se tratando de avaliação de metais pesados no solo, esse método deve-se ser adotado pelo laboratório.

Os elementos inorgânicos analisados no extrato foram os metais pesados: Zn, Cu, Fe, Mn, Cr, Cd, Ni e Pb determinados no Espectro Fotômetro de Absorção Atômica modelo Spectr AA 220 e Na^+ e K^+ no fotômetro de emissão de chama B 462. Foi determinada também a matéria orgânica baseado na oxidação a CO_2 por íons dicromato; Nitrogênio total pelo método Kjeldahl (oxidação úmida) empregando o destilador de nitrogênio TE 036/l e pH em água (1:2,5). O Fósforo total determinou-se no colorímetro fotoelétrico B 340, mediante formação de complexo fósforo molíbdico de cor azul obtido após redução do molibdato com ácido ascórbico. Para a análise granulométrica das frações areia, silte e argila foi empregado o método do densímetro recomendado pela EMBRAPA (2006), utilizando a solução de hexametáfosfato e carbonato de sódio anidro como dispersantes das partículas.

7.3 Análises estatísticas

Os resultados analíticos foram analisados pelos modelos multivariados: análise fatorial (AF) por componentes principais (ACP), sendo os eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax estabelecendo o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas. Para evitar interferência na análise os valores das médias dos dados foram padronizados a fim de corrigir as unidades e escala em que as variáveis foram medidas, obtendo-se média zero (0) e variância um (1).

8 . Resultados e discussão

8.1 Análises estatísticas dos dados obtidos em julho/10 e maio/11

A figura 4 mostra as condições químicas do solo no instante inicial da pesquisa mês de julho/10 e no período pós chuva, maio/11. A interpretação da análise das componentes principais (ACP), realizada sobre a matriz de dados composta de 14 variáveis e 16 amostras de solo, revelou que os dados em julho/10 e maio/11 obtiveram pesos semelhantes. A distribuição no plano fatorial das profundidades 0-5 e 5-20 cm dos locais que receberam água residuária foram diferentes do local de referência, localizando-se distantes da origem. Isto indica que a aplicação de água de esgoto afetou as propriedades químicas apenas nas camadas de 0 a 5cm e 5 a 20cm do solo. Observa-se que as outras

profundidades obtiveram classificação similar ao local de referência que é irrigado com água do rio livre de esgoto.

De forma parecida foi observado por Junior et al., (2010) relatando que aplicação de lodo de esgoto no solo aumentou a concentração de Zn e Cu apenas na profundidade de 0 a 10 cm, sem elevação nos níveis dos elementos nas camadas de 40 a 60 cm. Erthal et al., (2009) concluíram que aplicação de água residuária da bovinocultura no solo aumentou as concentrações de Cálcio, Magnésio e Potássio trocáveis e da CEEs na camada superficial do solo. Nesse sentido, tal como ocorreu alteração nas concentrações químicas mais acentuada nas camadas de 0 a 5 e 5 a 20cm deste estudo foi observado em outros trabalhos.

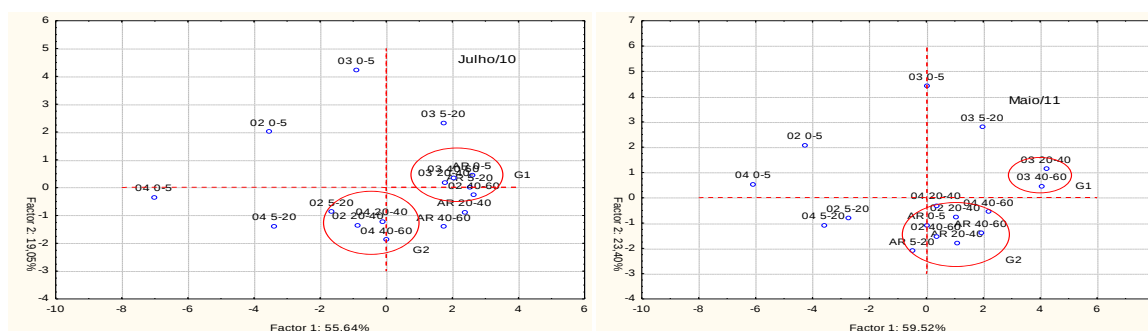


Figura 4. Gráfico de dispersão mostrando a relação entre fatores 1 e fator 2 de julho/10 e maio/11.

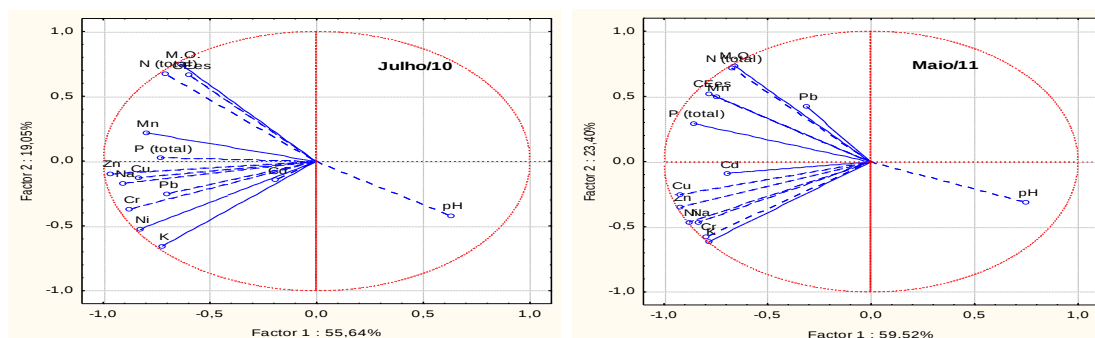


Figura 5. Projeção das variáveis no círculo de correlação unitária nos meses de julho/10 e maio/11.

