

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA INFILTRAÇÃO DE EFLUENTES NAS DUNAS DO AQUIFERO CAMPECHE, FLORIANÓPOLIS, S.C.

Lauro César Zanatta¹; Larissa Ramage²

Resumo – Foram analisados os impactos ambientais causados pela infiltração do efluente tratado na recarga do aquífero, tendo como principal parâmetro os impactos na balneabilidade na área de descarga da Lagoa da Conceição. O monitoramento foi realizado por 9 piezômetros construídos próximos a área de influencia do lançamento do efluente. Na ETE Lagoa da Conceição, das 237 análises em 44 campanhas realizadas no efluente final da estação verifica-se que 99,6% das amostras coletadas estão em conformidade com os padrões de lançamento, relacionado à Resolução CONAMA 430/2011, que “Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes”. O modelo aplicado apresenta uma série de vantagens para atender a demanda cada vez mais crescente na localidade da Lagoa da Conceição no município de Florianópolis, onde está implantado o sistema de tratamento de esgoto. Os principais indicadores de poluição avaliados foram N-NO₂, N-NO₃, Coliforme total e Fecal. A redução dos coliformes fecais foi significativa demonstrando a eficiência da remoção de *Escherichia coli*, devido às características do processo de infiltração.

Abstract - Environmental impacts caused by the infiltration of treated effluent in aquifer recharge, especially the impacts of bathing in the discharge area of the Lagoa da Conceição were analyzed. Monitoring was done through 9 piezometers constructed near the area of influence of the release of effluent. ETE in Lagoa da Conceição, from 237 analyzes in 44 campaigns in the final effluent of the season it appears that 99.6 % of the collected samples are in compliance with the discharge standards, related to CONAMA Resolution 430 /2011 " Rules on the conditions and standards for effluent discharge ." The applied model presents a number of advantages to meet the ever growing demand in the town of Lagoa da Conceição in Florianópolis, where the system is deployed sewage treatment. The main pollution indicators evaluated were N - NO₂, N - NO₃, Total Coliform and Fecal. The reduction of fecal coliform bacteria was demonstrated significant removal efficiency of *Escherichia coli*, due to the characteristics of the infiltration process.

Palavras – chave – Infiltração, efluente, Lagoa da Conceição.

¹ Geólogo, CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento, Izanatta@casan.com.br.

² Geóloga, CASAN – Companhia Catarinense de Águas e saneamento, lramage@casan.com.br.

1. INTRODUÇÃO

A CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento) responsável pelos Sistemas de Água e Saneamento da Ilha de Santa Catarina vem enfrentando dificuldades para a disposição final dos efluentes tratados nas várias localidades. O município de Florianópolis possui várias fontes de abastecimentos como é o caso do Aquífero Costeiro do Campeche, localizado na Costa Leste da Ilha.

Uma das principais atividades do município é o turismo, conhecida internacionalmente por ser uma cidade muito bela, traz nas temporadas de verão um fluxo muito grande de turistas, aumentando o desafio para a empresa em manter os locais despoluídos com tratamento de esgotos evitando a contaminação.

A área de estudo está localizada no centro da Ilha de Santa Catarina, na Lagoa da Conceição, próximo as dunas da Avenida das Rendeiras (Figura 1). A Lagoa da Conceição por ser um dos locais mais atraentes da Ilha exibe grande preocupação do poder público e da própria comunidade em preservar o local.

O sistema vem sendo monitorado desde 2000 quando foram construídos os primeiros piezômetros, quando o volume de esgoto tratado passou de 5 L/s para 32 L/s. O presente trabalho visa reavaliar os impactos ambientais causados pelo lançamento do efluente tratado por um sistema de tratamento de esgotos sanitários e seus efeitos no lençol freático, realizado através de um modelo simplificado de aeração prolongada em uma Lagoa de Evapo-Infiltração (LEI).

As dunas existentes no local facilitaram a formação da lagoa de evapo-infiltração, que são depósitos eólicos bem caracterizados na região da Lagoa. Os sedimentos de idade pleistocênica mais antigos encontram-se quase sempre fixados por vegetação e apresentam areias amareladas ou amarronzadas, com elevado teor de óxido de ferro. Os depósitos atuais holocênicos exibem areias finas a médias, esbranquiçadas, podendo mostrar-se ativos ou fixados por vegetação arbustiva. Existem também areias amareladas que formam dunas ativas, oriundas do retrabalhamento de depósitos marinhos pleistocênicos. Essas dunas fazem parte das áreas de recarga do Aquífero Costeiro no local e a zona não saturada formada por areias de dunas facilitam a recarga do mesmo.



Figura 1 – Localização da área em estudo (Aqüífero Campeche), região central da ilha de SC. ETE – Estação de Tratamento de Esgoto.

