

II-142 - APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE ANÁLISE DE PERIGOS E PONTOS CRÍTICOS DE CONTROLE NA DISPOSIÇÃO DE EFLUENTES TRATADOS EM SOLOS TROPICAIS PARA USO AGRÍCOLA

Jeferson Gaspar dos Santos⁽¹⁾

Biólogo pela Universidade São Judas Tadeu. Mestre em Ciências pela Faculdade de Saúde Pública (FSP/USP). Doutorando em Ciências pela Faculdade de Saúde Pública (FSP/USP).

Tatiana Aparecida Vilalta

Bióloga pela Universidade Paulista (Unip).

Célia Regina Montes

Bacharel em Ciências com habilitação em Física pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras Oswaldo Cruz. Mestrado em Geofísica pela Universidade de São Paulo. Doutorado em Geofísica pela Universidade de São Paulo. Professora doutora da Universidade de São Paulo.

Roque Passos Piveli

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP. Doutor Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Professor associado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Silvana Audrá Cutolo

Bióloga pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Mestre em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública (FSP/USP). Doutora em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública (FSP/USP). Pós-doutora pela USP.

Endereço⁽¹⁾: Depto de saúde ambiental da faculdade de saúde pública da USP Av. Dr. Arnaldo, 715 – Cerqueira César – São Paulo - SP - CEP: 01246-904 - Brasil - Tel: +55 (11) 3061-7898 - Fax: +55 (11) 3061-7732 - e-mail: jefersongaspar@usp.br

RESUMO

Atualmente as políticas públicas têm como grande desafio garantir a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos, exigindo que o setor de saneamento adote uma visão sistêmica sobre o conjunto das suas atividades, cujo impacto se vê refletido na bacia hidrográfica. Neste trabalho busca-se estabelecer medidas preventivas para o lançamento de efluentes de esgoto tratado nos ecossistemas aquáticos com controle sanitário na redução de patógenos transmitidos por águas contaminadas e na disposição de efluentes tratados em solos tropicais como ferramentas de auxílio no manejo integrado dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. Como medida preventiva empregou-se como metodologia de gerenciamento de risco, o sistema de análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC), no conjunto de lagoas para o tratamento de esgoto de origem doméstica para avaliar o potencial de emprego em solos agrícolas. O presente estudo foi desenvolvido no campo experimental adjacente a estação de tratamento de esgoto (ETE) do município de Lins. A ETE é constituída por um conjunto de três lagoas anaeróbias em paralelo e três lagoas facultativas fotossintéticas. Embora o sistema de tratamento de esgoto apresente redução na carga de patógenos, os resultados limitam a possibilidade de lançamento dos efluentes produzidos em determinadas classes de corpos hídricos. O remanescente de nutrientes como nitrogênio e fósforo, pode ser aproveitado na produção agrícola. Entretanto, a presença de patógenos indicam um risco de exposição à saúde humana e de animais, podendo gerar problemas de saúde pública. Com o intuito de aprimorar a qualidade destes resíduos e garantir a recarga de mananciais, tanto superficiais como subterrâneos, de forma segura para a população, recomendam-se estudos que avaliem a capacidade de retenção de patógenos pelo solo local e a possível contaminação da água subterrânea, utilizando para isso a metodologia APPCC.

PALAVRAS-CHAVE: APPCC, Coliformes, Helmintos, Lagoas Facultativas, Reúso Agrícola.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural, distribuído de maneira desigual pela superfície e aquíferos subterrâneos do planeta e sua disponibilidade, uso e gerenciamento adequados são fundamentais para o futuro sustentável da humanidade. No entanto, o homem, acostumado a lidar com a água de forma abundante no seu dia-a-dia e vislumbrar os recursos hídricos em uma quantidade inacabável, sempre o utilizou como bem descartável (FERREIRA et al., 2010). Juntamente com as causas naturais, são as novas e contínuas atividades humanas que têm se tornado os principais fatores de pressão que afetam os sistemas aquáticos do nosso planeta. Estas pressões estão mais frequentemente relacionadas ao desenvolvimento humano e ao crescimento econômico (WWAP, 2009). Os recursos hídricos possuem relevância estratégica para a manutenção da dignidade da vida humana e para a economia, a qual converge para o desafio da gestão integrada das águas a fim de compatibilizar os seus modos de apropriação (FERREIRA et al., 2010). Portanto, o gerenciamento dos conflitos e a capacidade de acomodar os usos múltiplos cada vez com mais eficiência, constituem um grande desafio para a sociedade, uma vez que a competição pelos diversos usos da água estará cada vez mais presente no século XXI (TUNDISI, 2009).

TUNDISI (2008) sugere que uma abordagem de gerenciamento, pesquisa e elaboração de banco de dados a partir da bacia hidrográfica deve incluir uma valoração dos serviços dos ecossistemas aquáticos e dos recursos hídricos, uma capacidade preditiva baseada em um programa denso e tecnicamente avançado de monitoramento, e um sistema adequado de governança de água com a finalidade de promover oportunidades de desenvolvimento regional e sustentável a partir da água disponível e da demanda.