De acordo com a análise estatística as médias das variáveis nas camadas 20-40 e 40-60 cm dos locais não diferem entre si, obtiveram menor importância agrupando-se próximo a origem. Estas profundidades se assemelham com a mesma carga fatorial (G1) e (G2), diferente da primeira e segunda camada dos locais irrigados com água residuária áreas: 02, 03 e 04 que obtiveram peso significativo, agrupando-se no plano diferente das demais.

A análise fatorial (Tabela 4) extraída da (ACP) aplicado aos parâmetros analisados mostra que a proporção nas três componentes de julho/10 e maio/11 conseguiu explicar 86,9%, 90,9% respectivamente, do percentual da variância acumulada. Sendo a primeira

componente com maior peso fatorial, influenciada pelos elementos químicos de maior relevância para salinização do solo: Na e K, seguido pelos micronutrientes Zn e Cu e dos metais pesados: Cr, Ni e Pb representando 56% da carga fatorial.

Comportamento parecido se observa em maio/11, as mesmas variáveis obtiveram carga fatorial de 59% exceto para Pb que passou para fator 3. Na segunda componente que explica 19% e 23% do percentual da variância total em julho/10 e maio/11 respectivamente, as variáveis significativas $\geq 0,65$ foram MO, N, CEes, influenciadas provavelmente pela qualidade da água residuária despejada ao solo, seguida por Mn e pH com peso negativo, além de P em maio.

Nota-se na figura 5, que mostra a projeção das variáveis em conjunto, apenas a variável pH obteve correlação negativa perante as outras variáveis nos períodos de julho/10 e maio/11, e que de modo geral a correlação do conjunto de variáveis analisadas nos dois meses pesquisados não apresentaram comportamento diferentes. A estatística demonstra que a concentração dos elementos químicos no instante inicial da pesquisa em julho/10 e no mês de maio/11, logo após a estação chuvosa, encontram-se similar.

Tabela 4. Análise fatorial extraída da análise de componentes principais dos parâmetros físicos químicos e metais pesados nos meses de julho/10 e maio/11 e suas respectivas carga fatorial, autovalores, variância total, variância acumulada e comunalidade.

Variáveis	Componentes ⁽¹⁾						Comunalidades	
	1		2		3			
	Carga fatorial ⁽²⁾							
	Julho	Maio	Julho	Maio	Julho	Maio	Julho	Maio
pH	-0,25	-0,39	-0,71	-0,71	-0,07	0,27	0,56	0,83
CEes	0,04	0,29	0,89	0,89	0,31	-0,08	0,80	0,96
MO	0,09	0,06	0,98	0,99	-0,05	0,32	0,96	0,98
N (total)	0,19	0,08	0,96	0,98	-0,06	0,31	0,96	0,98
P (total)	0,50	0,49	0,45	0,76	0,46	0,13	0,25	0,81
Zn	0,80	0,94	0,49	0,30	0,30	0,02	0,64	0,97
Cu	0,67	0,88	0,39	0,38	0,47	0,11	0,45	0,93
Mn	0,60	0,28	0,65	0,85	-0,31	0,17	0,35	0,80
Cd	0,06	0,60	0,00	0,36	0,94	-0,33	0,89	0,62
Pb	0,80	-0,02	0,20	0,53	-0,35	0,90	0,65	0,92
Cr	0,95	0,98	0,21	0,05	0,01	0,03	0,90	0,98
Ni	0,94	0,98	0,06	0,18	0,31	-0,09	0,88	0,99
Na	0,86	0,94	0,39	0,15	-0,07	0,14	0,75	0,96
K	0,95	0,99	-0,11	0,01	0,20	-0,07	0,90	0,99
Autovalores	7,79	8,33	2,67	3,28	1,71	1,12	-	-
% da var. total	55,64	59,52	19,05	23,40	12,20	8,00	-	-
% da variância acumulada	55,64	59,52	74,69	82,91	86,88	90,91	-	-

⁽¹⁾ Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax;

⁽²⁾ Carga fatoriais $\geq 0,65$ são significativas.

Na terceira componente do mês de junho/10 explicando pouco mais de 12% da variância total (Tabela 4), o Cd posicionou-se com grande relevância (0,94) perante as

outras variáveis e em maio/11 com 8% da variância total. Na mesma componente o Pb destacou-se com peso fatorial de (0,90). Pela análise fatorial essa variável ficou sem muita importância nesses dois períodos (julho/10 e maio/11), já que se encontra no terceiro fator e pouco distante da origem (Figura 5).