2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Aqüífero Campeche

O volume do Aqüífero Campeche é estimado em 105 bilhões de litros. Ao norte do aqüífero observa-se uma faixa de dunas móveis que formam uma cunha na direção da Praia da Joaquina, representa uma área de recarga muito influente na porção norte do Sistema Aqüífero Campeche. A partir destas zonas o fluxo de água subterrânea se direciona para as zonas de descargas Lagoa da Conceição e Praia da Joaquina. Estima-se uma velocidade de fluxo superficial das águas subterrâneas de 50 cm/dia.

O sistema aquífero costeiro do Campeche, de acordo com o método GOD EPT-2002, apresenta índice de vulnerabilidade natural dentro da faixa de extremo, podendo apresentar variações de baixo a alto. O significado do índice extremo denota a fragilidade do aquífero livre, naturalmente desprotegido contra qualquer carga contaminante.

2.2. Fluxo das Águas Subterrâneas

Um dos meios de preservação do meio ambiente são o tratamento e a disposição final dos esgotos domésticos tratados em corpos d'água e que, para tal, são necessários recursos significativos. Considerando que o aquífero é do tipo livre e a zona não saturada de recarga compõe-se de areias de alta permeabilidade formado por dunas que facilitam a recarga do mesmo, o tratamento do esgoto com disposição do efluente tratado nas DUNAS torna-se uma alternativa de baixo custo desde que, fique assegurada a preservação do meio ambiente, principalmente a qualidade do lençol freático.

O fluxo da água subterrânea no local dos piezômetros foi determinado a partir do cálculo do gradiente horizontal da superfície piezométrica, definida a partir da cota do topo da zona saturada do aquífero observado nos piezômetros. Permitiu obter as direções do fluxo das águas subterrâneas no local, no sentido da lagoa do efluente tratado da CASAN para a Lagoa da Conceição.

Dessa maneira, as amostras coletadas nos piezômetros localizados entre as lagoas, vão determinar o grau de poluição do aquífero tanto químico como bacteriológica.

2.3. Piezômetros

Para monitorar a qualidade da água do lençol foram instalados 3 piezômetros no ano de 1999, entre as lagoas, na direção do fluxo subterrâneo.

Os piezômetros (Pz 01, Pz 02, Pz 03) foram construídos no terreno com o método de jato d'água, com a parte filtrante na porção inferior de 1 metro. Os furos são de 4 polegadas e os revestimentos são de 2 polegadas, com tubos de PVC e um *cap* de fundo. A abertura da parte ranhurada é de 0,75mm (filtro) e de 1 metro de comprimento, e o restante do piezômetro é sem ranhuramento (Tabela 1). Em volta dos tubos de PVC foram colocados areia selecionada, de granulometria de 1 a 2 mm, para impedir a passagem de areia da formação geológica.

Os demais piezômetros (Pz 04, Pz 05, Pz 06, Pz 07, Pz 08, Pz 09) foram perfurados mais próximos da Lagoa de Evapo-Infiltração (LEI), monitorados desde outubro de 2000. O método de construção foi o de caçamba e revestidos com 3 metros de tubo ranhurado (filtro) com abertura de 0,75mm, abaixo do nível do lençol freático, sendo que acima do nível d'água o tubo não possui ranhuras. Os diâmetros dos poços são de 2 polegadas, com *cap* no fundo. Entre a tubulação e a

formação foi colocado areia selecionada de 1 a 2 mm para evitar a passagem da areia da formação (Figura 2 e 3).



Figura 1 – Localização dos 9 piezômetros da ETE Lagoa da Conceição, construídos próximos a lagoa de evapo-infiltração (LEI) . A seta indica o sentido de fluxo da água subterrânea.