Para ANDREOLI et al (2012), a atual visão da gestão do saneamento básico esta norteada a partir de considerações ambientais com vistas ao desenvolvimento sustentável extrapolando assim, os aspectos econômicos, políticos e sociais relacionados à produção e ao consumo de água e à coleta e tratamento de esgoto. Segundo (TUNDISI, 2009) o reúso da água deve ser um fator cada vez mais preponderante no século XXI, podendo desempenhar papel econômico de extrema importância. É fundamental, entretanto, promover em âmbito nacional no Brasil, um conjunto de estudos estratégicos sobre recursos hídricos e energia, recursos hídricos e economia, água e saúde humana, água e mudanças globais, com a finalidade de promover visões e cenários de longo prazo que estimulem políticas públicas consolidadas (TUNDISI, 2008).

O Sistema de Análise de Riscos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) foi desenvolvido pela agência espacial norte-americana (NASA) para avaliar os critérios microbiológicos de alimentos, a fim de garantir a segurança alimentar dos astronautas. No Brasil, o sistema APPCC foi oficializado através da publicação da norma NBR 14.900 de setembro de 2002. Como ideia principal, os princípios da norma visam auxiliar as organizações a enfocar as etapas do processo e as condições da produção que são críticas para a segurança de alimentos (ABNT, 2002; SOUSA, 2008). O sistema APPCC é composto por sete princípios básicos, descritos a seguir (ABNT, 2002; SOUSA, 2008): (i) Condução da análise de perigos; (ii) Determinação dos PCC; (iii) Estabelecimento do(s) limite(s) crítico(s); (iv) Estabelecimento de um sistema de monitoramento do controle dos PCC; (v) Estabelecimento da ação corretiva a ser tomada quando o monitoramento indicar que um determinado PCC não está sob controle; (vi) Estabelecimento de procedimentos de verificação que confirmem que a APPCC está funcionando com eficiência e eficácia; (vii) Estabelecimento de documentação de todos os procedimentos e registros apropriados a estes princípios e suas aplicações.

A principal diferença na produção segura, do ponto de vista microbiológico, da água de reúso comparada a de alimentos, é que a água de reúso já contém o perigo enquanto no alimento o objetivo está na prevenção da contaminação. Portanto o foco deve ser colocado no controle da exposição ao esgoto e na eliminação ou redução dos riscos através de um tratamento eficaz (WESTRELL et al., 2004). Deste modo, o APPCC constitui um plano para o gerenciamento de riscos que inclui a identificação, a avaliação e a gestão de análise de resíduos para o estabelecimento de medidas preventivas no controle de efluente tratado para descarga nos ecossistemas aquáticos para garantir a produção, segura, de água de reúso da estação de tratamento de esgoto (CUTOLO, 2009).

OBJETIVO

No presente estudo, buscou-se estabelecer medidas preventivas para o lançamento de efluentes nos ecossistemas aquáticos, controle sanitário na redução de patógenos transmitidos por águas contaminadas e a disposição de efluentes tratados em solos tropicais, como ferramentas de auxílio do manejo integrado dos

recursos hídricos em bacias hidrográficas. Para tanto, foi empregado como metodologia de gerenciamento de risco, o sistema de análise de perigos e pontos críticos de controle (APPCC), em um conjunto de tecnologias na produção de efluente tratado de esgoto de origem doméstica, para avaliar o potencial de emprego em solos agrícolas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na estação de tratamento de esgoto (ETE) municipal de Lins que é constituída por um conjunto de três lagoas anaeróbias em paralelo (tratamento primário), seguidas por um conjunto de três lagoas facultativas fotossintéticas (tratamento secundário), onde são produzidos cerca de 140 L s^{-1} de efluente secundário de esgoto tratado. Apesar do tipo de sistema de tratamento de esgoto, a carga orgânica contida no efluente lançado no córrego Campestre ainda é elevada (da ordem de $60 - 100 \text{ mgL}^{-1}$). A área de estudo constitui um campo experimental para pesquisas de utilização de efluente na agricultura que foi criado pela Sabesp e Universidade de São Paulo com suporte financeiro da Fapesp, Finep, CNPq e Sabesp.

O município de Lins está localizado à $21^{\circ}40'43''$ de latitude sul e a $49^{\circ}44'33''$ de longitude oeste, à uma distância de 455 quilômetros da capital do Estado com uma altitude de 437 metros. A população estimada em 2011 era de 73 mil habitantes. Possui clima tropical, com calor forte em todo o ano e inverno seco, mas ainda assim com temperaturas elevadas. A temperatura média é 25°C , com média das máximas de $27,48^{\circ}\text{C}$ e média das mínimas de 22°C . A precipitação média é de 165 mm (± 21 mm), mínima 30 mm e máxima 230 mm. (Fonte: IPEA DATA).