A comunalidade mostra quanto da variância, para cada variável que está sendo estudada, é explicada pelas três componentes que foram extraídas. Dessa forma, observa-se que em julho/10 e maio/11 os maiores valores em ordem decrescente foram para MO, N, Cr, K, Cd, Ni, CEes e Na. Apesar das duas primeiras apresentarem fator de carga na segunda componente, seus valores de comunalidade foram superiores as demais, mostrando a importância delas para análise. Sem muita expressividade na análise, o Cd obteve fator de carga na terceira componente, embora o valor de comunalidade tenha sido das mais altas (0,89). Quanto à comunalidade para o período de maio/11, exceto o Cd não obteve fator de carga $> 0,80$, (Tabela 4) mostrando pouca importância desse elemento nas três componentes.

8.2 Análise estatística em dezembro/10

A análise de componentes principais (ACP) aplicada ao conjunto total das variáveis correspondentes a dezembro/10 (Figura 6) mostrou distribuição no plano fatorial diferente. A primeira e segunda profundidade (0 a 5 e 5 a 20 cm) dos locais que receberam água residuária diferentes do local de referência, localizando-se distantes da origem (Figura 6 A). Houve leve tendência da segunda profundidade (5-20 cm) dos locais 02, 03 e 04 em se agruparem próximos a profundidade de maior importância da análise (0-5 cm). Quanto às profundidades 20-40 e 40-60cm permaneceram agrupado-as em G1 e G2 com mesma caracterização da área de referência.

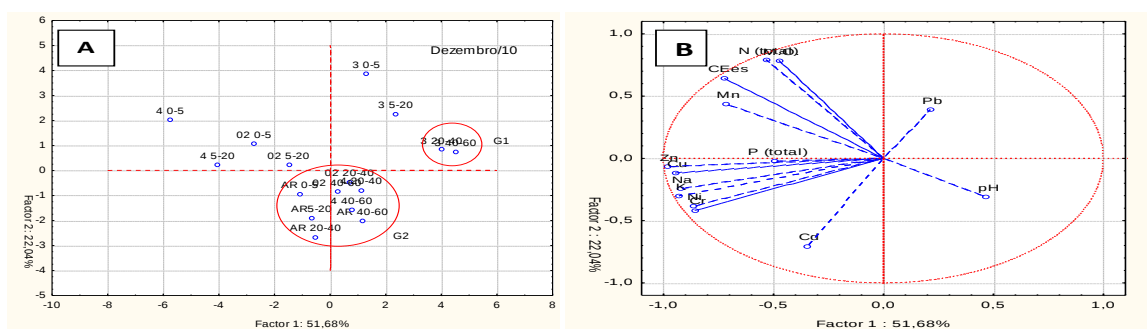


Figura 6. Gráfico de dispersão mostrando a relação entre fatores 1 e 2 (A) projeção das variáveis no círculo de correlação unitária das variáveis (B) correspondente ao mês de dezembro/10.

Observa-se que as duas primeiras profundidades (0 a 5 e 5 a 20cm) estatisticamente foram diferentes das demais. Isso pode ter sido influenciado pela aplicação prolongada de água residuária no solo durante estação seca da região, quando os agricultores intensificam a irrigação, aplicando maior volume de água no solo, provocando ligeiro aumento de substâncias químicas no ambiente.

A principal diferença da estatística ocorreu com a variável Cd (Tabela 5), que em julho/10 e maio/11 localizava-se na componente três, de menor peso fatorial, deslocando-se em dezembro/10 para componente um (1) de maior peso, o Chumbo da componente um para três e a variável pH deslocou-se da componente dois para a três de menor importância.

Tabela 5. Análise fatorial extraída da ACP dos parâmetros avaliados no mês dezembro/10 e suas respectivas carga fatorial, autovalores, variância total, acumulada e comunalidade.

Variáveis	Componentes ⁽¹⁾			Comunalidades
	1	2	3	
	Carga fatorial ⁽²⁾			
pH	-0,26	-0,24	-0,80	0,76
CEes	0,29	0,82	0,43	0,95
M.O.	0,00	0,97	0,03	0,94
N (total)	0,05	0,99	0,09	0,98
P (total)	0,45	0,03	0,57	0,53
Zn	0,88	0,45	0,07	0,98
Cu	0,87	0,42	-0,03	0,94
Mn	0,39	0,80	-0,02	0,78
Cd	0,65	-0,32	-0,36	0,66
Pb	-0,37	-0,02	0,70	0,63
Cr	0,95	0,05	0,10	0,92
Ni	0,95	0,04	0,22	0,94
Na	0,92	0,21	0,18	0,93
K	0,95	0,24	-0,03	0,97
Autovalores	7,24	3,09	1,58	-
% da variância total	51,68	22,04	11,25	-
% da variância acumulada	51,68	73,72	84,97	-

⁽¹⁾ Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax; ⁽²⁾ Carga fatoriais $\geq 0,65$ são significativas.

