

## **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA FACE AO REÚSO AGRÍCOLA DE ESGOTOS TRATADOS**

*Yamil Ivan Alvarez Salinas<sup>1</sup>, Isaac Volschan Junior<sup>2</sup>, Otto Corrêa Rotunno Filho<sup>3</sup>, Theophilo Benedicto Ottoni Filho<sup>4</sup>, Célia Maria Paiva<sup>5</sup> & Lázaro Costa Fernandes<sup>6</sup>*

**Resumo** – O abastecimento humano via mananciais hídricos, sejam superficiais ou subterrâneos, requer atenção quanto à quantidade e à qualidade de água. Em especial, a qualidade da água advinda de aquíferos, por exemplo, por ter uma maior tendência à captação de diferentes elementos, entre eles metais pesados. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade de água em mananciais hídricos subterrâneos, utilizando, para esse fim, o lixiviado de um experimento realizado no Centro Experimental de Saneamento Ambiental (CESA – Escola Politécnica de Engenharia/UFRJ) no âmbito da temática de reúso de esgotos domiciliares. O experimento consistiu na irrigação de uma cultura de milho, durante quatro meses, com água tratada por meio de vários métodos (UASB, lagoas, filtro biológico, tratamento químico, entre outros). Supondo-se que as concentrações dos vários elementos encontrados no lixiviado seriam as encontradas num aquífero real, estimaram-se volumes de compensação, procurando o enquadramento de concentrações alteradas devido ao reúso agrícola de esgotos sanitários. As concentrações críticas encontradas foram comparadas às diretrizes recomendadas pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), permitindo mostrar relações entre concentrações específicas de poluentes e volumes ideais de aquíferos. Esses resultados são importantes para uma harmonia entre o desenvolvimento agrícola e preservação da qualidade dos aquíferos.

**Palavras-Chave** – Reúso de água, Metais pesados, Lixiviado.

## **QUALITY ASSESSMENT OF GROUNDWATER DUE TO AGRICULTURAL REUSE OF TREATED WASTEWATER**

**Abstract** – The human water supply through surface water or groundwater requires careful attention with respect to water quantity and water quality. In particular, the water quality arising from aquifers have a greater tendency to capture various elements, including heavy metals. This study aims to evaluate the quality of water in underground water sources, using, for this purpose, the leachate from an experiment conducted at the Experimental Center of Environmental Sanitation (CESA - Polytechnic School of Engineering / UFRJ) under the research work program of reuse of

<sup>1</sup> Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Email: yalvarezsalinas@coc.ufrj.br

<sup>2</sup> Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Email: volschan@poli.ufrj.br

<sup>3</sup> Programa de Engenharia Civil, COPPE- Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Email: otto@coc.ufrj.br

<sup>4</sup> Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Email: teotonni@poli.ufrj.br

<sup>5</sup> Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências, UFRJ. Email: celia@lma.ufrj.br

<sup>6</sup> Programa de Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Email: lazaroman@gmail.com

household sewage. The experiment consisted of irrigating a crop of maize for a period of four months with water treated by various methods (UASB lagoons, trickling filter, chemical treatment, among others). Assuming that concentrations of various elements found in the leachate would be found in a real aquifer, compensation volumes were estimated looking for the criteria to define modified concentrations due to agricultural reuse sewage treated. The critical concentrations found were compared to the guidelines recommended by CETESB (Environmental Sanitary Technological Company), allowing to show relationships between specific concentrations of pollutants and ideal aquifer volumes. These results are of paramount importance to harmony between agricultural development and preservation of the quality of water supplies.

**Keywords** – Reuse of water, Heavy metals, Leachate.

## 1. INTRODUÇÃO

O volume total de água na Terra é de aproximadamente 1,4 bilhões de quilômetros cúbicos [km<sup>3</sup>]. Embora aparentemente abundante, o volume disponível para usos diversos, incluindo aqui, de natureza doméstica, industrial e agrícola, é extremamente reduzido (Lima *et al.*, 2003). A partir da análise da Tabela 1, conclui-se que, do total de água existente, uma parcela bastante reduzida está disponível para emprego imediato, quando contrastada com o volume total de água encontrado nos rios, nos lagos e no subsolo.