Segundo a divisão hidrográfica do estado de São Paulo, o município de Lins pertence à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Tiête/Batalha, (UGRHI) 16, na bacia hidrográfica do rio Tietê, como representado na Figura 1. A UGRHI 16 localiza-se na região centro-oeste do Estado, sendo definida por uma série de bacias hidrográficas de cursos d'água que desembocam no rio Tietê pela barragem da Usina Hidroelétrica de Promissão. Entre os cursos d'água destacam-se os rios Batalha, Dourado, Ribeirão dos Porcos, São Lourenço e o Tietê, além do reservatório de Promissão (SÃO PAULO, 2011; BRASIL, 2012).

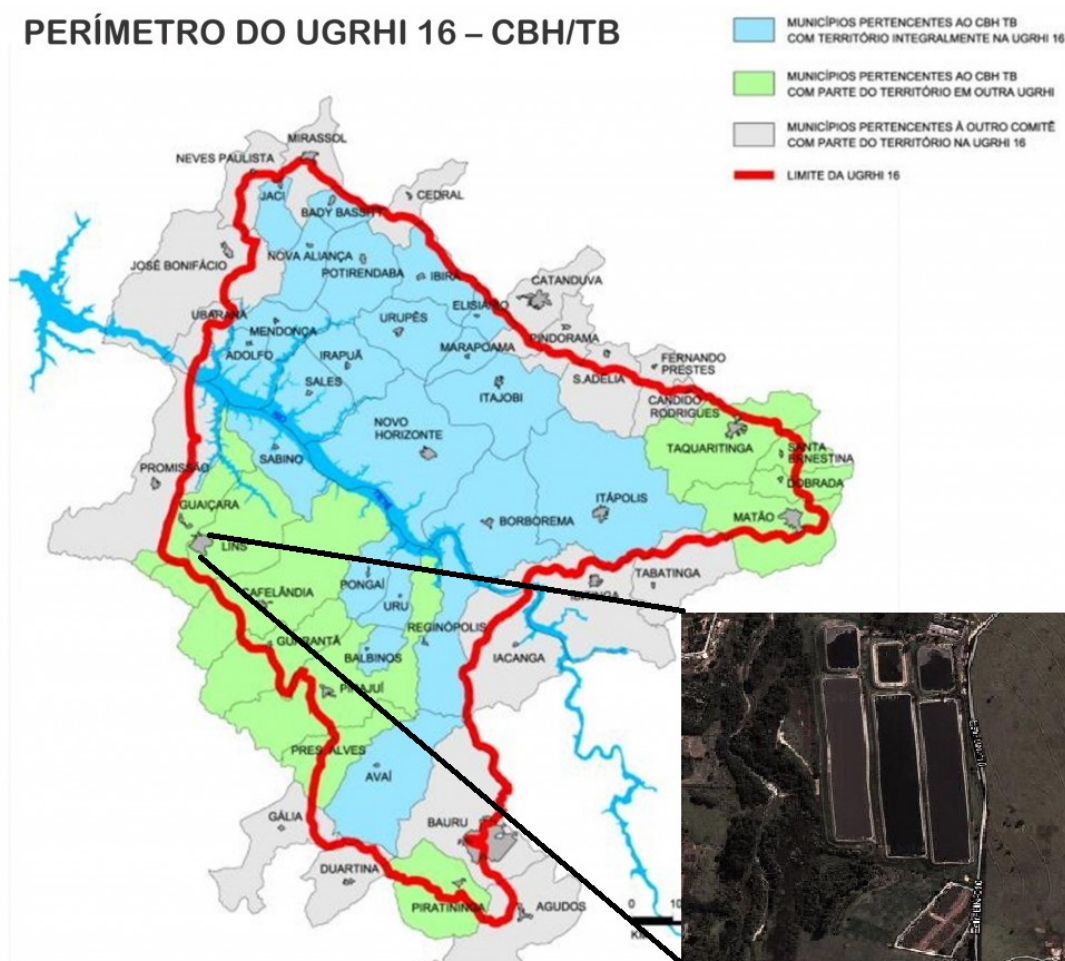


Figura 1 - Mapa do Perímetro da UGRHI 16 Tietê Batalha e vista aérea da ETE Municipal de Lins.

Como principais atividades econômicas da região encontram-se a agricultura, com destaque para a plantação de cana-de-açúcar e laranja, a pecuária e atividades industriais nas áreas da mecânica e alimentícia, predominantemente a sucroalcooleira. A usina hidroelétrica Mário Leão, no município de promissão, contribui para o desenvolvimento de toda a região. O potencial turístico da região fica evidenciado através das atividades de recreação desenvolvidas ao longo da área de inundação (SÃO PAULO, 2011).

Através da aplicação da análise de perigos, primeiro princípio da metodologia APPCC, foram determinados como patógenos de interesse: Coliformes totais, *Escherichia coli* e ovos de helmintos. Posteriormente foram determinados os pontos críticos de controle (segundo princípio da metodologia) nas etapas do tratamento do esgoto, a saber: PCC1 – Esgoto bruto, coletado no canal de medição da vazão; PCC2 – efluente da lagoa anaeróbia; PCC3 – Efluente final, coletado na saída da lagoa facultativa.