Na análise fatorial de dezembro (Tabela 5) o percentual da variância acumulada nas três componentes conseguiu explicar 85% da variação geral, sendo a primeira componente influenciada pelos mesmos elementos químicos da análise anterior incluindo o Cd com 0,65 de peso fatorial. Essas variáveis juntas responderam por cerca de 52% da variância total.

Também semelhante à outra análise, a segunda componente foi influenciada pelas variáveis: Mn-0,80, CEes-0,82, MO-0,97 e N-0,99 da carga fatorial, todas juntas representaram 22% da variância total. O pH junto com Pb pouco contribuíram para as análises ficando na componente três.

8.3 Matéria orgânica no solo

Em função das maiores cargas fatoriais das variáveis que compõem os três fatores nos períodos estudados, as principais variáveis podem ser representadas por: Fator 1 - componente de risco ambiental e toxicidade; Fator 2 - componente de aporte nutricional e salinidade e Fator 3 – componente de risco a saúde dos animais e homem.

Na componente 2 destacou-se a MO, mostrando que o cultivo com água residuária proporcionou aumento significativo na primeira camada do solo (0-5 cm). Observa-se nas médias da tabela 6 que as áreas mais antigas (48 anos) concentraram o maior aporte orgânico. As razões disso deve-se a diversos fatores, dentre eles ao manejo de plantio direto, o não revolvimento do solo ao longo dos anos de cultivo, umidade baixa, temperatura alta, como também a elevada carga de MO expressada pela DBO na água de esgoto dos pontos: 02, 03 e 04 de (mg kg^{-1}) 24,64, 27,87 e 11,65 respectivamente, lançado no solo por vários anos, sendo a área 03 que corresponde aos 36 anos que concentrou maior carga de matéria orgânica do solo.

Da mesma forma foi averiguado por Ramirez et al. (2002), estudando as características de carbono e azoto na dinâmica de solo irrigado com águas residuais em diferentes períodos de tempo, relatam que houve aumento nos teores de MO no solo devido à aplicação de águas residuárias, sobretudo em estudos de longa duração.

Paganini (2004) avaliando o sistema de tratamento de esgoto sanitário na disposição do solo e produção de gramíneas para alimentação animal, observou que, em 17 anos de operação do sistema, acumulou-se 13,1% de matéria orgânica na profundidade de 0 a 20cm do solo. Resultado muito acima do analisado neste estudo. Tal como ocorreu o aporte orgânico, observa-se também o aumento da condutividade elétrica do solo.

Ainda de acordo com os dados da Tabela 6 chama a atenção o ligeiro aumento nas médias CEes (dS m^{-1}) do estrato saturação do solo em dezembro/10. Esse incremento de sais comparado a julho/10 da ordem de 30% no local de referência, 10% no local 02, 22%

no local 03 e 93% no local 04, se devem, provavelmente, ao aumento do volume de água aplicado no solo no período de julho/10 a dezembro/10.

Nota-se que no período pós chuva (maio/11) os valores diminuíram em cerca de 165%, 97%, 121% e 127% respectivamente, na AR, 02, 03 e 04 sendo a área de referência que mais permitiu a lixiviação, indicando baixa capacidade de adsorção de sais no solo.

Deste modo, embora tenha ocorrido adição de sais no solo via irrigação de julho/10 a dezembro/10, especialmente na profundidade 0-5 cm, por outro lado observa-se que houve remoção durante estação chuvosa, tendo em vista que foi registrada precipitação pluviométrica de 809 mm no 1º semestre/2011, EMPARN (2011). Associado a isso conta a classe textural arenoso do solo contribuindo ainda mais para lixiviação dos sais.

Resultado parecido foi diagnosticado por Nascimento (2003), pesquisando a cultivar BRS Nordestina (Mamona) irrigada com água residuária (CE 1,36 dS m⁻¹) em relação à água de abastecimento (CE 0,59 dS m⁻¹), registrou incremento de 222% na condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes). Erthall et al., (2010) objetivando avaliar os efeitos de quatro taxas de aplicação de água residuária de bovinocultura sobre as características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho Eutrófico, cultivado com gramíneas forrageiras sob casa de vegetação, verificou que os valores de CEes aumentaram até 150 dias, porém foram sempre menores que 1,5 dS m⁻¹, valor superior ao avaliado neste estudo.

Apesar do aumento, o valor se insere na classificação de Ayers e Westcot (1999) como adequado para manter um rendimento potencial de 100%, para a maioria das forrageiras em vista capacidade de suportar elevada concentração de sais no solo.

Tabela 6. Caracterização média dos parâmetros físicos químicos do solo nos dois períodos monitorados.