**Tabela 1 – Distribuição de água no mundo**

Local	Volume [km <sup>3</sup> ]	Percentual do Total [%]
Oceanos	1.370.000	97,61
Calotas polares e geleiras	29.000	2,08
Água subterrânea	4.000	0,29
Água doce de lagos	125	0,009
Água salgada de lagos	104	0,008
Água misturada no solo	67	0,005
Rios	1,2	0,00009
Vapor de água na atmosfera	14	0,0009

Fonte: Wetzel, 1983

Tal constatação está relacionada ao atual estágio de desenvolvimento tecnológico; em outras palavras, quando se fizer necessário, novas tecnologias serão desenvolvidas, ou ainda, as atuais serão mais acessíveis para a exploração das demais fontes de água. Entretanto, a questão ambiental reside no fato de que a exploração incontida dos mananciais de água provoca deslocamento do equilíbrio ecológico das espécies aquáticas, o que, indiretamente, afeta o ecossistema do entorno.

O reúso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original, podendo ser de forma direta ou indireta, bem como no decorrer de ações planejadas ou não planejadas (Lavrador Filho, 1987). Essa técnica é comumente empregada em regiões onde há

escassez de recursos hídricos e demandas crescentes para o desenvolvimento urbano, agrícola e industrial. O reúso de água é largamente utilizado em países localizados nas regiões áridas e semi-áridas do planeta, como o Oriente Médio e em algumas regiões desérticas dos Estados Unidos (Califórnia, Arizona, Nevada e Colorado), alastrando-se por países que possuem políticas de recursos hídricos voltadas para o futuro e para a preservação das suas fontes de água para abastecimento (Austrália, Japão, Itália, Grécia, Portugal, entre outros).

No Brasil, apesar da aparente abundância de recursos hídricos, o reúso de água conquista espaço, principalmente, nos grandes centros urbanos, onde a escassez demanda altos investimentos e custos operacionais para captação e adução de águas a grandes distâncias. De acordo com a política nacional de recursos hídricos, quando houver escassez, o uso prioritário da água deverá ser para o abastecimento humano e para a dessedentação de animais, o que induz a repensar as estratégias de abastecimento para os diversos outros fins.

As principais modalidades do reúso de água, de acordo com o fim a que se destinam, são o reúso para irrigação de parques e campos, recarga de aquíferos, fins potáveis e industriais, água de resfriamento, água de caldeiras e água de processos. Qualquer que seja o emprego das águas de reúso, faz-se necessária a avaliação dos sistemas de tratamento e, conseqüentemente, a garantia da qualidade de água, a definição dos seus critérios de uso, impactos e benefícios ambientais envolvidos no processo.

Nesse contexto, este trabalho tem, como objetivo geral, a estimação de volumes de compensação para o enquadramento de concentrações alteradas em mananciais subterrâneos, visando um reúso agrícola sustentável de esgotos sanitários tratados.

Tomou-se, por base, o projeto do programa de pesquisas em saneamento básico (PROSAB 2006) – Edital 4/Tema 2 - Reúso agrícola de esgotos sanitários tratados segundo diferentes processos e graus de tratamento. O trabalho, executado no Centro Experimental de Saneamento Ambiental (CESA), com suporte da Escola Politécnica de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, examinou os efeitos sobre o sistema solo-planta-água decorrentes da irrigação com esgotos sanitários tratados consoante metodologias diversas.

De acordo com os resultados obtidos no mencionado projeto, e para o alcance do fim principal do presente trabalho, constituíram-se os seguintes objetivos específicos:

- avaliação do impacto ambiental causado à qualidade da água subterrânea em função do afluxo de volumes lixiviados provenientes da utilização de esgotos sanitários tratados na irrigação de uma cultura específica;
- validação dos volumes lixiviados estimados, aqui denominados de reais, de um sistema solo-planta-água, através de uma metodologia alternativa baseada na equação do balanço hídrico;
- aplicação da relação de mistura de soluções no cálculo de volumes de compensação necessários para o enquadramento das concentrações alteradas em mananciais subterrâneos como conseqüência do reúso agrícola não controlado de esgotos sanitários tratados.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Reúso de Água Aplicado à Agricultura**

Entende-se por reúso para fins agrícolas a utilização de águas residuárias ou negras de modo a aperfeiçoar o desenvolvimento biológico de cultivos de plantas ou criação de animais, principalmente no que se refere a fornecer o volume de água necessário quando o abastecimento

natural é insuficiente. Esse tipo de reúso tem sido considerado de vital importância, pois a agricultura depende, atualmente, de suprimento de água em um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais (Hespanhol, 2003).