As coletas das amostras líquidas para as análises parasitológicas foram realizadas segundo as orientações de (AYRES e MARA, 1996) onde é necessário 1 litro para o esgoto bruto, coletado antes do início do tratamento biológico, 10 litros de efluente da lagoa anaeróbia e 10 litros de efluente da lagoa facultativa. Para as análises microbiológicas (Coliformes totais e *Escherichia coli*) foram coletados 250 ml em frascos esterilizados. E, para as análises físico-químicas, 1000 ml de esgoto bruto, efluente das lagoas anaeróbia e facultativa. Os frascos foram devidamente identificados e transportados ao laboratório sob refrigeração a 4°C.

Para detecção de ovos e larvas de helmintos em amostras ambientais foi adotada a técnica por flotação com solução de sulfato de zinco a 33% (AYRES e MARA, 1996; CUTOLO et al, 2012).

Para a determinação dos coliformes totais e *Escherichia coli* empregou-se a formulação comercial Colilert® através dos seguintes passos: (i) Diluição de uma alíquota da amostra coletada, em frasco estéril de 100 ml, até uma concentração adequada; (ii) Adição do conteúdo de uma ampola do meio, agitando até total diluição; (iii) Transferência da mistura obtida para a cartela QuantiTray™; (iv) Fechamento em seladora de Quanti-tray; (v) Incubação das cartelas a (37±1) °C durante 24 h; (vi) Contagem do número de poços amarelos e/ou fluorescentes sob incidência de luz UV de 6 watt, 365 nm; (vii) Determinação do número mais provável (NMP).

As análises de carbono orgânico total, fósforo, nitrogênio (NKT), sólidos totais foram realizadas segundo as técnicas descritas no Standard Methods (EATON *et al.*, 2005).

RESULTADOS

Os resultados apresentados na Tabela 1 referem-se às amostras coletadas de junho à dezembro de 2013, nos pontos de controle: PCC1-esgoto bruto, PCC 2-efluente anaeróbio e PCC3-efluente final. Pode-se verificar os parâmetros físicoquímicos, Sólidos Totais (ST) e os biológicos, coliformes totais (CT), *Escherichia coli* (E. coli) e ovos de helmintos (HELM), pesquisados nos três pontos de controle. Os parâmetros físicoquímicos nitrogênio Kjeldahl total (NKT), fósforo total (P) e carbono orgânico total (COT), foram analisados nos pontos de controle 2 e 3.

No PCC1 foram detectados ovos de helmintos: *Ascaris* ssp, *Hymenolepis diminuta*, *Trichuris trichiura* e *Taenia* ssp. No PCC2 foram encontrados ovos de: *Ascaris* ssp, *Hymenolepis diminuta* e *Trichuris trichiura*. No PCC3 não foram detectados ovos de helmintos em nenhuma das amostras analisadas.

Tabela 1 - Valores de média, máximo, mínimo e desvio padrão dos parâmetros físicos e indicadores microbiológicos e parasitológicos encontrados no PCC1, PCC2 e PCC3.

PARÂMETROS		PCC1	PCC2	PCC3
	n Unidade	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
CLO-A	6 µg/L	207 (221)
ST	6 mg/L	785 (174)	683 (102)	690 (54,77)
NKT	5 mgN-NKT/L	...	58,80 (2,60)	58,02 (5,35)
P	5 mgP-PO ₄ ⁻³ /L	...	5,02 (0,14)	5,02 (0,55)
COT	5 mg/L	...	32,12 (18,73)	33,03 (36,47)
CT	6 NMP/100 mL	2,60x10 ⁷ (3,73x10 ⁷)	2,60x10 ⁶ (3,50x10 ⁶)	6,30x10 ⁵ (3,14x10 ⁵)
E.COLI	6 NMP/100 mL	2,69x10 ⁷ (3,76x10 ⁷)	1,06x10 ⁶ (1,03x10 ⁶)	3,73x10 ⁵ (2,77x10 ⁵)
HELM	6 Ovos/L	1,46 (2,77)	0,12 (0,18)	0,00 (0,00)
	6 Ovos/L	1,86 (1,63)	0,06 (0,10)	0,00 (0,00)

Nota: CLO-A - Clorofila-a; ST - Sólidos Totais; NKT - Nitrogênio Kjeldahl Total; P - Fósforo; COT - Carbono Orgânico Total; CT - Coliformes Totais; E.COLI - *Escherichia Coli*; HELM - Ovos de Helmintos.

A Figura 2 ilustra o valor médio de NKT, fósforo e carbono orgânico total encontrados nos PCC's 2 e 3.