Locais	pH (1:2,5).....	CEes (dS m ⁻¹).....	MO (g kg ⁻¹).....	Na- total (mg kg ⁻¹)	K - total (mg kg ⁻¹)
	jul dez mai	jul dez mai	jul dez mai	Jul dez mai	Jul dez mai
AR 0-5	7,5 7,8 7,2	0,47 0,61 0,23	7,1 12,0 5,8	297 404 320	4317 8680 6724
AR5-20	7,4 7,8 7,1	0,48 0,43 0,19	5,0 7,6 4,4	313 412 355	4505 8761 7742
AR20-40	7,5 7,8 7,1	0,26 0,42 0,18	2,9 3,7 3,7	320 397 320	4880 7131 6520
AR40-60	7,6 7,6 7,2	0,26 0,38 0,18	3,1 4,4 2,7	343 341 313	5255 6112 6112
02 (0-5)	6,2 5,9 6,0	1,13 1,24 0,63	23,1 18,4 19,1	465 447 327	4842 8517 6520
02 5-20	6,3 5,9 6,4	0,47 0,88 0,34	6,8 12,0 8,9	427 458 362	6456 7783 7946
02 20-40	6,5 6,2 6,6	0,37 0,58 0,25	3,3 3,4 4,2	389 362 292	6081 6112 5705
02 40-60	7,0 6,1 6,8	0,32 0,51 0,27	2,2 1,8 3,6	297 369 327	4392 6316 6520
03 0-5	6,2 7,1 6,8	0,76 0,93 0,42	31,4 30,3 19,6	381 280 257	3041 3790 2852
03 5-20	6,5 7,1 6,7	0,50 0,69 0,31	14,6 17,2 11,4	336 280 251	2815 3912 2852
03 20-40	6,9 7,5 7,0	0,32 0,43 0,24	4,7 4,6 4,3	412 285 230	4054 2649 2649
0340-60	6,8 7,5 7,2	0,39 0,41 0,25	5,0 2,9 3,4	374 264 251	3491 2445 2852
04 0-5	6,6 6,3 6,4	0,73 1,41 0,62	24,3 28,7 17,8	549 466 397	8634 10024 9169
04 5-20	6,6 6,5 6,4	0,46 0,87 0,39	11,8 12,2 9,0	519 465 355	7057 9046 8354
04 20-40	6,7 6,9 6,6	0,28 0,47 0,31	4,3 2,5 4,8	442 334 278	5743 6112 6112
04 40-60	6,9 6,9 6,8	0,26 0,41 0,26	2,7 2,8 2,4	435 355 251	6194 6112 5094

AR área referência; 02 vinte anos; 03 trinta e seis anos; 04 quarenta e oito anos de irrigação. Método 3050 B CETESB.

Tabela 7. Médias (mg kg⁻¹) de metais pesados do solo nos três períodos monitorado.

Locais	Julho	Dez.	Maio	Julho	Dez.	Maio	Julho	Dez.	Maio	Julho	Dez.	Maio
	Cd.....			Pb.....			Cr.....			Ni.....		
AR 0-5	1,1	2,0	0,5	16,4	15,0	14,2	22,8	36,1	37,5	17,1	26,6	21,9
AR 5-20	0,9	2,1	0,7	19,3	14,3	13,2	20,7	35,1	35,2	19,9	26,6	24,1
AR20-40	1,1	2,5	0,5	16,6	15,5	9,4	26,1	38,4	38,4	20,7	27,8	20,5
AR40-60	1,0	2,6	0,3	18,2	21,7	10,8	25,5	31,8	32,8	23,3	24,2	19,0
02 (0-5	1,5	1,8	0,6	18,7	23,1	11,6	29,2	40,2	40,7	26,8	26,9	24,5
02 5-20	1,4	1,8	0,6	19,2	21,5	13,5	30,1	39,8	38,4	26,5	25,1	28,4
02 20-40	1,6	1,6	0,4	19,5	27,0	7,4	27,2	41,8	34,3	26,8	26,7	20,5
02 40-60	1,3	1,7	0,6	15,9	26,2	9,4	17,1	32,1	31,0	20,2	27,9	22,4
03 0-5	1,0	1,2	0,6	19,0	20,0	16,1	24,1	21,3	18,4	16,4	14,0	13,3
03 5-20	0,4	1,2	0,4	19,0	20,3	14,8	25,9	22,6	16,9	15,2	14,9	12,7
03 20-40	0,4	1,0	0,4	18,7	26,7	8,9	23,6	16,8	14,8	17,5	17,2	11,9
0340-60	0,6	1,0	0,5	15,7	29,4	7,9	30,1	16,0	16,4	20,6	16,4	12,4
04 0-5	0,9	1,5	1,0	27,5	26,1	10,8	61,3	60,9	50,4	34,8	35,6	31,5
04 5-20	0,7	1,5	0,9	26,9	25,7	10,5	47,4	54,8	47,5	29,5	34,6	29,5
04 20-40	0,9	1,2	0,8	17,5	21,6	10,6	40,5	33,7	31,2	24,8	23,2	20,6
04 40-60	0,9	1,6	0,7	19,5	18,6	6,1	41,3	34,3	24,7	26,0	24,1	17,6

AR área referência; 02 vinte anos; 03 trinta e seis anos; 04 quarenta e oito anos de irrigação. Método 3050 B CETESB.