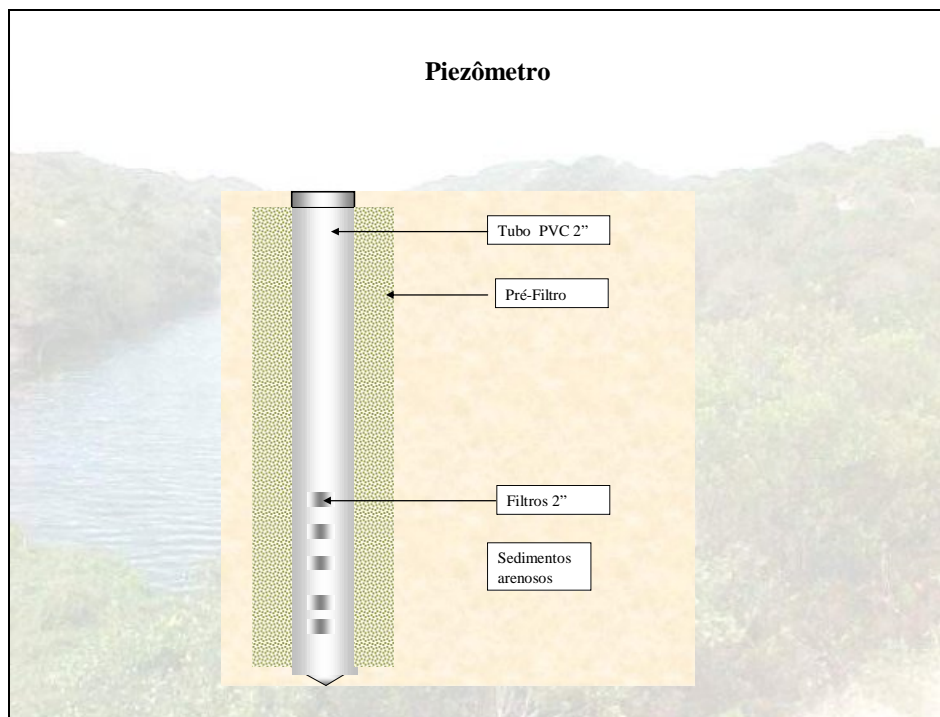


Figura 2 - Perfil construtivo esquemático dos piezômetros, sem escala.

Tabela 1 - Relação piezômetros *versus* profundidade.

Piezômetro	Prof. do piezômetro(m)
Pz 01	3,85
Pz 02	4,30
Pz 03	4,10
Pz 04	5,40
Pz 05	6,10
Pz 06	5,30
Pz 07	4,30
Pz 08	3,20
Pz 09	7,30

As perfurações foram realizadas pelos funcionários da CASAN, equipe de águas subterrâneas (GPO/DIPAS).

3. METODOLOGIA

Normalmente após o tratamento dos esgotos domésticos os efluentes são lançados em corpos d'água com padrões pré-estabelecidos pela legislação e normas. Como na Ilha de Santa Catarina não existe corpos d'água que permitam o seu lançamento, como alternativa encontrada foi à disposição destes efluentes ao solo. O Sistema de Esgoto Sanitário da Lagoa da Conceição é composto por lodos ativados e dois valos de oxidação. O efluente do decantador é lançado nas dunas onde formou uma lagoa de evapo-infiltração (LEI), a área da lagoa é de aproximadamente 3.900m². O efluente tratado é infiltrado no solo e serve como recarga do aquífero freático, através da LEI. Este estudo de caso poderá servir de modelo para ser aplicado em outros locais, com a finalidade de ser reutilizado desde que não ocasione conflito com uso de atividades mais nobres.

As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com os métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Os principais parâmetros de avaliados no monitoramento foram: N-NO₂, N-NO₃, Coliforme total e coliforme fecal.

3.1. Materiais – Locais de Amostragem

A figura 2 mostra a localização dos poços de monitoramento. Os poços a jusante são posicionados transversalmente ao fluxo subterrâneo, distribuindo-se ao longo da largura da possível pluma. Definido o local para a bacia ou lagoa de infiltração do efluente tratado, os piezômetros ou poços monitoramento serviram para auxiliar na determinação do fluxo subterrâneo em direção a

Lagoa da Conceição. “Na zona saturada a condutividade hidráulica vertical é quase sempre consideravelmente inferior a horizontal. Desta forma a taxa induzida de fluxo vertical da água sendo inferior e eleva consideravelmente o tempo de residência do poluente no meio hídrico. Indicando que a região inferior é mais difícil de poluir do que na região lateral no sentido do fluxo”, Lewis, *et al.*, 1986.

Dois processos ocorrem quando o efluente tratado é lançado na lagoa: evaporação e infiltração. Na evaporação, o líquido se dispersa para atmosfera e na infiltração, o líquido percola o solo recarregando o lençol freático. As unidades de tratamento de esgoto da CASAN monitoram diariamente uma série de parâmetros ditos operacionais como: Oxigênio Dissolvido (OD) e Sólidos Sedimentáveis (SS). Para avaliar a eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e a qualidade do lençol freático, mensalmente são monitorados parâmetros de pH, alcalinidade total, cloretos, turbidez, cor, Coliforme Total, *Escherichia Coli*, N-orgânico, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Nitrogênio total e fósforo total.

Foram analisados os valores das médias dos resultados dos principais indicadores de poluição como N-NO₂, N-NO₃, Coliforme total e Fecal, dos últimos 3 anos, (2011, 2012, 2013), na Lagoa de Infiltração (LEI) e nos poços / piezômetros.

Consideraram-se como referenciais de controle os padrões da resolução CONAMA n° 357/2005 para as águas da Classe II, Portaria do Ministério da Saúde n.º 2914/2011, e a Resolução CONAMA n° 396/2008. Conforme os resultados físico-químicos, as águas subterrâneas podem ser classificadas como Classe 4. Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas somente podem ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.