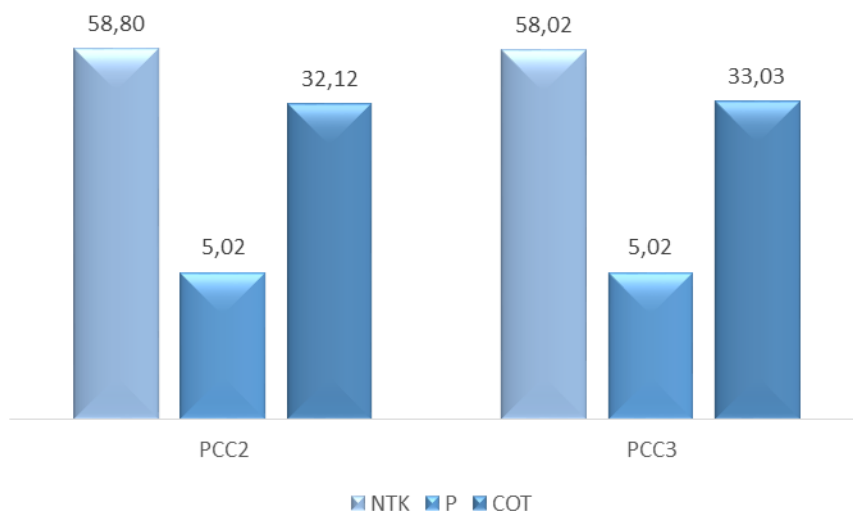


Figura 2 - Média dos parâmetros físicos e químicos encontrados nos PCC's.

A Figura 3 ilustra a média de coliformes totais e *E.coli* encontrados nos três pontos críticos de controle, comparando-os com os parâmetros de lançamento permitidos pela resolução CONAMA 357.

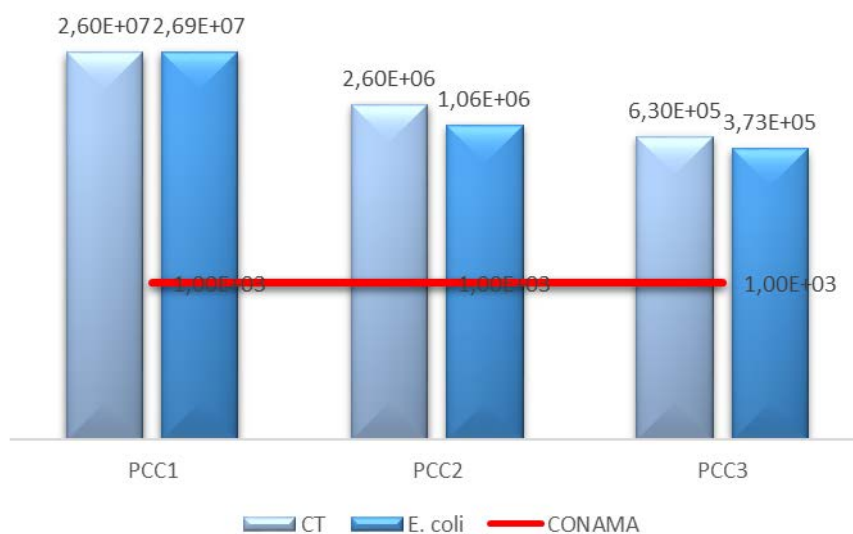


Figura 3 - Média de Coliformes totais e *E. coli* encontrados nos PCC's comparada ao padrão de lançamento da resolução CONAMA 357.

A Figura 4 apresenta a média de ovos de helmintos encontrados nos pontos críticos de controle comparando-os com os valores recomendados por WHO (2006) para utilização na agricultura.

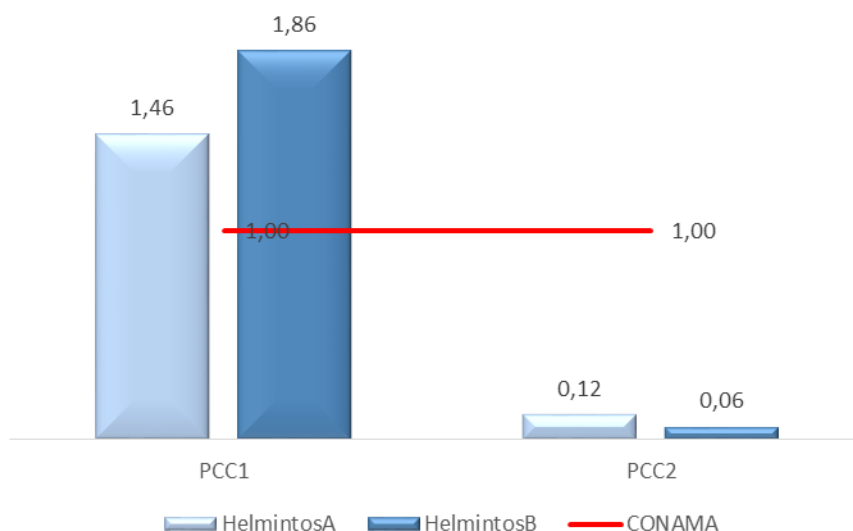


Figura 4 Média dos ovos de helmintos comparada com a recomendação de WHO (2006) para utilização na agricultura.

A Figura 5 apresenta os valores de Sólidos totais e clorofila-a encontrados no efluente final da estação em cada data de coleta.

