

ARTIGO ORIGINAL**Resíduos de estações de tratamento de água: avaliação dos riscos potenciais ambientais e para saúde***Wastewater treatment plants: evaluation of the potential health and environmental risks*

Tatiane das Neves Burgos¹, Emília Kiyomi Kuroda², Cristiane Silveira³; Paulo Alfonso Schuroff⁴, Nicole Ribeiro de Lima⁵, Jacinta Sanchez Pelayo⁶.

¹ Bióloga, Professora da Universidade Estadual de Londrina-UEL

² Engenheira Civil, Professora Doutora da Universidade Estadual de Londrina-UEL

³ Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento pela Universidade Estadual de Londrina-UEL

⁴ Biomédico, Graduado pela Universidade Estadual de Londrina-UEL

⁵ Biomédica, Graduado pela Universidade Estadual de Londrina-UEL

⁶ Biomédica, Professora da Universidade Estadual de Londrina-UEL

Resumo

Introdução: As Estações de Tratamento de Água são comparadas a uma indústria, sua matéria prima é a água bruta e seus resíduos, o lodo de decantadores e a água de lavagem dos filtros. Os resíduos de estações de tratamento de água contêm microrganismos e metais que são tóxicos e prejudiciais à saúde. **Objetivo:** O objetivo deste estudo foi realizar a caracterização microbiológica e físico-química da água bruta, lodo e água de lavagem dos filtros, das estações de tratamento de água (Tibagi e Cafezal) de Londrina-PR. **Material e Métodos:** Foram pesquisados coliformes totais e *Escherichia coli* pelo substrato Colilert, *Enterococcus faecalis*, *E. faecium* e *Clostridium perfringens* por tubos múltiplos, identificação bioquímica e Kit API. Os parâmetros metais, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, turbidez, pH, cor aparente foram analisados segundo *American Public Health Association*. **Resultados:** Com relação aos parâmetros analisados foram encontrados baixos índices na água bruta, altos índices no lodo e, a água de lavagem dos filtros apresentou valores intermediários na água bruta e no lodo, com exceção da água de lavagem dos filtros da estação de tratamento de água-Cafezal que apresentou índices mais baixos do que na água bruta. *E. coli* não foi identificado. Os valores de dois metais da água bruta e da água de lavagem dos filtros estavam acima dos limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357. No lodo, seis metais apresentaram valores elevados. **Conclusões:** A caracterização microbiológica e físico-química dos resíduos das estações de tratamento de água demonstrou que o lançamento dos resíduos no meio ambiente não é viável, em virtude do potencial de poluição do lodo e da água usada para lavar os filtros. Ficou evidente a necessidade de tratamento dos resíduos para minimizar danos ambientais e proteger a saúde pública.

Descritores: Resíduos; Análise Microbiológica; Análise Físico-Química

Abstract

Introduction: Water treatment plants are comparable to industries; their raw material is untreated water, and their residues are decanter sludge and water used to wash the filters. Residues from water treatment plants may contain microorganisms and metals that are toxic and harmful to health. **Objective:** The objective of the study was to obtain the microbiological, physical and chemical characteristics of wastewater, sludge and filter backwashing water (FBW) from the Tibagi and Cafezal water treatment plants located in the city of Londrina-PR. **Material and Methods:** The researched microorganisms were total coliforms, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium* and *Clostridium perfringens*, the following physicochemical parameters: Biochemical Oxygen Demand, Chemical Oxygen Demand, pH, turbidity, apparent color and metals according to American Public Health Association. **Results:** According to parameters studied, low rates were detected in the untreated water, and high rates were detected in the sludge. The filter backwashing water presented intermediary values than untreated water and sludge, except the filter backwashing water obtained at the Cafezal water treatment plant. This had lower rates than the untreated water. No *E. coli* was detected. Values for two metals from the untreated water and filter backwashing water were above the limits established by CONAMA 357; in the sludge, six metals showed values high. **Conclusion:** Microbiological and physicochemical characterization of the residues from the waste-water treatment plants have shown that the release of residues into the environment is not feasible given the potential for pollution of sludge and water used to wash the filters. It is evident the need to treat the residues to minimize environmental damage and protect public health.

Descriptors: Waste Products; Microbiological Analysis; Physicochemical Analysis

Recebido em 28/02/2014

Aceito em 06/06/2014

Não há conflito de interesse

Introdução

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) podem ser comparadas a uma indústria, na qual matéria prima em uso é a água bruta, submetida a diversas operações e processos, resultando no produto final que é a água tratada. Como qualquer indústria, em seu processo de operação, existe a produção de resíduos⁽¹⁾.