4. RESULTADOS

4.1. Coliformes Totais e Fecais

Os índices de Coliformes fecais – *Escherichia coli*, nos 3 anos analisados, comparando os resultados encontrados na Lagoa Evapo-Infiltração com os dos poços piezômetros, apresentaram uma variação bastante significativa (Tabela 2 e 3). É possível constatar que houve uma diminuição do parâmetro analisado nos piezômetros em direção a área de descarga na Lagoa da Conceição (Figuras 4 e 5).

O tempo de sobrevivência dos *Coliformes fecais* no solo é menor do que 70 dias e até 30 dias nos vegetais, submetidos a uma temperatura de 20 a 30°C, Bastos & Mara 1993. Considerando a velocidade do fluxo subterrâneo 6.3E-6 m/s, o avanço da pluma de contaminação e o tempo de sobrevivência dos coliformes, não há contaminação da Lagoa da Conceição por estes organismos

através da infiltração do efluente da LEI.

Dados do sistema infiltração-solo-aquífero comprovam a elevada eficiência na remoção de Coliformes Fecais do aquífero, alimentado artificialmente com efluentes tratados ETE Lagoa da Conceição. O deslocamento de bactérias depende, sobretudo da velocidade do fluxo da água subterrânea. A diminuição de coliformes fecais nas amostras dos piezômetros, é associada a capacidade de remoção do meio poroso. Os coliformes fecais não conseguem sobreviver com a ausência de material orgânico, fundamental a sua sobrevivência.

Tabela 2 – Média dos valores de Coliforme total.

Amostra	Coli Total 2011	Coli Total 2012	Coli Total 2013
	NMP/100 mL	NMP/100 mL	NMP/100 mL
MÉDIA LEI	14416	2,4E+0,5	118666
MÉDIA Pz9	1	320	7800
MÉDIA Pz8	1	40,5	305
MÉDIA Pz7	97,9	209,8	820
MÉDIA Pz6	1441,0	2400	2400
MÉDIA Pz5	1002,0	2400	1300
MÉDIA Pz4	1518,3	24000	1
MÉDIA Pz3	192,8	140	1926
MÉDIA Pz2	76,6		19
MÉDIA Pz1	44,5	277,3	2400

LEI – Lagoa de Evapo-Infiltração. NMP – Número Máximo Permitido.

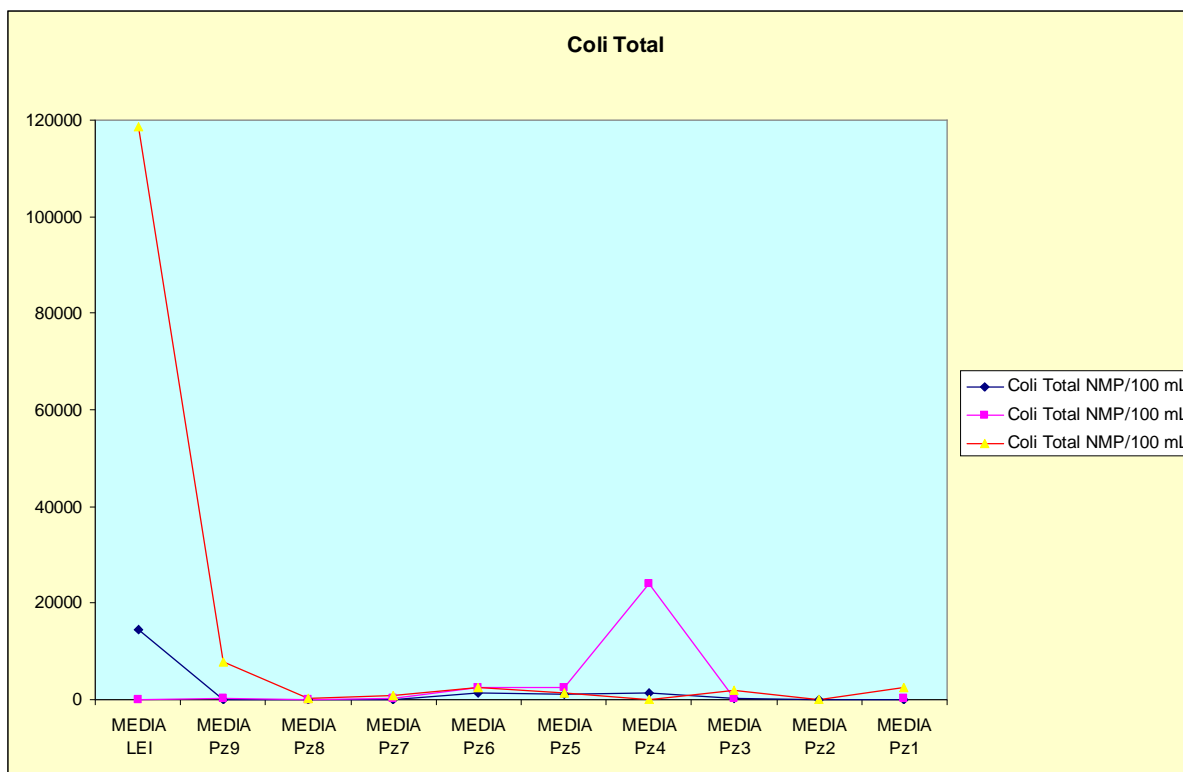


Figura 4 – Média dos Valores de Coliforme total em 2011, 2012 e 2013.