De acordo com a literatura, íons específicos como Sódio em concentração elevada é apontado como elemento tóxico para a maioria das culturas Ayers e Westcot (1999). Conforme os dados da tabela 6 a aplicação de esgoto urbano no solo não provocou problema de toxicidade elevada. Comparando os valores de sódio das áreas irrigadas com água residuária com a de referência, nota-se que apenas a área mais antiga (48 anos) obteve-se médias mais altas e em todos os locais observou-se remoção acentuada depois da estação chuvosa (maio/11).

Segundo Speir et al., 1999), a magnitude dos impactos adversos do sódio sobre as propriedades do solo é dependente das quantidades e frequências das precipitações ou irrigação, de forma a promover a lixiviação deste cátion.

Medeiros et al., (2005) aplicando água residuária no solo, encontraram quantidade de sódio incorporado no solo ao fim do experimento de 92,93 a 241,9 kg há⁻¹. Os autores relatam que a aplicação e suspensão da aplicação da água residuária durante o período chuvoso, podem contribuir para a lixiviação do sódio abaixo da zona radicular, evitando problemas de toxicidade.

Com o objetivo de avaliar os prováveis impactos da aplicação do efluente proveniente da suinocultura, após seu tratamento, nos atributos químicos do solo, em área cultivada com algodão, Medeiros et al., (2011), observou incremento de Na no solo na ordem de 1.071 kg há⁻¹ no ciclo de cultivo da cultura irrigado com água da estação de tratamento.

8.4 Metais pesados adicionados ao solo

De modo semelhante ao ocorrido com Sódio se observa a adição e remoção dos metais pesados de risco potencial a saúde tais como: Cd, Pb Cr e Ni (Tabela 7). Como a adsorção dos metais pesados está correlacionada com as propriedades: pH, CTC, matéria orgânica, argila silicatada e Óxido hidróxido de Fe, Mn e Al Araújo et al., (2005) a retenção, sobretudo na área mais antiga, pode ter sido em função da alteração nas propriedades físico e química do solo, decorrente da aplicação de água ao longo de quase cinco décadas.

Em dezembro/10 comparado ao local de referência, a disposição de água residuária no solo dos locais 03 e 04, contribuiu para aumentar a concentração dos elementos Pb, Cr e Ni na profundidade 0-5 cm. Ao contrário observa-se no mês de maio/11, havendo redução acentuada dos mesmos contaminantes nos locais. Já no local 02, somente os metais pesados Cr e Pb condicionaram aumento na camada superficial (Tabela 7). Apesar disso, os índices de concentração média desses elementos ficaram bem abaixo dos limites preconizado pela CETESB (2005) para solo agrícola que é de (mg kg^{-1}) 200 do Pb, 150 de Cr e 50 para Ni.

Barreto (2003) avaliando o impacto ambiental causado por esgotos sanitários ao longo do rio Bodocongó/PB sobre o solo e vegetais irrigados, observou concentração média no solo (mg kg^{-1}) de Cd (0,02); Pb (6,25) e Cr (102,0), sendo os dois primeiros bem abaixo do determinado neste trabalho e os outros acima, situações dependentes da composição do próprio efluente. Paganini et al., (2004) avaliando o comportamento de metais pesados no solo em rampa de tratamento de esgoto sanitário durante 17 anos de operação do sistema, observou concentração (mg kg^{-1}) de Zinco; Cobre, Cádmio, Níquel e Chumbo de: 49,8; 65,5; 9,55; 33,58; e 53,38 respectivamente, na profundidade de 20 cm do solo. Apenas a concentração de Ni (Tabela 7) desta pesquisa, encontra-se acima, até mesmo a concentração de Cd e Pb da área mais antiga apresentou valor inferior.

Vale salientar que a concentração média de Ni do local 04, encontra-se superior aos valores de prevenção de 30 mg kg^{-1} estabelecidos pela CETESB (2005). Contudo não se pode atribuir os índices elevados somente da irrigação com água residuária, visto que, o solo que nunca recebeu água residuária (área de referência) também apresenta concentração elevada, mostrando que o solo da região é rico nesse elemento. Isto pode ser comprovado por estudo realizado por Mendes et al. (2010), determinaram concentração em solo natural do RN de: (mg kg^{-1}) 0,83; 89; 19 e 109 para Cd, Cr, Pb e Ni respectivamente.

De acordo com o círculo de correlação unitária das variáveis (Figura 6B), o Cd correlacionou-se positivamente com pH e inversamente com as demais variáveis, inclusive com a matéria orgânica do solo (MO). Evidencia-se um aumento significativo na concentração do metal no solo no período correspondente a dezembro/10 em função do aumento do pH, sobretudo na área de referência, visto que apresentou valor de pH mais alto.