Os principais resíduos produzidos nas ETAs são o lodo acumulado em decantadores e a água utilizada na lavagem dos filtros (ALF). De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 10.004, o lodo de ETA se enquadra nos resíduos no estado sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial. Com relação a água utilizada na lavagem dos filtros, um grande volume é gerado em um curto espaço de tempo durante sua limpeza. Estes resíduos, precisam ser tratados e descartados de maneira correta, sem gerar prejuízos ao ambiente e a saúde humana. São observados poucos estudos sobre esses resíduos que são produzidos em larga escala nas ETAs, possuem potencial nocivo ao ambiente e são rotineiramente lançados em corpos hídricos sem qualquer tratamento prévio⁽²⁻⁴⁾.

No Brasil, o lançamento de resíduos nos corpos de água é regulamentado pela Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), determinando que efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, em corpos de água desde que obedeçam aos padrões de qualidade da água assim como as condições estabelecidas nesta legislação⁽⁵⁾.

Tradicionalmente recorre-se à identificação dos organismos indicadores de contaminação. *Enterococcus*, Coliformes totais e *Escherichia coli* são bactérias normalmente utilizadas como indicadoras de contaminação fecal. Quando detectados esses microrganismos indicam poluição fecal e risco potencial a saúde pública⁽⁶⁻⁸⁾.

Considerada a carência de estudos, as limitações dos indicadores tradicionalmente utilizados no monitoramento e controle microbiológico, como baixa resistência ao meio ambiente e cloro, inespecificidade dos coliformes totais, capacidade de multiplicação no ambiente⁽⁹⁾, adotou-se neste trabalho um conjunto de indicadores para caracterização microbiológica, no intuito de realizar uma avaliação mais abrangente já que normalmente estudos microbiológicos da mesma ordem analisam apenas *E. coli*.

Este trabalho teve por objetivo realizar a caracterização microbiológica e físico-química de amostras de água bruta e dos resíduos: lodo de decantadores e água de lavagem de filtro (ALF), gerados em ETAs do município de Londrina-PR.

Material e Métodos

Amostras de cinco litros da água bruta, lodo de decantadores e da ALF foram coletadas, nas ETAs Tibagi e Cafetal, pertencentes à cidade de Londrina-PR. Foram realizadas 4 coletas nos seguintes períodos: setembro 2011, novembro 2011, março 2012

e julho 2012. As amostras foram transportadas até a Universidade Estadual de Londrina, mantidas a 4°C até a realização das análises, iniciadas em no máximo 24 horas.

A técnica utilizada para detecção e quantificação de coliformes totais e *E. coli* foi a do substrato cromogênico Colilert (SOVEREIGN – USA), aprovado pelo *American Public Health Association*⁽¹⁰⁾.

A identificação dos *Enterococcus* ocorreu em três etapas. Primeiramente uma identificação presuntiva pela técnica dos tubos múltiplos em caldo confirmatório para enterococos (Himedia). Posteriormente foi realizada a identificação bioquímica das cepas obtidas na primeira etapa, iniciada com a coloração de Gram e os testes bioquímicos catalase e tolerância ao cloreto de sódio a 6,5%⁽¹¹⁾. As cepas isoladas na etapa anterior foram identificadas em nível de espécie por meio do Kit API 20 STREP (BioMerieux, Marcy l'Etoile, France). Todas as etapas ocorreram em estufa bacteriológica a 37°C por 24 h estendidas por 48 h para confirmação dos resultados negativos.

A identificação de *C. perfringens* ocorreu também em três etapas. Foi realizada uma identificação presuntiva pela técnica dos tubos múltiplos utilizando o caldo diferencial reforçado clostridial (Himedia)⁽¹²⁾. Na segunda etapa foi realizada a coloração de Gram e a identificação bioquímica, das cepas isoladas anteriormente, pelos testes de fermentação abundante de leite e catalase⁽¹¹⁾. Na terceira etapa, os microrganismos foram caracterizados fenotipicamente pelo Kit API 20 A (BioMerieux, Marcy l'Etoile, France). Foi utilizado como controle positivo em todas as etapas, a cepa *C. perfringens* ATCC 13124. As amostras foram incubadas em condições de anaerobiose em estufa bacteriológica a 37°C por até 48 horas.

A caracterização físico-química da água bruta, do lodo e da água de lavagem dos filtros foi realizada por meios dos parâmetros de turbidez, pesquisado pelo método Nefelométrico, cor aparente pelo método Espectrofotométrico, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pelo teste DBO cinco dias a 20°C e Demanda Química de Oxigênio (DQO) pelo método de Refluxo fechado, segundo estabelecido pelo *American Public Health Association*⁽¹⁰⁾.

Os metais estudados nas amostras foram: Alumínio dissolvido, Cádmio total, Chumbo total, Cobalto total, Cobre dissolvido, Cromo total, Ferro dissolvido, Fósforo total, Manganês total, Níquel total. O CONAMA 357/2005⁽⁵⁾ estabelece cada metal e seus valores limites na forma total ou dissolvida. As análises, foram realizadas para as amostras obtidas na coleta 3, em um laboratório de referência particular, na cidade de Londrina-PR, pelo método de Espectrofotometria de Emissão Óptica, segundo o *American Public Health Association*⁽¹⁰⁾.