O limite máximo de coliformes fecais na resolução do CONAMA 357/2005 para a classe 2 é 1000 coliformes por 100 mililitros, todos os resultados das análises nos piezômetros durante os três anos observados, estão abaixo do limite. A maioria dos valores de coliformes totais nos piezômetros observado durante os três anos estão abaixo do estabelecido pela resolução, sendo poucas amostras que ultrapassaram o limite máximo estabelecido na Portaria.

Considerando o uso para recreação na Lagoa da Conceição (Classe 4) os parâmetros analisados atendem os valores máximos permitidos para seu uso preponderante. Para a recreação o limite de *E. Coli* é 800 colônias para cada 100 mL, nitrito 1mg/L e nitrato de 10 mg/L.

Tabela 3 – Média dos Valores de (Coliformes Fecais) *E. Coli* em 2011, 2012 e 2013.

Amostra	E. Coli 2011	E. Coli 2012	E. Coli 2013
	NMP/100 mL	NMP/100 mL	NMP/100 mL
MÉDIA LEI	6535,6	1,7E+0,5	1500
MÉDIA Pz9	1,0	1	313
MÉDIA Pz8	1,0	1	1
MÉDIA Pz7	1,0	1	1
MÉDIA Pz6	320		1
MÉDIA Pz5	540	1	183,3
MÉDIA Pz4	852,8	230	1
MÉDIA Pz3	1	1	1
MÉDIA Pz2	77		1
MÉDIA Pz1	7	1	1