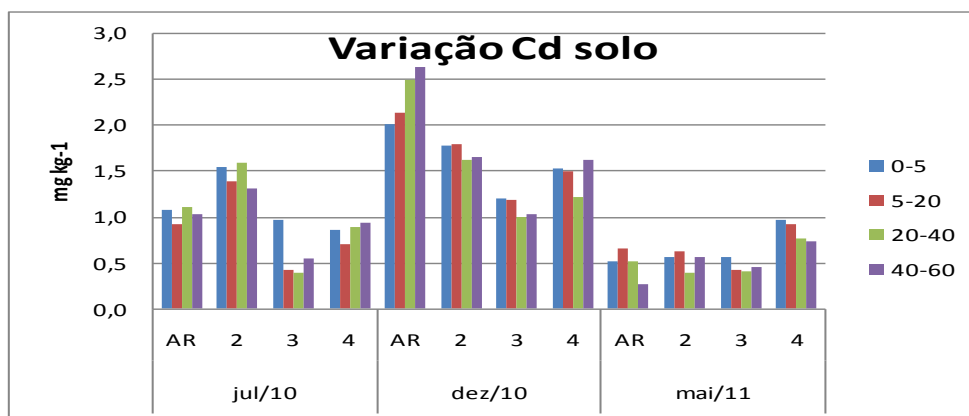


Figura 7. Variação média do conteúdo de Cd no solo nos três meses estudados.

Dos metais pesados pesquisados nesse estudo a concentração que mais variou diante as outras variáveis foi a do Cd. Observa-se na figura 7 que a irrigação na estação seca de julho/10 a dezembro/10 produziu efeito acumulativo do cátion no solo em todos os locais estudados. Isto mostra que, de forma similar ao lançamento de água residuária, a irrigação com água superficial “limpa” também produziu efeito acumulativo do Cd no solo. Mesmo a água desse ponto apresentando níveis de concentração média de Cd abaixo de $0,002 \text{ mg kg}^{-1}$ considerado baixos em relação aos padrões do CONAMA (2007), pode ter contribuído para adsorção desse elemento no solo, em razão da aplicação continuada de água no solo.

O comportamento do Cádmio pode ser explicado pelo fato do solo da área de referência apresentar alcalinidade alta (pH 7,8) influenciado pelo pH de 8,4 da água de irrigação. Com também a elevada concentração de cloretos. Desta forma a adsorção do Cádmio nas partículas do solo pode ter sido favorecida pela formação de complexados como CdCl^+ . Assim conforme Atsdr (1997) e Who (1992) a adsorção do Cd nas partículas do solo é maior em pH neutro ou alcalino do que em pH ácido, elevando ainda mais sua

concentração no solo e, conseqüentemente, diminuindo a sua disponibilidade as plantas (Kabata-Pendias e Pendias, 1992).

Salviano et al., (2005) monitorando a qualidade da água subterrânea utilizada para irrigação em região do RN, reportaram que 59 e 100% das mesmas apresentaram teor de Cd e Pb superiores aos valores limites definidos pela CETESB (2007), os autores concluíram que a irrigação pode adicionar metais no solo, por ciclo da cultura/hectare, de até 0,168 kg de Cd, 19,348 kg de Cu, 2,348 kg de Fe, 0,193 kg de Mn, 0,553 kg de Pb e 14,918 kg de Zn.

8.5 Efeito da remoção de metais pesados do solo na estação chuvosa.

De acordo com as médias dos dados da tabela 6, pode-se averiguar a remoção ou lixiviação do Cádmio no solo após período chuvoso, em se comparando a dezembro/10 com maio/11 registrou-se grande intensidade de remoção do solo.

Diante do resultado exposto na figura 7, os níveis de concentração de Cd no solo não representam risco de contaminação, pois, comparando com aos valores recomendado pela CETESB (2007), as médias encontram-se abaixo dos 10 mg. kg⁻¹ limite máximo permitido de proteção para solo agrícola. Como também inferior ao valor de prevenção de 3 mg. Kg⁻¹, que considera a composição de nutrientes acima do qual pode ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo para o Estado de São Paulo.

Resultado parecido foi referenciado por (Nikaido, 2009) ao avaliar a viabilidade do uso de água residuária tratada no cultivo de hortaliças, o mesmo relata que os níveis de Cd, Cr, Pb, Cu e Zn no solo dos canteiros que receberam água residuária tratada, ficaram abaixo do limite recomendado pela CETESB (2007).

Embora tenha-se observado leve acúmulo de contaminantes químicos no solo decorrente da irrigação com água de origem urbana de julho/10 a dezembro/10, observa-se também que boa parte desses contaminantes é removida do solo por ocasião da estação chuvosa. Assim sendo, o tempo em décadas de irrigação com efluente dos rios não provocou impactos químicos negativos permanente para o ambiente do solo, uma vez que existe forte tendências da autodepuração natural do solo ocasionado pela água das chuvas, devolvendo novo equilíbrio químico ao solo.

9 CONCLUSÕES

1. A irrigação de capim elefante com água residuária condicionou aporte de MO, Na e K mais acentuado na primeira camada do solo.
2. A disposição de água residuária no solo durante a estação seca elevou a concentração de sais e Cr, Cd, Pb e Ni, sendo reduzida durante estação chuvosa.
3. Os metais pesados avaliados apresentaram valores no solo irrigado com efluente urbano abaixo dos limites de prevenção preconizados pela CETESB.
4. A produção de forragens sob irrigação com água residuária não apresentou risco ambiental permanente no solo.

10 LITERATURA CITADA

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE CONTROL;
AZARDOUS SUBSTANCE FACT SHEETS (ATSDR).
(<http://www.astdr.cdc.gov/toxpro2.html>). 1997.