Segundo Beekman (1996), como a demanda pela água continua aumentando, o reúso das águas servidas vem se tornando um componente importante no planejamento, desenvolvimento e utilização dos recursos hídricos, tanto em regiões áridas, como em regiões úmidas. A utilização das águas servidas para propósitos de uso não potável, como na agricultura, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável.

Por meio do planejamento integrado dos recursos águas naturais e águas servidas, a reutilização pode propiciar suficiente flexibilidade para o atendimento das demandas de curto prazo, assim como assegurar o aumento da garantia no suprimento de longo prazo. Assim, o reúso de água, para diversos fins, incluindo o da irrigação, surge, então, como alternativa para aumentar a oferta de água, garantindo economia do recurso e racionalização do uso desse bem. Diversos países já utilizam essa tecnologia e possuem regulamentação específica na temática. Porém, no Brasil, ainda está em fase embrionária na efetivação e regulamentação da técnica, com grande potencial de crescimento.

## 2.2 Reúso de Esgotos na Recarga de Aquíferos

O reúso de esgotos para recarga de aquíferos pode ser definido como a utilização de rejeitos e esgotos, tanto domésticos ou industriais, para a recarga forçada, isto é, artificial de determinado aquífero. Esses esgotos devem sofrer tratamento adequado, visando atender aos parâmetros mínimos de potabilidade da água, quando as reservas desse aquífero forem disponibilizadas para uso humano (Silva, 2003).

Esse tipo de reúso tem importância significativa em locais onde a taxa de extração de água do aquífero é superior à taxa de reposição natural por chuvas e rios. Muitas cidades sofrem com consequências graves devido a esse descuido: salinização de lençóis (quando ocorre a captação em áreas próximas ao litoral, deve-se tomar o cuidado de evitar a intrusão da água do mar infiltrada, que provoca a salinização da água dos poços e, em alguns casos, de todo o aquífero na faixa costeira), desestabilização do solo e afundamento da cidade, e esgotamento da reserva de água.

## 3. METODOLOGIA

Considerando o monitoramento dos volumes lixiviados e a determinação das concentrações dos elementos presentes nos mesmos, o primeiro passo refere-se à comparação dos valores das concentrações com os valores máximos permitidos pela Resolução No. 396 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) ao longo de todo o ciclo em estudo. A partir da verificação ou não do impacto ambiental, pode-se estimar uma determinada quantidade de volume adicional.

As concentrações de elementos que ultrapassaram os valores máximos recomendados serão associadas aos seus respectivos volumes lixiviados. Adicionalmente, note-se que o cálculo do balanço hídrico, ao longo do período de quatro meses do experimento, foi realizado com base no período de tempo semanal.

Como uma forma de relacionar volumes e concentrações aos impactos referentes à qualidade de água num determinado manancial hídrico<sup>7</sup>, considera-se a Inequação 1, ressaltando-se que tal relação foi gerada a partir da equação de mistura de soluções, apresentada, então, como

$$\frac{C_{Lix} \cdot V_{Lix} + C_{Aq} \cdot V_{Aq}}{V_{Lix} + V_{Aq}} \leq C_P \quad (1)$$

onde:

$C_{Lix}$ : concentração de um determinado elemento no lixiviado [mg/l];

$V_{Lix}$ : volume do lixiviado para um período específico [mm/semana];

$C_{Aq}$ : concentração de um determinado elemento no aquífero [mg/l];

$V_{Aq}$ : volume considerado do aquífero [mm/semana];

$C_P$ : concentração padrão para um determinado elemento em análise [mg/l].

Para a determinação de um volume capaz de neutralizar o impacto do elemento mais predominante de um afluente específico ( $V_{Aq}$ ), no referente à qualidade de água, procede-se de acordo com a seguinte metodologia:

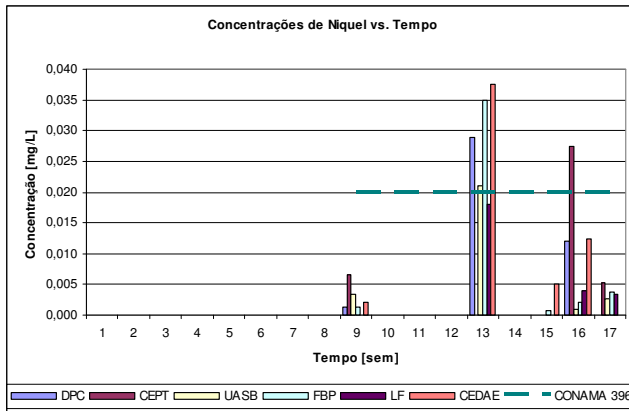
- as concentrações que ultrapassaram, de forma significativa, os valores máximos permitidos precisam se enquadrar nos limites estabelecidos; para tanto, com base em um determinado volume de drenagem profunda, na concentração do elemento que ultrapassou os valores recomendados, na concentração do elemento em análise e, finalmente, na concentração do elemento em estudo contida no manancial hídrico, determinar-se-á o volume adicional procurado;
- o processo anteriormente descrito é representado pela Inequação 2, gerada a partir da Inequação 1, como

$$V_{Aq} \geq \frac{V_{Lix} \cdot (C_{Lix} - C_P)}{C_P - C_{Aq}} \quad (2)$$

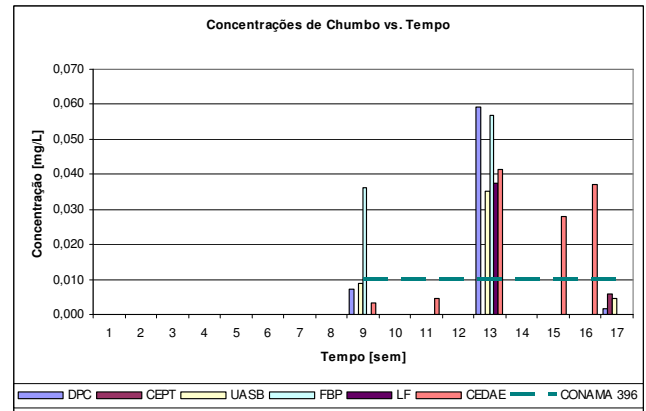
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Avaliação do Impacto Ambiental

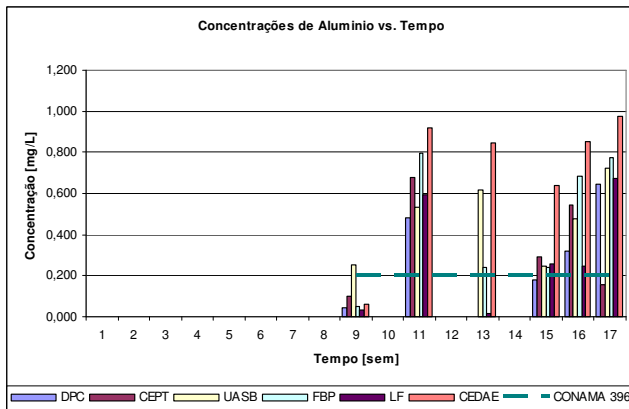
Como aplicação da metodologia descrita no item (3), foram feitas comparações entre dados obtidos por laboratório e os valores recomendados pela norma utilizada. Dessa forma, obtiveram-se quatro gráficos, que são mostrados por meio da Figura 1. Nos gráficos (1a), (1b), (1c), e (1d), constata-se que os valores máximos recomendados foram superados, verificando-se, assim, a existência de impacto ambiental e requerendo-se os correspondentes procedimentos de neutralização.



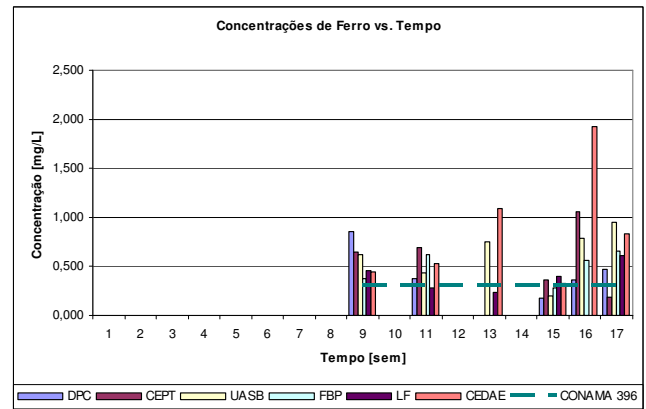
(a)



(b)



(c)



(d)