Resultados

Os resultados microbiológicos da pesquisa dos indicadores, pela técnica dos tubos múltiplos, obtidos na caracterização das amostras para água bruta oriundas das duas ETAs estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado dos indicadores microbiológicos analisados por tubos múltiplos na água bruta das ETAs Tibagi e Cafezal em NMP 100 mL⁻¹

ETA* / Coleta	Coliformes	<i>E. coli</i> [†]	<i>Enterococcus</i>	<i>Clostridium</i>
Tibagi				
1	2,4x10 ³	5,8x10 ¹	2,1x10 ²	9,3x10 ¹
2	0	0	0	0
3	4,6x10 ³	5,2x10 ¹	4,3x10 ²	4,6x10 ²
4	1,5x10 ³	3,5x10 ¹	4,6x10 ²	4,3x10 ¹
Cafezal				
1	2,4x10 ³	2,1x10 ²	4,6x10 ²	4,6x10 ²
2	1,9x10 ⁴	1,4x10 ³	2,4x10 ³	1,1x10 ³
3	1,9x10 ⁴	4,4x10 ²	2,4x10 ³	1,1x10 ³
4	2,4x10 ³	1,8x10 ²	2,4x10 ³	1,1x10 ³

*ETA= Estação de tratamento de água; [†] *E. coli*=*Escherichia coli*

Na água bruta da ETA Tibagi, 16 cepas foram isoladas a partir dos tubos múltiplos, após os testes bioquímicos e a identificação pelo Kit API 20 STREP. Foram identificadas quatro cepas como *E. faecalis*, quatro como *E. faecium* e uma como *E. avium*. Na ETA Cafezal, a partir dos tubos múltiplos, foram isoladas 26 cepas após as provas bioquímicas e o Kit API 20 STREP, na água bruta. Foram identificadas 13 cepas como *E.*

faecalis, cinco *E. faecium* e um *E. durans*. O único indicador bacteriológico que não foi encontrado na água bruta foi o *C. perfringens*, cepas foram isoladas por meio dos tubos múltiplos, porém não confirmadas pelo Kit API 20 A.

Nas Tabelas 2 e 3 estão demonstrados os resultados microbiológicos, da caracterização das amostras do lodo e da ALF para as quatro coletas das duas ETAs.

Tabela 2. Resultado dos indicadores microbiológicos analisados por tubos múltiplos no Lodo das ETAs Tibagi e Cafezal em NMP 100 mL⁻¹

ETA* / Coleta	Coliformes	<i>E. coli</i> [†]	<i>Enterococcus</i>	<i>Clostridium</i>
Tibagi				
1	6,4x10 ⁵	1,7x10 ⁴	2,1x10 ⁴	1,1x10 ⁵
2	2,4x10 ⁵	1,1x10 ⁴	0	2,4x10 ⁵
3	6,1x10 ⁵	9,0x10 ⁴	1,1x10 ⁵	2,4x10 ⁵
4	6,4x10 ⁵	2,1x10 ³	1,1x10 ³	2,4x10 ⁵
Cafezal				
1	2,4x10 ³	0	0	4,6x10 ⁵
2	8,1x10 ⁶	2,0x10 ³	1,5x10 ¹	4,6x10 ⁵
3	7,7x10 ⁶	0	4,3x10 ³	1,1x10 ⁶
4	4,8x10 ⁶	3,0x10 ²	2,4x10 ⁴	2,4x10 ³

*ETA= Estação de tratamento de água; [†] *E. coli*=*Escherichia coli*

Tabela 3 Resultado dos indicadores microbiológicos analisados por tubos múltiplos na ALF* das ETAs Tibagi e Cafezal em NMP 100 mL⁻¹

ETA [†] / Coleta	Coliformes	<i>E. coli</i> [‡]	<i>Enterococcus</i>	<i>Clostridium</i>
Tibagi				
1	4,8x10 ²	8,6x10 ¹	1,2x10 ²	2,4x10 ³
2	2,9x10 ³	0	0	4,3 x 10 ²
3	2,4x10 ⁵	3,1x10 ³	3,9x10 ²	1,1x10 ⁴
4	9,2x10 ⁴	9,8x10 ²	2,4x10 ³	2,4x10 ⁴
Cafezal				
1	1,3x10 ²	0	0	7,0x10 ¹
2	0	0	0	0
3	0	0	4,0x10 ¹	4,0x10 ¹
4	0	0	7,5x10 ¹	7,5x10 ¹

* ALF= Água de lavagem de filtro; [†]ETA= Estação de tratamento de água;