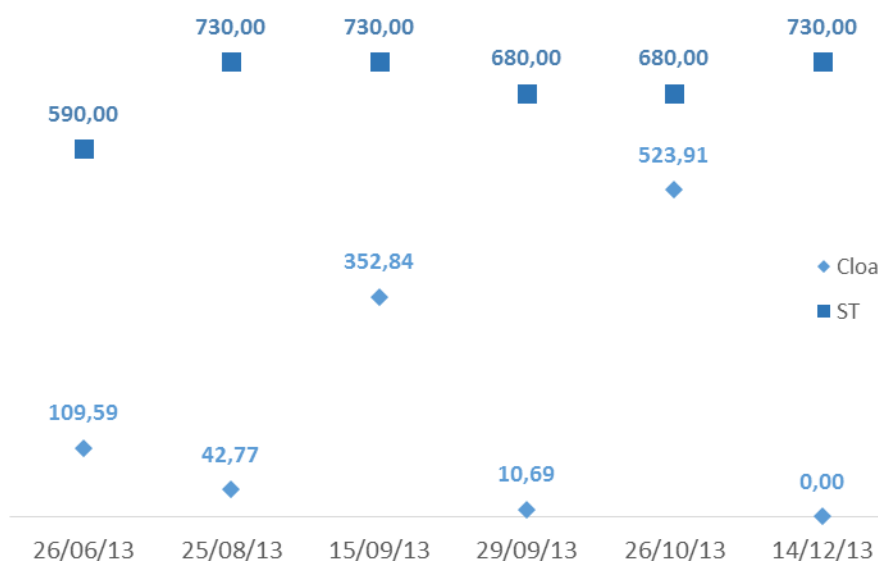


Figura 5 - Valores de Sólidos totais e clorofila-a encontrados no efluente final da estação por data de coleta.

DISCUSSÃO

As análises de nitrogênio total como NKT, realizados nos pontos de controle 2 e 3, apresentaram resultados constantes, 58,80 mg/L no PC2 e 58,02 mg/L no PC3. Já os ensaios de Fósforo total, proporcionaram valores médios idênticos, nos pontos de controle 2 e 3, 5,02 mgP-PO4-3/L. Para as análises de Carbono Orgânico Total, os valores médios obtidos foram 32,12 mg/L para o PC2 e 33,03 mg/L no PC3.

Em estudos anteriores realizados na mesma estação de tratamento, a média de NKT observada por RUGGERI (2011), em quatro fases distintas de seu estudo, na lagoa facultativa, variou entre 50 e 57 mg/L. E, PIVELI et al. (2008) obtiveram uma média de 7,1 mg/L e 6,6 mg/L, de fósforo, em estudo realizado entre setembro de 2001 e outubro de 2002.

Os principais mecanismos de remoção de nitrogênio em sistemas de lagoas são volatilização da amônia, sua assimilação assim como a de nitratos pelas algas, a nitrificação e a desnitrificação. Estes processos, no entanto, não influenciam na concentração do nitrogênio total, promovendo apenas sua transformação o que não garante a remoção do nitrogênio total do efluente (von SPERLING et al, 2009). Ainda segundo von SPERLING et al (2009), entre as formas de remoção de fósforo nos sistemas de lagoas de estabilização as mais significativas podem ocorrer através da precipitação de fosfatos em condições de pH elevado. Neste caso a dependência de altos valores de pH é maior que na remoção de amônia por volatilização. O fósforo pode ser removido, ainda, por sedimentação das frações orgânicas nos sólidos e eliminação de algas e bactérias com a saída do efluente final. No entanto, segundo MIWA et al (2007), significativas concentrações de nitrogênio e fósforo são encontradas no efluentes de lagoas de estabilização, sendo consideradas os principais agentes nutricionais limitantes ao crescimento dos organismos produtores primários nos ambientes aquáticos receptores.

Os pontos de controle 1, 2 e 3 apresentaram valores médios de coliformes totais, respectivamente de, $2,60 \times 10^7$, $2,60 \times 10^6$ e $6,30 \times 10^5$ NMP/100 mL, caracterizando uma redução total de 2 log ao final do tratamento. PIVELI et al. (2008), constatou uma redução de 2,58 log no efluente final, atingindo uma concentração média de $9,30 \times 10^6$ NMP/100 mL. Os resultados de *E. coli* obtidos foram $2,69 \times 10^7$, $1,06 \times 10^6$ e $3,73 \times 10^5$, respectivamente para os pontos de controle 1, 2 e 3. Nota-se também, uma eficiência de remoção de duas unidades logarítmicas em todo o sistema. A concentração final deste patógeno, obtida por PIVELI et al (2008), foi $2,40 \times 10^5$ NMP/100 mL, com uma taxa de remoção de 2,89 log. RUGGERI (2011) também observou valores de coliformes totais e *E. coli* elevados, na mesma lagoa e SUNDEFELD (2012), em um sistema de lagoas no município de Piracicaba. Ambos os trabalhos mostram uma remoção média de 2 log, entre o esgoto bruto e o efluente da lagoa facultativa.

As concentrações observadas neste estudo são incompatíveis com as determinações da resolução Conama 357, para lançamentos em corpos hídricos considerados até classe 3 que exige um limite de 10^3 NMP/100 mL pois, nesta categoria as águas são destinadas, entre outras atividades, ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras, recreação de contato secundário e dessedentação de animais. No entanto, podem ser utilizadas em águas doces de classe 4, categoria na qual as águas destinam-se exclusivamente à navegação e à harmonia paisagística (MMA, 2005).