ANDRADE, T.A. Métodos estatísticos e econométricos aplicados à análise regional. In: HADDAD, P.R.; FERREIRA, C.M. de C.; BOISIER, S.; ANDRADE, T.A. (Ed.). Economia regional: teorias e métodos de análise. Fortaleza: BNB-ETENE, 1989. p.427-507.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

ARAÚJO, J.C.T.; NASCIMENTO, C.W.A. Redistribuição entre frações e teores disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.9: 635-644, 2005.

BARRETO, J. A. Impacto ambiental da irrigação com água do Rio Bodocongó –PB sobre os teores de metais pesados no sistema solo – planta. Campina Grande, 2002. Dissertação de Mestrado do Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual da Paraíba, 2002, 104 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo - 2005. Secretaria do Meio Ambiente. Série Relatórios: São Paulo, SP. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/agua_geral.asp. Acessado em jul/2007.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA EM SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. Norma Técnica P 4-002. São Paulo. 2010. Artigo 18 do regulamento da Lei 997/76, aprovado pelo Decreto 8468/76;

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005. Legislação Federal. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acessado em nov/2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Legislação Federal. Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>. Acessado em jan/2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa. Produção de Informações; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p

EMPARN - Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. Meteorologia. Parnamirim/RN, 2011. Disponível em: <HTTP://89124135176/monitoramento/monitoramento.php>.

ERTHALL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; e PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.5, p.467–477, 2010.

PAGANINI, W. S. Reúso de água na agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Ed). Reúso de água. São Paulo: Manole, p. 339-401. 2003.

PAGANINI, W. S.; SOUZA, A.; BOCCHIGLIERI, M. M. Avaliação do comportamento de metais pesados no Tratamento de esgotos por disposição no solo. *Ver. Eng. Sanitária e Ambiental*, Vol. 9 - Nº 3 - jul/set 2004, 225-239, 2004.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 2ªed. Boca Raton: CRC Press, 1992. 445p.

MARQUES B. C. D.; HANS, A. K.; BEATRIZ, R. G.; CEBALLOS, S. O. Aspectos nutritivos e sanitários do capim elefante (*pennisetum purpureum*) irrigado com diferentes lâminas de água residuária doméstica, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

MATOS, A. T.; ABRÃO, S. S.; MONACO, P. A. V.; SARMENTO, A. P. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.12, p.1311–1317, 2010.

MENDES, A. M. S.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A. do.; LIMA, J. A. G e MEDEIROS, A. D. L. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.14, n.8, p.791–796, UAEA/UFCG, 2010.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; MARIN, A. M. P.; SOARES, F. A. L. & FERNANDES, P. Características químicas do solo sob algodoeiro em área que recebeu água residuária da suinocultura. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 35:1047-1055, 2011.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A.; FERREIRA, P.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T. e SOUZA, J. A. A. de. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.603-612, 2005, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG - <http://www.agriambi.com.br> UFV, 2005.

NASCIMENTO, M. B. do H. Modificações no ambiente edáfico, na água e na mamoneira submetidos ao uso de biossólido e água residuária. 2003. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

NIKAIDO, M. Uso de água residuária tratada na cultura de hortaliças: avaliação de enteroparasitas e metáseis pesados / Meire Nikaido; orientadora: Susana Inés Segura-Munõz. Ribeirão Preto, 2009. 138f.

RAMIREZ, F.E.; LUCHO, C. C; ESCAMILLA, S. E.; DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. *Bioresource Technology*, v.85, p.179-187, 2002.

RODRIGUES, N. L.; NERY, A. R.; FERNANDES P.D.; NAPOLEÃO, E. M. B. Aplicação de água residuária de esgoto doméstico e seus impactos sobre a fertilidade do solo. *Revista de Biologia e Ciencias da Terra*, vol. 9, núm. 2, 2009, pp. 55-67 Universidade Estadual da Paraíba, Paraíba, Brasil.

SPEIR, T.W.; SCHAIK, A. P. VAN; KETTLES, H. A.; VICENT, K. W.; CAMPBELL, D. J. Soil and stream-water impacts of sewage effluent irrigation onto steeply sloping land. *Journal of Environmental Quality*, v.28, p.1105-1114, 1999.

SALVIANO, A. M.; DUDA, G. P.; LIMA, J. A. G.; HOLANDA, J. S.; AMORIM, L. B.; PAZ, K. K. R. Teores de metais pesados na água subterrânea utilizada para irrigação no município de Baraúna-RN. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Simpósio Internacional de Uso das Águas Subterrâneas em Irrigação. 15, 2005, Teresina. Anais... Teresina: ABID; Governo do Estado do Piauí; Embrapa meio Norte; DNOCS; CODEVASF, 2005. CD Rom.

TEDESCO, Marino José. Análises de solo, Planta e outros materiais. Porto alegre, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS. 188 p. Il. (Boletim técnico de solos,5), Porto Alegre 1985.

WHO, Guidelines and Nacional Stande For Reuse Water Quality. In: *Water Research*, v.28, n 1, 1992).