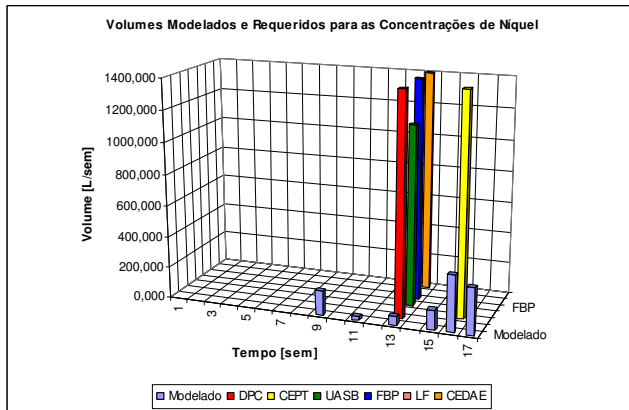
Figura 1 – Avaliação do impacto ambiental referente à qualidade de água subterrânea através das concentrações dos elementos níquel (a), chumbo (b), alumínio (c) e ferro (d).

## 4.2 Cálculo de Volumes de Compensação

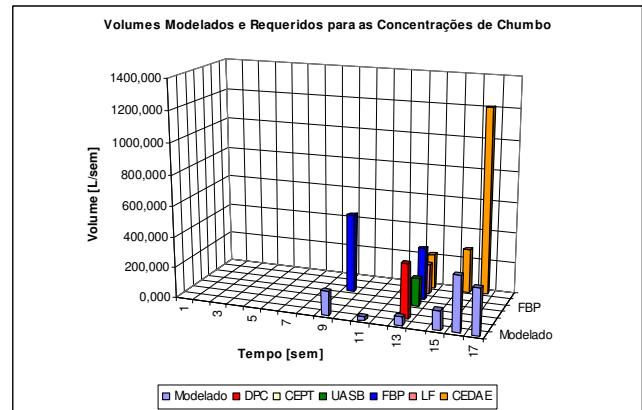
Considerando-se que as concentrações dos elementos níquel, chumbo, alumínio e ferro ultrapassaram, de forma significativa, os valores máximos recomendados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) segundo a resolução No. 396, aplicou-se, então, a metodologia descrita no item (3) para o cálculo de volumes de compensação.

Dessa forma, para a geração dos resultados, levou-se em conta todo o período do ciclo em estudo, discriminado em semanas, com os volumes modelados e requeridos para seis diferentes tipos de tratamento. Os resultados podem se interpretar como volumes adicionais de água, de características iguais ao manancial hídrico em estudo, que deveriam ser a ele adicionadas para que a concentração do elemento poluidor limitante possa se enquadrar nos valores recomendados pela norma em uso. Fruto de todo o procedimento exposto previamente, foi gerada a Figura 2.

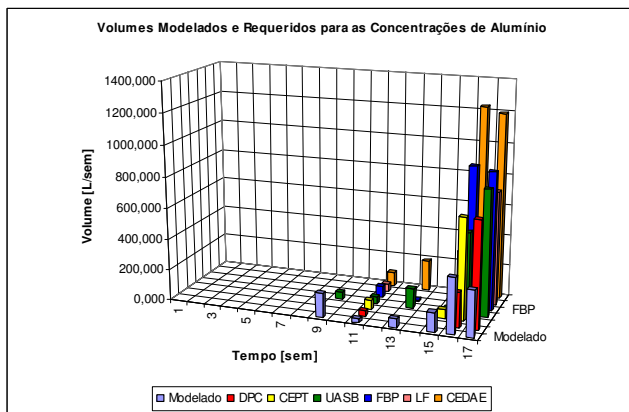
No primeiro gráfico dos quatro que compõem a Figura (2a), percebe-se que, nas poucas vezes que foi ultrapassado o valor máximo recomendado, é requerida uma grande quantidade de água de forma semanal que oscila entre 10 a 20 [m<sup>3</sup>], existindo inclusive um valor de aproximadamente 50 [m<sup>3</sup>], Sendo um valor extremo, é possível que sua origem deva-se a algum problema técnico.