Na segunda edição das diretrizes da Organização Mundial da Saúde “Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture” o limite exigido de coliformes termotolerantes era semelhante aos exigidos pela resolução CONAMA 357, $\leq 10^3$ NMP/100 mL. Já a terceira edição dessas diretrizes “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater” (WHO, 2006), está focada na avaliação dos riscos de ocorrência de doenças infecciosas, em decorrência do emprego de águas residuárias na irrigação, sendo elaborada a partir de estudos epidemiológicos, microbiológicos e na Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (Quantitative Microbial Risk Assessment - QMRA). Para proporcionar proteção suficiente contra infecções por vírus, bactérias e protozoários na irrigação irrestrita, a redução de patógenos de 6-7 logs é utilizada como meta estabelecida para atingir a carga aceitável de $\leq 10^{-6}$ dias perdidos por pessoa no ano.

A pesquisa de ovos de helmintos no PCC1 apresentou valores médios de 1,46 ovos/L nas amostras A e 1,86 ovos/L nas amostras B. No PCC2 os valores encontrados foram 0,12 e 0,06 ovos/L, respectivamente para as amostras A e B. Não foram observados ovos de helmintos nas amostras provenientes do PCC3, proveniente da lagoa facultativa. Como esperado no esgoto bruto (PCC1) o número de ovos encontrados é superior aos limites exigidos pelas diretrizes da OMS 2006 para utilização das águas residuárias na agricultura. No entanto, na fase intermediária do tratamento, saída da lagoa anaeróbia, este limite já é alcançado através de uma taxa de remoção de 91,8% na amostra A e 76,8% na amostra B. Entretanto, estudos anteriores na ETE de Lins, têm demonstrado presença elevada de ovos de helmintos (PIVELI et. al., 2008). Cabe ressaltar que o crescimento econômico da cidade com a expansão populacional para diversos bairros, pode ser uma das explicações para a redução de indicadores biológicos, pois há o aumento da carga difusa de esgotos sanitários lançados em córregos e rios.

O desempenho das lagoas de estabilização na remoção de cistos de protozoários e ovos de helmintos está diretamente relacionada à decantação e ao tempo de retenção hidráulica relativamente longo. Shuval, citado por KONATÉ et al (2013, p. 103), calculou a velocidade de sedimentação teórica dos ovos de helmintos empregando a Lei de Stokes. Para o grupo de nematódeos intestinais os ovos de *T. trichiura* tem maior facilidade de sedimentação (1,53 m/h -1), *Ascaris* ssp (0,65 m/h -1) e Ancilostomídeo (0,39 m/h-1).

A média de clorofila-a obtida no período de estudo, 207,96 µg/L, está acima do permitido pela resolução Conama 357 (MMA, 2005) de 60,0 µg/L para lançamentos em águas doces de classe 3. No entanto, o valor mínimo obtido no período foi de 10,69 µg/L, atendendo as exigências para lançamentos em corpos hídricos de classe 2 e 3. Em estudos anteriores realizados na mesma ETE, RUGGERI (2011), constatou concentrações médias elevadas de clorofila-a com valores acima de 400 µg/L.

Os valores de sólidos totais, obtidos nos pontos de controle PCC1, PCC2 e PCC3 foram, respectivamente, 785,00 mg/L 683,33 mg/L e 690,00 mg/L. A elevação da quantidade de sólidos no PCC3 pode ser explicada, segundo PIVELI e KATO (2006), pelo crescimento de algas nas lagoas fotossintéticas.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O efluente final do sistema de tratamento de esgoto apresentou valores de patógenos inferiores aos observados no esgoto bruto. No entanto, alguns destes resultados não atingiram os níveis exigidos pela resolução CONAMA 357 (MMA, 2005), para lançamentos em corpos hídricos até classe 3. Sendo assim, os resultados obtidos no presente estudo, limitam a possibilidade de lançamento dos efluentes tratados produzidos em corpos hídricos receptores com esta classificação, podendo ser despejados exclusivamente em corpos hídricos de classe 4.

Os valores remanescentes de nitrogênio e fósforo apresentam potencial para utilização na produção agrícola. Segundo FONSECA et al (2007), a utilização de efluente de esgoto tratado na ETE de Lins, pôde substituir eficientemente a água potável para a irrigação de pastagem tifton 85 e, simultaneamente, poupar entre 32,2 e 81,0% da taxa de N recomendada, sem perda de matéria seca e do teor de proteína bruta. Entretanto, a presença de patógenos indica um risco de exposição à saúde humana e de animais, podendo gerar problemas de saúde pública.