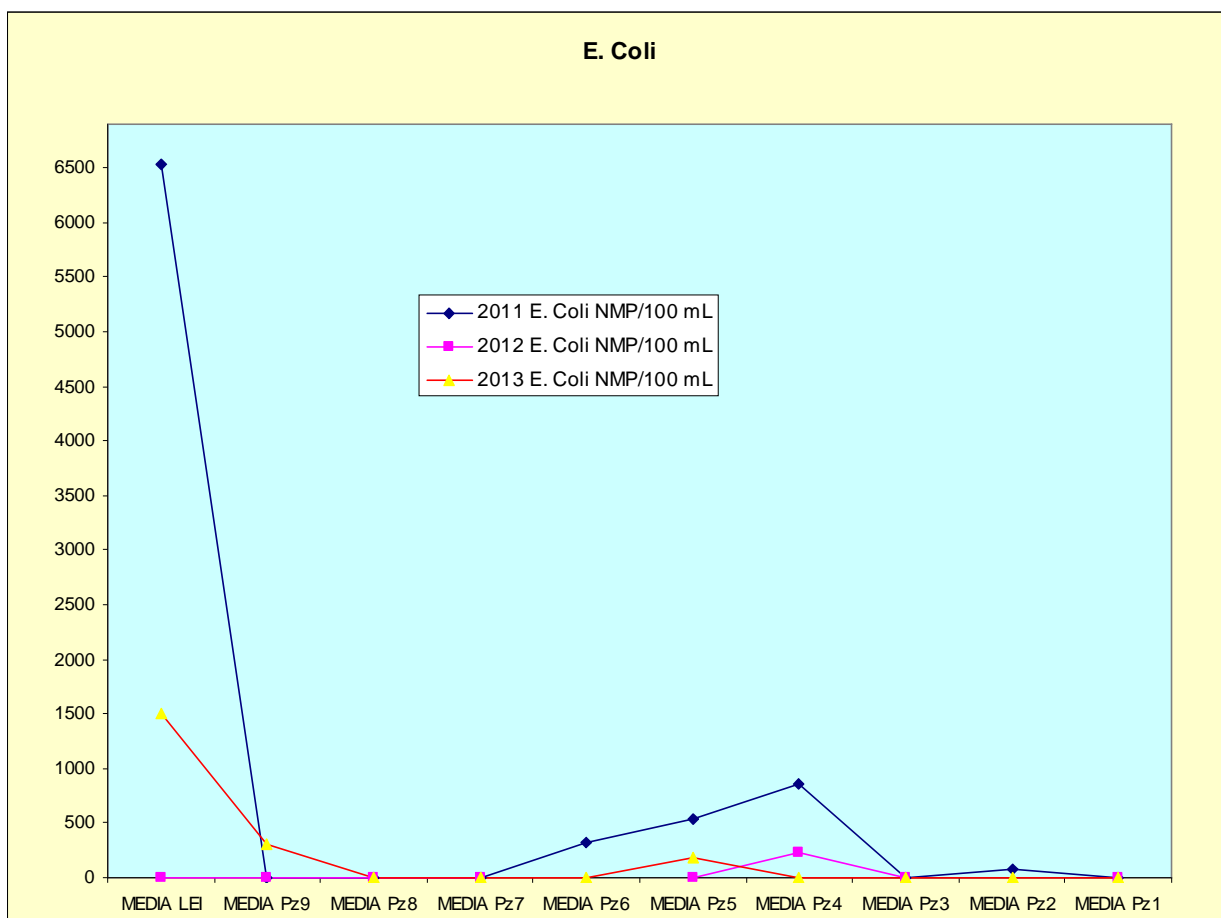


Figura 5 - Valores médios de *Escherichia Coli*, nos vários pontos avaliados.

Os resultados comprovam a eficiência da formação arenosa demonstrando que este tipo de ambiente é favorável na redução de microorganismos do tipo *Escherichia coli* e coliforme total.

Os ovos helmintos e protozoários (maiores que 25 micra) resultam numa remoção eficiente através da filtração física nos solos. É pouco provável que estes elementos poluam os lençóis aquíferos, portanto não foram abordados. Esses organismos ficam retidos nos lodos gerados no tratamento do lodo ativado e como tem densidade maior que o efluente líquido tratado dificilmente poluiria o lençol freático.

A LEI foi aproveitada como uma lagoa de estabilização, já que o efluente lançado neste local continua sendo depurado através de processos biológicos como a oxidação aeróbia através de bactérias e a redução fotossintética através do fitoplâncton e com a remoção da colimetria conforme evidenciado.

As análises nos piezômetros indicam que alterações em termos de colimetria ocorrem principalmente nos locais onde o adensamento urbano foi intensificado, não comprovando a relação de possível contribuição dos nutrientes na LEI com os que estão presentes na Lagoa da Conceição,

com base nos baixos valores dos nutrientes nas planilhas de monitoramento em anexo. Os nutrientes da Lagoa da Conceição são provavelmente oriundos de esgotos domésticos clandestinos.

4.2. Nitrito e Nitrato

A preocupação em relação à poluição freática é normalmente pensada em termos de poluição bacteriológica. A principal preocupação deveria ser a poluição por nitrogênio, que é cumulativa e deletéria. Normalmente, em esgotos domésticos os metais pesados não ocorrem. No Sistema de Tratamento de Esgoto da Lagoa da Conceição o uso é exclusivamente doméstico, não industrial. O substrato poroso vai contribuir como filtro da carga biológica, presente no efluente.

Os valores de nitrito e nitrato são apresentados respectivamente nas Tabelas 4 e 5, Figuras 6 e 7.

Tabela 4 – Média dos valores de N-NO₂

Amostra	N-NO ₂ 2011	N-NO ₂ 2012	N-NO ₂ 2013
	mg/L	mg/L	mg/L
MÉDIA LEI	1,6	6,9	2,7
MÉDIA Pz9	1,3	0,2	0,9
MÉDIA Pz8	0,3	0,3	0,3
MÉDIA Pz7	1,0	0,4	0,3
MÉDIA Pz6	0,3		0,3
MÉDIA Pz5	1,5	0,3	0,5
MÉDIA Pz4	1,8	0,4	0,3
MÉDIA Pz3	1,1	0,2	0,3
MÉDIA Pz2	0,6		0,9
MÉDIA Pz1	0,4	0,2	0,6