[‡]*E. coli*=*Escherichia coli*

Na ETA-Tibagi, 28 cepas foram isoladas dos tubos múltiplos a partir do lodo. Após as provas bioquímicas e a identificação pelo Kit API 20 STREP, foram identificadas 22 cepas pertencentes ao gênero *Enterococcus*, nove *E. faecalis*, 11 *E. faecium*, um *E. avium* e um *E. durans*. Para a ALF, 25 cepas foram isoladas dos tubos múltiplos. Após as provas bioquímicas e a identificação pelo Kit API 20 STREP foram identificadas 13 cepas: cinco como *E. faecalis* e oito como *E. faecium*. No lodo da ETA-Cafezal, 10 cepas foram obtidas a partir dos tubos múltiplos, após os testes bioquímicos e a identificação pelo Kit API 20 STREP. Foi identificada uma cepa como *E. faecalis*, duas como *E. faecium* e uma como *E. durans*. Na ALF nenhuma cepa foi identificada pelo Kit API 20 STREP.

No lodo da ETA Tibagi, as cinco cepas identificadas para o gênero *Clostridium* pelos testes bioquímicos e pelo Kit API 20 A, foram confirmadas como *C. beijerinckii*/*C. butyricum*. Uma cepa da mesma espécie foi identificada na ALF da ETA-Tibagi. Nas Tabelas 4 e 5 estão demonstrados os resultados físico-químicos obtidos na caracterização da água bruta, ALF e lodo para as duas ETAs. Segundo APHA, AWWA e WEF o limite de

quantificação (L.Q) para o parâmetro DQO é de 3 mg L⁻¹, já para a DBO o L.Q é de 5 mg L⁻¹. A DBO observada foi inferior ao L.Q para a água bruta em todas as coletas nas duas ETAs e a DQO foi inferior ao L.Q na coleta 2 nas duas ETAs.

Os resultados dos metais pesquisados na água bruta da ETA-Tibagi foram: Alumínio dissolvido (0,831 mg L⁻¹); Cobre dissolvido (0,039 mg L⁻¹); Ferro dissolvido (0,684 mg L⁻¹) e Fósforo total (0,036 mg L⁻¹). Na água bruta da ETA-Cafezal foram encontrados os seguintes resultados: Alumínio dissolvido (0,272 mg L⁻¹); Cobre dissolvido (0,039 mg L⁻¹); Ferro dissolvido (0,274 mg L⁻¹); Fósforo total (0,025 mg L⁻¹). Os metais Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cromo, Manganês, Níquel e Zinco não foram encontrados na forma total, na água bruta das duas ETAs.

Os resultados dos metais pesquisados no lodo da ETA-Tibagi foram: Alumínio dissolvido (0,099 mg L⁻¹); Cobre dissolvido (0,038 mg L⁻¹); Cromo dissolvido (0,048 mg L⁻¹); Fósforo total (2,542 mg L⁻¹); Manganês total (2,413 mg L⁻¹) e Zinco total (0,264 mg L⁻¹). Os metais Cádmio, Chumbo, Cobalto, Cromo e Níquel na forma total e Ferro dissolvido não foram encontrados. No lodo da ETA-Cafezal foram encontrados os seguintes resultados:

Tabela 4 Resultados das análises físico-químicas da água bruta e do lodo das ETAs Tibagi e Cafezal.

ETA*/ Coleta	DQO [†] mg L ⁻¹	Água Bruta			DBO [§] mg L ⁻¹	Lodo			pH
		Turbidez uT	Cor uH	pH [‡]		DQO mg L ⁻¹	Turbidez uT	Cor uH	
Tibagi									
1	10	35,1	178	6,7	114	6.184	24.000	100.000	6,0
2	< L.Q.	25,6	170	6,5	<L.Q.	4.334	16.800	6.000	6,3
3	113	22,8	78	6,9	73	2.172	4.370	16.700	6,9
4	47	4,7	84	6,0	33	2.942	15.500	59.750	6,0
Cafezal									
1	5	12,9	76	6,2	156	4.373	7.420	365.000	6,0
2	< L.Q.	62,7	265	7,3	<L.Q.	5.849	49.400	28.000	6,5
3	72	39,3	140	6,5	56	8.364	489.000	132.500	5,5
4	98	16,3	125	6,2	24	2.608	135.000	530.000	6,2

*ETA= Estação de tratamento de água; [†]DQO= Demanda Química de Oxigênio; [‡]pH= Potencial hidrogeniônico; [§]DBO= Demanda bioquímica de oxigênio

Tabela 5 Resultados das análises físico-químicas da água de lavagem de filtros das ETAs Tibagi e Cafezal.