Com o intuito de aprimorar a qualidade destes resíduos e garantir a recarga de mananciais, tanto superficiais como subterrâneos, de forma segura para a população, recomendam-se estudos que avaliem a possibilidade do solo ser utilizado como tratamento terciário com a capacidade de retenção de patógenos e possivelmente reduzindo a contaminação da água subterrânea, empregando para isso a metodologia de Análise de Perigo e Pontos Críticos de Controle. BASTOS et al. (2008), afirmam que muita controvérsia perdura na definição do padrão de qualidade de efluentes, havendo necessidade da elaboração de critérios de qualidade microbiológica de água para reuso que tenham como referência evidências epidemiológicas e estudos de avaliação de risco, no contexto da realidade brasileira.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de doutorado (Processo nº 2012/18774-0), ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa à Biol. Dra. Silvana Audrá Cutolo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT, A. B. D. N. T. NBR 14900: Sistema de gestão da análise de perigos e pontos críticos de controle: segurança de alimentos. Rio de Janeiro: 9 p. 2002.
2. ANDREOLI, C. et al. Experiências na gestão do saneamento em bacias hidrográficas. In: PHILIPPI JR., A. e GALVÃO JR, A. (Ed.). Gestão do saneamento básico: abastecimento de água e esgotamento sanitário. 1ª. Barueri, SP: Manole, 2012. cap. 18, p.486-520.
3. AYRES, R. M.; MARA, D. D. Analysis of urastewater for use in agriculture. 1996.
4. BASTOS, R. K. X. et al. Subsídios a regulamentação do reúso da água no Brasil-Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. Rev DAE 177: 50-62, 2008.
5. BRASIL. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012. ÁGUAS, A. N. D. Brasília: ANA 2012.
6. CUTOLO, S. A. Reúso de águas residuárias e saúde pública. Annablume, 2009. ISBN 8574199036.

7. EATON, A. D. et al. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. Amer Public Health Assn, 2005. ISBN 9780875530475. Disponível em: <
<http://books.google.com.br/books?id=buTn1rmfSI4C>>.
8. FERREIRA, M. I. P.; SILVA, J. A. F.; PINHEIRO, M. R. C. 2-Recursos hídricos: água no mundo, no Brasil e no Estado do Rio de Janeiro. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 2, n. 2, p. 29-36, 2010. ISSN 2177-4560.
9. FONSECA A.F. et al. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. Sci. Agric., v 64, n. 2, p.194-209. march/april 2007.
10. KONATÉ, Y.; MAIGA, A.H.; BASSET, D.; CASELLAS, C. PICOT, B. Parasite removal by waste stabilization pond in Burkina Faso, accumulation and inactivation in sludge. Ecological Engineering. v. 50, p. 101-106. 2013.
11. MIWA, A.C.P.; FREIRE, R.H.F.; CALIJURI, M.C. Dinâmica de nitrogênio em um sistema de lagoas de estabilização na região do vale do ribeira SP, Brasil. Eng. Sanit. Ambiente. v. 12, nº 2, p. 169-180, abr/jun 2007.
12. MMA - MINISTÉRIO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº357, de 17 de março de 2005. 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. p. 58-63.
13. PIVELI, R. P. et al. Sanitation Assessment of Wastewater Treated by Stabilization Ponds for Potential Reuse in Agricultural Irrigation Sanitation Assessment. Water Environ. Res., v.80, nº3, p. 205-211, mar, 2008.
14. PIVELI, R. P.; KATO, M. T. Características físicas das águas: cor, turbidez, sólidos, temperatura, sabor, odor. In: _____ Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. Rio de Janeiro: ABES, 2006. P.141-168.
15. RUGGERI JUNIOR, H. C. Pós-tratamento de efluente de lagoa facultativa visando à remoção de nitrogênio amoniacal. 2011. 364 p. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
16. SÃO PAULO. Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. HÍDRICOS, S. D. S. E. R. e HÍDRICOS, C. D. R. São Paulo 2011.
17. SOUSA, A. F. S. D. Diretrizes para implantação de sistemas de reúso de água em condomínios residenciais baseadas no método APPCC-análise de perigos e pontos críticos de controle: estudo de caso Residencial Valville I. 2008. (Mestrado). Escola Politécnica, USP, São Paulo.
18. SUNDEFELD JÚNIOR, G. C. Pós-tratamento e desinfecção de efluentes de reatores UASB e de lagoas de estabilização visando ao uso agrícola. 2012. 208 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
19. TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. 3ª ed. São Carlos - SP: RiMa, 2009. ISBN 9788576561552.
20. TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. estudos avançados, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008. ISSN 0103-4014.
21. VON SPERLING, M. et al. Lagoas de Estabilização. In: Gonçalves RF, coordenador. Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES RiMa, 2003; p. 277-336
22. VON SPERLING, M. et al. Remoção de nutrientes em sistemas naturais. In: MOTA, F.S.B.; VON SPERLING, M. (Coord.) Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2009. p. 293-340.
23. WESTRELL, T. et al. QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research, v. 50, n. 2, p. 23, 2004. ISSN 0273-1223.
24. WHO, W. H. O. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume 1: Policy and Regulatory Aspects. World Health Organization, 2006. 114 ISBN 9240680551.
25. WWAP, W. W. A. P. Water in a changing world. United Nations Educational. Paris and London. 2009. (9231040952).