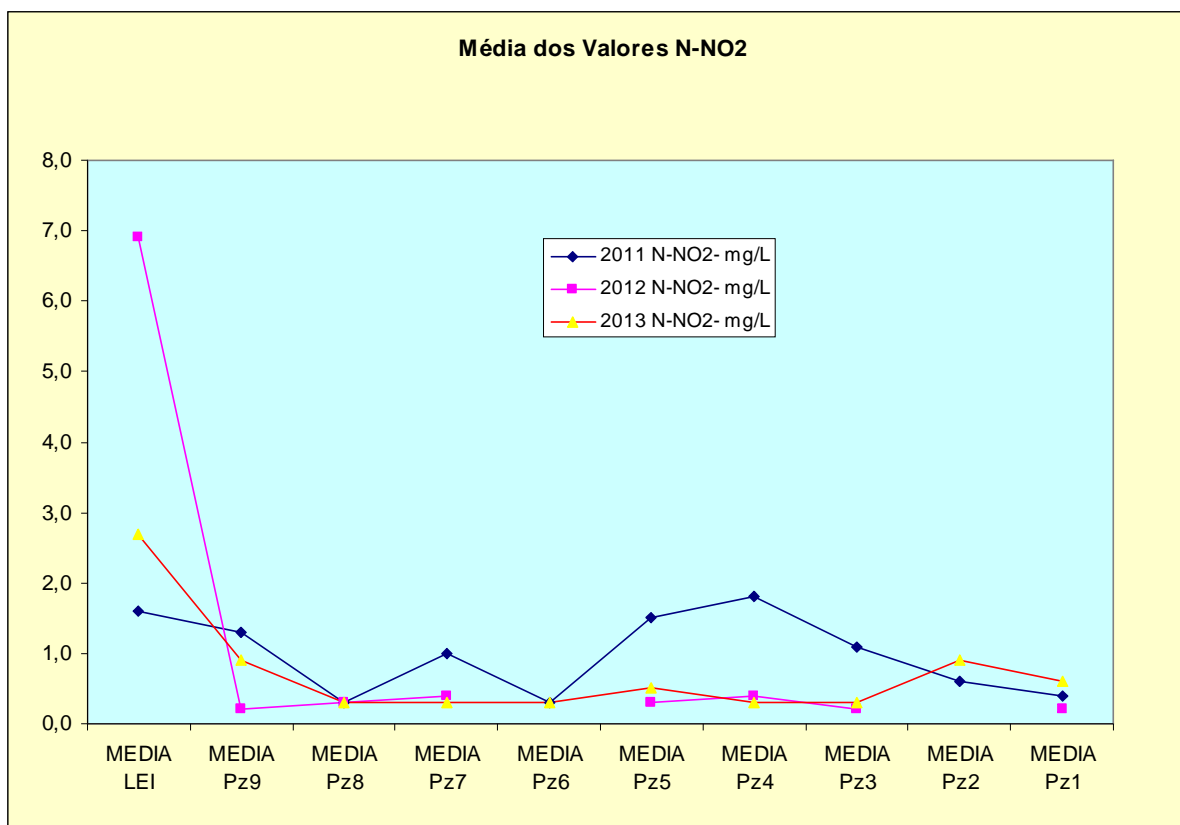


Figura 6 - Média dos valores de N-NO₂ em 2011, 2012, 2013.

Considerando o limite máximo de nitrito de 1,0 mg/L e nitrato 10,0 mg/L, conforme a resolução do CONAMA 357/2005 e CONAMA 396/2008 apenas as amostras da LEI, P9, P5, P4 e P3 apresentaram acima do limite de Nitrito no ano de 2011, as demais análises estiveram abaixo do limite máximo permitido, nos anos seguintes observados.

Outro parâmetro de indicador de contaminação de águas subterrâneas é o nitrato, a forma mais oxidada do nitrogênio. Este composto é altamente solúvel em água e com grande mobilidade no solo permitindo ser transportado a partir de muitos sistemas aquíferos. Esta forma de nitrogênio em níveis acima dos padrões recomendados pela OMS para águas potáveis, 10 mg/l NO₃N, pode ocasionar a cianose infantil ou metahemoglobinemia e câncer.

Tabela 5– Média dos valores de N-NO₃ em 2011, 2012, 2013.

Amostra	N-NO ₃ ⁻ 2011 mg/L	N-NO ₃ ⁻ 2012 mg/L	N-NO ₃ ⁻ 2013 mg/L
MÉDIA LEI	10,9	12,7	21,4
MÉDIA Pz9	2,0	1,5	4,5
MÉDIA Pz8	0,5	0,8	1,4
MÉDIA Pz7	1,1	1,3	2,9
MÉDIA Pz6	6,5		5,5
MÉDIA Pz5	5,3	3,6	0,7
MÉDIA Pz4	4,9	2,6	8,3
MÉDIA Pz3	1,9	3,0	3,2
MÉDIA Pz2	1,8		3,9
MÉDIA Pz1	3,0	3,4	5,5