ETA*/ Coleta	DBO [†] mg L ⁻¹	DQO [‡] mg L ⁻¹	Turbidez uT	Cor uH	pH [§]
Tibagi					
1	<L.Q.	218	754	300	6,0
2	<L.Q.	182	881	5.500	6,6
3	11	629	1.600	54	7,0
4	<L.Q.	134	391	2.510	6,1
Cafezal					
1	<L.Q.	294	3.950	240.000	6,0
2	<L.Q.	107	889	4.500	6,8
3	<L.Q.	171	769	1.100	7,1
4	<L.Q.	136	799	3.420	6,0

*ETA= Estação de tratamento de água; [†]DBO= Demanda bioquímica de oxigênio; [‡]DQO= Demanda Química de Oxigênio; [§]pH= Potencial hidrogeniônico

Alumínio dissolvido (0,185 mg L⁻¹); Chumbo total (0,179 mg L⁻¹); Cobalto total (0,619 mg L⁻¹); Cobre dissolvido (0,040 mg L⁻¹); Cromo total (1,177 mg L⁻¹); Ferro dissolvido (0,053 mg L⁻¹); Fósforo total (1,190 mg L⁻¹); Manganês total (32,75 mg L⁻¹);

Níquel total (0,800 mg L⁻¹) e Zinco total (1,569 mg L⁻¹). O único metal não identificado foi o Cádmio na forma total.

Na ALF ETA-Tibagi foram encontrados os seguintes resultados: Alumínio dissolvido (0,092 mg L⁻¹); Cobre dissolvido (0,038, mg

L⁻¹); Fósforo total (1,708 mg L⁻¹); Manganês total (0,969 mg L⁻¹) e Zinco total (0,047 mg L⁻¹). Os demais metais pesquisados não foram identificados. Já na ETA-Cafezal os resultados encontrados foram: Alumínio dissolvido (0,201 mg L⁻¹); Cobre dissolvido (0,040 mg L⁻¹); Ferro dissolvido (0,334 mg L⁻¹); Fósforo total (0,125 mg L⁻¹) e Manganês total (1,482 mg L⁻¹).

Discussão

Na análise qualitativa da água bruta das duas ETAs observou-se que os indicadores dos quatro gêneros pesquisados estavam presentes nas quatro coletas, com exceção da coleta de número 2 da ETA Tibagi, na qual nenhum microrganismo indicador foi identificado, o que foi justificado pela limpeza anual do sistema de captação, ocorrida no dia anterior à coleta e pela água bruta que chegava na ETA com a concentração de cloro residual de 1,1 $\mu\text{g L}^{-1}$.

A análise qualitativa do lodo das duas ETAs demonstrou a presença dos quatro gêneros de indicadores. Não foi possível observar a interferência da limpeza da adutora de captação, como observado na mesma coleta para água bruta na coleta 2, em razão da preponderância do efeito acumulativo do período que precedeu a limpeza. Foi identificada na ALF da ETA Cafezal, uma baixa ocorrência dos indicadores. A ALF dessa ETA apresenta menor Número Mais Provável (NMP) para os indicadores em comparação com ETA-Tibagi, influenciada pela pré-cloração.

Altos índices foram encontrados no lodo para coliformes na maioria das coletas e o indicador *Enterococcus* apresentou valores mais elevados do que *E. coli*. Coliformes totais são os indicadores frequentemente mais estudados e, normalmente, fazem parte das legislações. Vários pesquisadores observaram relações entre a presença de indicadores tradicionais e patógenos em água⁽¹³⁾.

E. coli é uma bactéria que coloniza normalmente o trato gastrointestinal de seres humanos e animais, mas também podem existir cepas patogênicas que causam doenças graves, como a síndrome hemolítica urêmica e ainda é o indicador preferencial de contaminação fecal. A presença da bactéria indica a possibilidade de contaminação da água por fezes e, consequentemente, a potencial presença de microrganismos patogênicos⁽¹⁴⁻¹⁵⁾.

As bactérias do gênero *Enterococcus* são integrantes da microbiota gastrointestinal humana e animal e, também e também podem ser patógenos oportunistas, principalmente em indivíduos imunocomprometidos. São conhecidas por apresentarem resistência intrínseca ou adquirida a vários agentes antimicrobianos e consideradas importantes patógenos com relevância clínica e, também, e são utilizadas como indicadores de contaminação fecal. As espécies *Enterococcus faecalis*, juntamente com *E. faecium* são importantes indicadores de contaminação⁽¹⁶⁻¹⁷⁾.

Dos indicadores microbiológicos pesquisados, o único que não esteve presente nas duas ETAs foi o *C. perfringens*, um dos agentes responsáveis por infecções graves em seres humanos com capacidade de formar esporos, o que lhe confere maior capacidade de sobrevivência no ambiente. Em virtude de sua

maior sobrevivência, esse organismo é utilizado como indicador provável da presença de oocistos de *Cryptosporidium* em sistemas aquáticos⁽¹⁸⁻²⁰⁾. O *C. beijerinckii/C. butyricum* encontrado, são cepas de difícil identificação em termos de espécie. A identificação obtida pelo Kit API 20 A, apresenta as duas espécies juntas, não utilizadas como indicadoras de qualidade de água.