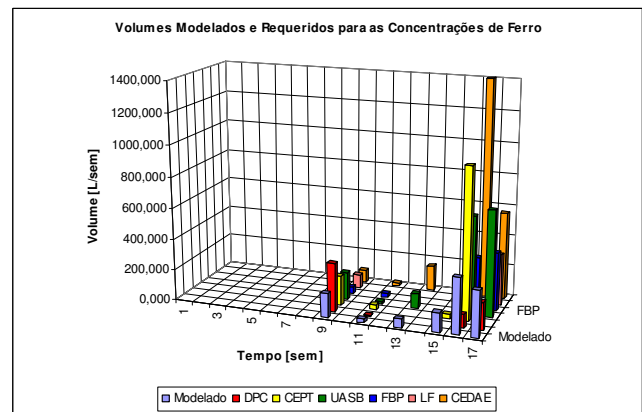
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2 – Volumes lixiviados modelados e volumes de água naturais requeridos para as concentrações de níquel (a), chumbo (b), alumínio (c) e ferro (d)

No caso do segundo gráfico (Figura 2b), os volumes requeridos para neutralizar as concentrações de chumbo ao longo de todo o ciclo variaram aproximadamente entre 0,2 a 0,4 [m<sup>3</sup>]. Tais valores são muito menores em comparação com o elemento anterior. Em compensação, as concentrações do chumbo superam várias vezes o valor máximo recomendado. A variação de volumes requeridos foi regular, de forma particular para a semana número treze.

Para o terceiro gráfico (Figura 2c), os volumes requeridos referentes às concentrações de alumínio tiveram uma variação aproximada de 0,05 a 1,2 [m<sup>3</sup>]. A característica particular foi que a variação dos volumes requeridos foi ainda mais regular em comparação com o último gráfico (Figura 2b).

Na quarto gráfico (Figura 2d), observa-se uma variação estimada de 0,1 a 0,5 [m<sup>3</sup>] e comportamento regular. Considerando que o elemento ferro é um nutriente, faz-se necessário analisar seu impacto de uma forma mais abrangente.

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho discute o impacto do reúso agrícola de esgotos sanitários tratados em mananciais hídricos, com enfoque especial em águas subterrâneas. Mais especificamente, objetivou-se estimar volumes hídricos de compensação como indicador de desempenho ambiental para o enquadramento de concentrações alteradas de elementos potencialmente poluentes em mananciais subterrâneos, visando um sustentável reúso agrícola de esgotos sanitários tratados.

Como produto da avaliação do impacto ambiental, observou-se que as concentrações de quatro elementos químicos, níquel, chumbo, alumínio e ferro, ultrapassaram, de forma relevante, os valores máximos recomendados pela norma utilizada. Uma característica particular de três dos quatro elementos que superaram os valores permitidos (níquel, chumbo e alumínio) foi que eles pertencem ao grupo dos metais pesados, e que o quarto elemento (ferro) forma parte do grupo dos nutrientes.

Por fim, destaca-se que a aplicação da equação da mistura de soluções, utilizada como ferramenta de estimação de volumes de compensação ou volumes requeridos para o enquadramento de concentrações alteradas, foi, em essência, uma alternativa prática na procura de uma solução simples a um problema complexo.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, ao Programa de Engenharia Civil-COPPE/UFRJ e à Escola Politécnica da UFRJ. Agradecimento especial é direcionado à CAPES, pelo suporte financeiro concedido por meio de bolsa ao primeiro autor. Agradecimentos são também dirigidos às agências de fomento CAPES, FAPERJ, CNPq e FINEP, que, por meio de suporte aos projetos PEC/COPPPE FAPERJ Edital 014/2010 (2010-2012) – Centro de Referência em Modelagem Ambiental Aplicado à Gestão de Bacias Hidrográficas Rurais e Urbanas – Apoio às instituições de pesquisa sediadas no estado do Rio de Janeiro, ao projeto FAPERJ – Pensa Rio – Edital 19/2011 (2012-2014) e ao projeto FAPERJ – Processo E-26/103.116/2011 (2012-2014), bem como aos projetos PROSUL (Edital CNPq Nº 005/2007) e IME-PEC/COPPE – CAPES – Aux-PE-PRO-Defesa 1783/2008 (2008–2012), entre outros, estimulam o avanço científico-tecnológico brasileiro na temática que abrange o escopo desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEEKMAN, A. (1996). *State of the Art Report Health Risks in Aquifer Recharge Using Reclaimed Water*. World Health Organization Denmark.
- HESPANHOL, I. (2003). *Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos*. Salvador-BA.
- LAVRADOR FILHO, J. (1987). *Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil*, EPSP/São Paulo-SP.
- LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. O.; SILVA, I. F. (2003). *Estimativa da evapotranspiração em uma cultura de feijão*. In. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba-PA.
- SILVA, A. K. P. (2003). *Reúso de Água e suas Implicações Jurídicas*. São Paulo-SP.
- WETZEL, R. G. (1983). *Limnology*, Saunders College Philadelphia.