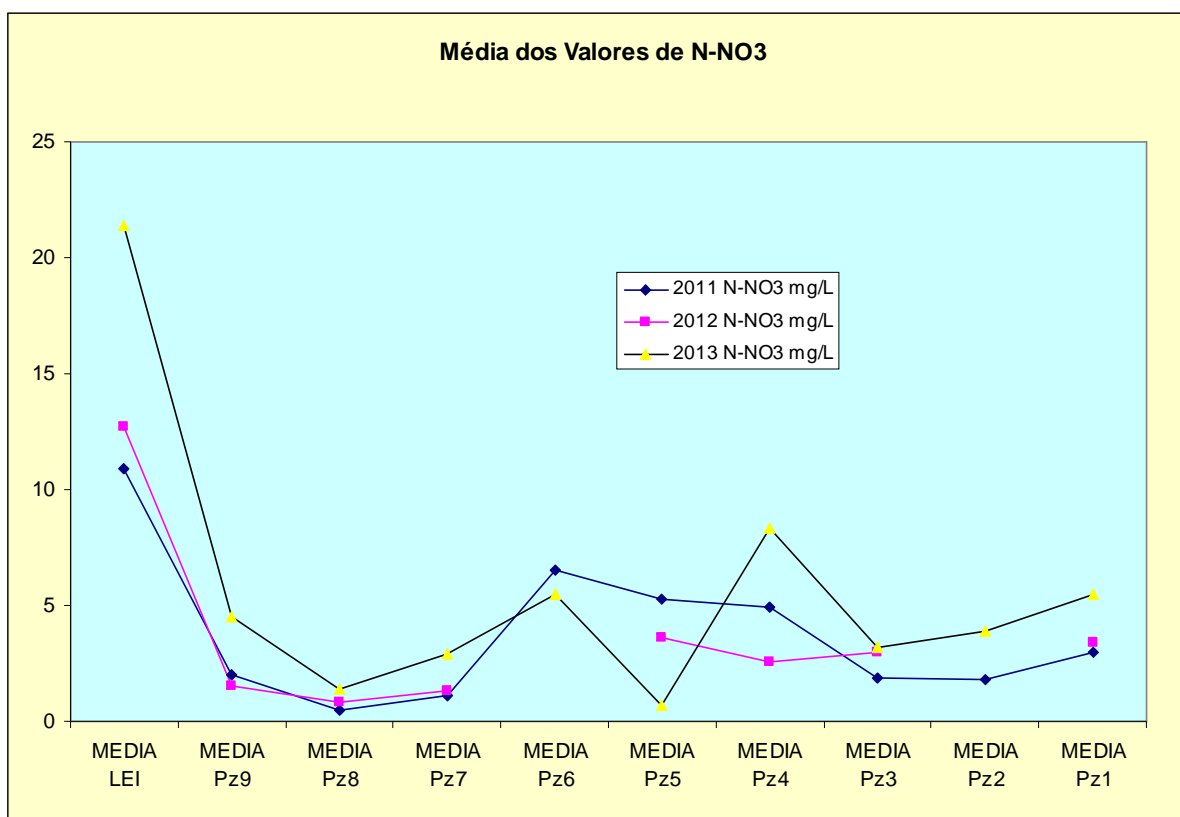


Figura 7 - Média dos valores em N-NO₃ em 2011, 2012, 2013.

Os valores de Nitrato estiveram bem abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP) estabelecido pela Portaria MS 2914/11 nos três anos monitorados para as amostras dos piezômetros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recarga de aquíferos livres por efluentes tratados é uma alternativa bastante interessante como forma de reuso indireto e planejado, alcançando índices satisfatórios, como o estudo de caso da Lagoa da Conceição.

A reutilização das águas tratadas em zonas de escassez de água é, uma medida importante para a correta gestão dos recursos hídricos.

As infiltrações que ocorrem através da Lagoa de Infiltração do Efluente proporcionam níveis de tratamento elevados, e não influencia a balneabilidade da Lagoa da Conceição.

Os parâmetros considerados para análise dos impactos causados no lençol freático pela lagoa de evapo-infiltração (LEI) apresentaram-se com baixas concentrações, evidenciando que não tem influência na qualidade da água na área em estudo.

Pelos resultados até agora alcançados foi constatado que neste tipo de solo, a bactéria tem seu deslocamento reduzido. Conforme resultados da pesquisa realizada, algumas concentrações elevadas pontuais de nitrato são justificadas pelas casas próximas aos piezômetros, que dispõem de sistema de fossa.

Pode-se observar que os limites máximos estabelecidos estão bem acima dos valores encontrados nas amostras dos poços piezômetros. Pode-se observar também que houve uma estabilização nos últimos dois anos de monitoramento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19a. Edição. Eaton, A D., Clesceri, L. S. & Greenberg A E. Washington, 1995.

BASTOS, R.K.X.; MARA, D.D. Avaliação de Critérios e Padrões de Qualidade Microbiológica de Esgotos Sanitários tendo em vista a sua Utilização na Agricultura. In: 17º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL Anais. Natal, RN, 1993.

BRASIL. CONAMA. *Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005*, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília: CONAMA, 2005.

BRASIL. CONAMA. *Resolução n.º 396, de 03 de abril de 2008*, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília: CONAMA, 2008.

BRASIL. CONAMA. Resolução nº 430, de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília: CONAMA, 2011.

BRASIL. *Portaria Ministério da Saúde nº 2914 de 12 de dezembro de 2011*. Gabinete do Ministério. Brasília – DF.

EPT – CASAN. *Estudo do Manancial Subterrâneo da Costa Leste*. Florianópolis: EPT – CASAN, 2000.

LEWIS, W.J.; FOSTER S.S.D.; DRASAR, B.S. *O Risco de Poluição do Lençol Freático por Sistemas de disposição local de Esgotos*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 1986. 92p.