O estudo demonstrou a importância da utilização de um conjunto de indicadores microbiológicos na caracterização de resíduos. Observou-se que a não identificação de um indicador tradicional, não anula a possibilidade da presença de indicadores mais resistentes como *Enterococcus*, identificado no lodo e na ALF quando a *E. coli* não estava presente.

A legislação brasileira CONAMA 357/2005⁽⁵⁾ classifica os corpos de água, assim como estabelece condições e padrões com relação a *E. coli*, DBO, turbidez, pH e metais. Para corpos de água doce de classe I, estabelece o limite de 200 NMP 100 mL⁻¹ para *E. coli*. Para os corpos de água de classe II, 1.000 NMP 100 mL⁻¹ e, classe III, 2.500 NMP 100 mL⁻¹.

Na ETA Tibagi, apenas o lodo da coleta 4 se manteve dentro dos limites da classe de corpos hídricos III para *E. coli*. O lodo da ETA-Cafezal, na coleta 2, esteve acima do permitido para corpos hídricos de classe I e II e, na coleta 4, acima dos limites da classe I, portanto, o lançamento desses lodos *in natura*, ocasionariam impactos negativos no corpo receptor.

Com relação a ALF da ETA-Tibagi, na coleta 2 a ausência de *E. coli* foi decorrente da limpeza da rede. A coleta 3 esteve acima dos limites estabelecidos pela legislação para corpos de água das três classes, a coleta 4 esteve acima dos limites da classe I, portanto, o lançamento desse resíduo nesses corpos hídricos, causaria impactos negativos. Para ETA-Cafezal, em consequência da pré-cloração nas quatro coletas, não foi identificado *E. coli*. A ALF demonstrou ser viável para a reutilização na própria ETA, por meio da recirculação, já que o NMP deveria ser igual ou menor ao da água bruta.

DBO e DQO demonstram, de forma indireta, o consumo potencial de oxigênio dissolvido. São parâmetros muito importantes na caracterização do grau de poluição de corpos d'água. Eles indicam o consumo ou a demanda de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica contida na amostra de água⁽²¹⁾. A concentração média de DQO em esgoto doméstico é 600 mg L⁻¹. Em ambientes naturais não poluídos, a concentração da DBO é baixa de 1-10 mg L⁻¹⁽²²⁾, o que justifica as baixas concentrações, inferiores ao L.Q para a DBO, na água bruta, indicando uma baixa poluição.

O CONAMA 357⁽⁵⁾ estabelece o limite para a DBO de 3 mg L⁻¹ para a classe I, 5 mg L⁻¹ para a classe II e 10 mg L⁻¹ para a classe III. Na coleta 2 das duas ETAs, a DBO do lodo esteve dentro dos limites para as três classes, nas demais coletas, pode-se dizer que a disposição desse resíduo sem tratamento prévio, poderá causar prejuízo à qualidade dos corpos receptores das três classes.

Já para a ALF, a DBO foi geralmente baixa, quantificada apenas na coleta 3 da ETA-Tibagi, próxima do limite estabelecido para os corpos de água de classe III. O lançamento da ALF nos corpos hídricos não causaria impactos negativos do lodo com

relação a esse parâmetro.

A legislação ambiental estadual⁽²³⁾ do Instituto Agrônômico do Paraná (IAP), estabelece como limite de DQO para lançamento, 200 mg L⁻¹. Para a água bruta das duas ETAs foram encontrados valores inferiores a esse limite. Para o lodo das duas ETAs, valores acima do estabelecido pela legislação foram encontrados. Já para a ALF da ETA-Tibagi, nas coletas 1 e 3 estiveram acima dos limites. Na ETA-Cafezal, somente as amostras da coleta 1 estiveram acima do estabelecido. Ficou demonstrada a impossibilidade de lançamento sem tratamento prévio do resíduo lodo e da ALF para algumas coletas.

Com relação à turbidez da água bruta, observaram-se valores baixos para as ETAs. O lodo e a ALF das duas estações apresentaram valores muito acima dos limites estabelecidos para os corpos de água de classe I, até 40 uT e, para as classes II e III, até 100 uT, impossibilitando o lançamento desses resíduos *in natura* no ambiente para esse parâmetro.

A cor observada para a água bruta apresentou valores baixos, seguido pela ALF e lodo. O CONAMA 357⁽⁵⁾ não estabelece limites para a cor aparente. O pH da água bruta e dos resíduos se manteve próximo da neutralidade. Apenas o pH do lodo da ETA Tibagi, na coleta 3, esteve abaixo do estabelecido para as três classes de corpos hídricos.

Na água bruta da ETA-Tibagi, o metal Alumínio (0,831 mg L⁻¹), apresentou valor superior aos limites estabelecidos para corpos de água de classe I-III, de até 0,2 mg L⁻¹, assim como o metal Cobre (0,039 mg L⁻¹) estava acima dos limites para as três classes hídricas de até 0,013 mg L⁻¹. Os metais Ferro (0,684 mg L⁻¹) e Fósforo (0,028 mg L⁻¹), mostraram-se dentro dos limites apenas para os corpos hídricos de classe III, com limites estabelecidos de 5 mg L⁻¹ e 0,5 mg L⁻¹, respectivamente. Para a ETA-Cafezal o Alumínio (0,272 mg L⁻¹) e Cobre (0,039 mg L⁻¹) apresentaram-se acima do estabelecido na legislação para as três classes de corpos hídricos.

O Manganês (2,413 mg L⁻¹) apresentou valores superiores aos limites estabelecidos para as classes I-III, que são respectivamente: 0,013 mg L⁻¹, 0,05 mg L⁻¹ e 0,5 mg L⁻¹. O Zinco (0,264 mg L⁻¹) apresentou-se dentro do limite apenas para a classe III, 5 mg L⁻¹. Já para o lodo da ETA-Cafezal os metais: Chumbo (0,179 mg L⁻¹), Cobalto (0,619 mg L⁻¹), Cobre (0,040 mg L⁻¹), Cromo (1,177 mg L⁻¹), Fósforo (1,190 mg L⁻¹), Manganês (32,75 mg L⁻¹) e Níquel (0,800 mg L⁻¹) apresentaram valores superiores aos limites estabelecidos para os corpos de águas de classe I-III, de: 0,033 mg L⁻¹, 0,2 mg L⁻¹, 0,013 mg L⁻¹, 0,05 mg L⁻¹, 0,05 mg L⁻¹, 0,5 mg L⁻¹ e 0,025 mg L⁻¹. Os metais Alumínio (0,185 mg L⁻¹) e Zinco (1,569 mg L⁻¹) apresentaram valores compatíveis apenas com os corpos hídricos de classe III.

Na ALF da ETA-Tibagi, os metais Cobre (0,038, mg L⁻¹), Fósforo (1,708 mg L⁻¹) e Manganês (0,969 mg L⁻¹) estavam acima dos limites estabelecidos para as três classes de corpos hídricos. Para a ETA-Cafezal os metais Cobre (0,040, mg L⁻¹), Fósforo (0,125 mg L⁻¹) e Manganês (1,482 mg L⁻¹) estavam acima dos limites estabelecidos. O Ferro apresentou-se dentro do limite apenas para a classe III.

A ETA-Tibagi utiliza o Hidroxi-cloreto de polialumínio (PAC) que atua como agente coagulante no processo de tratamento

da água e a ETA-Cafezal o Cloreto férrico como agente coagulante, o que contribui para os tipos e índices de metais encontrados nos resíduos.

Estudos prévios realizados, demonstraram que a descarga de lodo diretamente em cursos d'água, sem tratamento, contribuíram para o consumo de oxigênio dissolvido no curso de água, levaram a condições anaeróbias, produziram odores, ocasionaram crescimento excessivo de algas e a morte dos peixes. Alguns estudos mostram a toxicidade crônica desse material para os organismos aquáticos e degradação da qualidade da água, assim como o assoreamento e mudança de cor, turbidez e composição química, e a possível contaminação do lençóis de água. O presente trabalho ainda confirmou que a descarga de resíduos no meio ambiente não é viável⁽²⁴⁻²⁵⁾.

Conclusão

Os resultados obtidos no estudo de resíduos de Estações de Tratamento de água (ETAs), lodo de decantador e a água de lavagem dos filtros (ALF), demonstrou elevados índices para microrganismos, parâmetros físico-químicos e metais, incompatíveis com os limites estabelecidos para corpos d'água, de acordo com a legislação CONAMA 357/2005. Novas regulamentações são necessárias para promover a preservação do meio ambiente, assim como, a instalação de unidades de tratamento de resíduos nas ETAs. Comprovou-se a necessidade de mudanças na gestão dos resíduos gerados na indústria da água, para minimizar os danos ao meio ambiente e à saúde pública.

Referências

1. Achon CL, Barroso MM, Cordeiro JS. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. *Eng Sanit Ambient.* 2008;13(1):54-62.
2. Achon CL, Barroso MM, Cordeiro JS. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. *Eng Sanit Ambient.* 2013;18(2):115-22.
3. Associação brasileira de normas técnicas. Classificação: resíduos sólidos [monografia na Internet]. Rio de Janeiro: ABNT; 2004 [acesso em 2013 Nov 1]. Disponível em: <http://www.aslaa.com.br/legislacoes/NBR%20n%2010004-2004.pdf>
4. Freitas GA, Bastos RXX, Bevilacqua PD, Pádua VL, Pimenta JFP, Andrade RC. Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos associados a protozoários. *Eng Sanit Ambient.* 2010;15(1):37-46.
5. Ministério da Saúde [homepage na Internet]. Brasília (DF) [acesso em 2013 Dez 10]. Portaria n.2914, 12 dezembro 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade; [aproximadamente 11 telas]. Disponível em: http://bvs.ms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html
6. Balleste E, Bonjoch X, Belanche LA, Blanch AR. Molecular indicators used in the development of predictive models for microbial source tracking. *Appl Environ Microbiol.* 2010;76(6):1789-95.
7. Sinigalliano CD, Fleisher JM, Gidley ML, Solo-Gabriele HM,

- Shibata T, Plano LR, et al. Traditional and molecular analyses for fecal indicator bacteria in non-point source subtropical recreational marine waters. *Water Res.* 2010;44(13):3763-72.
8. Kishinhi SS, Tchounwou PB, Farah IO. Molecular approach to microbiological examination of water quality in the grand bay national estuarine research reserve (NERR) in Mississippi, USA. *Environ Health Insights.* 2013;15(7):33-41.
9. Yates M. Classical indicators in the 21st century: far and beyond the coliform. *Water Environ Res.* 2007;79(3):279-86.
10. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22^a ed. Washington: APHA; 2012.
11. Konemann EW, Allen SD, Janda WM, Schreckenberger PC, Winn WC. Diagnóstico microbiológico texto e atlas colorido. 6^a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2008.
12. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. Norma técnica L5/213 [homepage na Internet]. São Paulo: CETESB; 1993 [acesso em 2013 Nov 3]. Determinação do número mais provável de clostrídios sulfitorredutores (*Clostridium perfringens*): método de ensaio; [aproximadamente 29 telas]. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/pdf/L5213.pdf>
13. Wu JSC, Long DD, Dörner SM. Are microbial indicators and pathogens correlated? A statistical analysis of 40 years of research. *J Water Health.* 2011;9(2):265-78.
14. Clements A, Young JC, Constantinou N, Frankel G. Infection strategies of enteric pathogenic *Escherichia coli*. *Gut Microbes.* 2012;3(2):71-87.
15. Farnleitner, AH, Kreuzinger N, Kavka GG, Grillenberger S, Rath J, Mach RL. Simultaneous detection and differentiation of *Escherichia coli* populations from environmental freshwaters by means of sequence variations in a fragment of the b-D-Glucuronidase gene. *Appl Environ Microbiol.* 2000;66(4):1340-6.
16. Comparison of *Enterococcus faecium* and *Enterococcus faecalis* Strains Isolated from Water and Clinical Samples: Antimicrobial Susceptibility and Genetic Relationships Arias CA, Contreras GA, Murray BE. Management of multidrug-resistant enterococcal infections. *Clin Microbiol Infect.* 2010;16(6):555-62.
17. Furukawa T, Suzuki Y. A proposal for source tracking of fecal pollution in recreational waters by pulsed-field gel electrophoresis. *Microbes Environ.* 2013;28(4):444-49.
18. Sparo MD, Confalonieri A, Urbizu L, Ceci M, Bruni SF. Bio-preservation of ground beef meat by *Enterococcus faecalis* CECT7121. *Braz J Microbiol.* 2013;44(1):43-9.
19. Davies CM, Long JAH, Donald M, Ashbolt NJ. Survival of fecal microorganisms in marine and fresh water sediments. *Appl Environ Microbiol.* 1995;61(5):1888-96.
20. Medema GJ, Bahar M, Schets FM. Survival of *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia coli*, faecal enterococci and *Clostridium perfringens* in river water: influence of temperature and autochthonous microorganisms. *Water Sci Technol.* 1997;35(11):249-52.
21. Von Sperling M. Introdução à qualidade de águas e tratamento de esgotos. 3^a ed. Belo Horizonte: UFMG; 2005.
22. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Boas práticas no abastecimento de águas: procedimentos para a minimização de riscos à saúde. Brasília (DF); 2006.
23. Conselho Estadual do Meio Ambiente [homepage na Internet]. [acesso em 2013 Nov 3]. Resolução n° 0070, de 11 de agosto de 2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para empreendimentos industriais; [aproximadamente 15 telas]. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf
24. Moreira RCA, Guimarães EM, Boaventura GR. Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada. *Quim Nova.* 2009;32(8):2085-93.
25. Reis ELT, Cotrim MEB, Rodrigues C, Pires MAF, Beltrame Filho O, Rocha SM, et al. Identificação da influência do descarte de lodo de estações de tratamento de água. *Quim Nova.* 2007;30(4):865-87.

Apoio financeiro: Fundação Araucária e da Secretaria de Estado da Saúde do Estado do Paraná-SESA.

Endereço de correspondência:

Universidade Estadual de Londrina, Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445 Km 380, Campus Universitário, Caixa Postal 10.011, CEP 86.057-970, Londrina-PR.
E-mail: jspelayo@gmail.com
