

Tratamento de Esgoto por Estação de Zonas de Raízes na Área Rural do Município de Francisco Beltrão – Paraná

Diandra Faust Silveira (UTFPR-FB) faustdiandra@gmail.com

Nariele Raiane Arsego (UTFPR-FB) narielearsego@hotmail.com

Ivane Benedetti Tonial(UTFPR-FB) ivane@utfpr.edu.br

Claudia Eugênia Castro Bravo; (UTFPR-FB) claudiacastro@utfpr.edu.br

Sheila Regina Oro (UTFPR-FB) sheilaro@utfpr.edu.br

Resumo

O presente estudo teve por objetivo avaliar a eficiência do biofiltro (Estação de Tratamento de Esgotos por Zona de Raízes) implantado na Escola Eptácio Pessoa, localizada na Seção Jacaré no Município de Francisco Beltrão, por meio de uma pesquisa experimental. Para isso foram realizadas três coletas de amostras de esgoto bruto e tratado, os quais foram avaliados quanto ao pH, temperatura, oxigênio dissolvido, DBO, DQO, sólidos totais, nitrato, nitrito, nitrogênio total, fósforo e *E. Coli*. Para análise estatística utilizou-se o Teste *t-Student*, o qual indicou haver diferença significativa do esgoto bruto em relação ao esgoto tratado para apenas três dos parâmetros analisados (pH, DBO, DQO). A análise físico-química dos resultados mostrou que a ETE apresentou uma diminuição dos teores dos parâmetros do esgoto bruto em relação ao esgoto tratado, porém os valores dos teores do esgoto tratado não atendem as concentrações estabelecidas pela legislação, não podendo ser lançado em corpos hídricos, comprovando assim que a eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto por zona de raízes avaliada não é satisfatória, sendo necessário passar por reparos e monitoramento constante.

Palavras-chave: Fitorremediação, Impacto Ambiental, Tecnologia Alternativa, teste *t-Student*.

Treatment of Sewage by Station of Root Zones in the Rural Area of the Municipality of Francisco Beltrão – Paraná

Abstract

The present study aimed to evaluate the efficiency of the biofilter (Station Sewage Treatment Roots zone) deployed in Eptácio Pessoa School, located in Section Jacaré in the city of Francisco Beltrão, by means of a experimental research. For this, three Samples of raw and treated sewage has been collected, which were evaluated the pH, temperature, dissolved oxygen, BOD, COD, total solids, nitrate, nitrite, total nitrogen, phosphorus and *E. Coli*. *t-Student* test was used for statistical analysis, which indicated that there was a significant difference from the raw sewage in relation to treated sewage for only three of the analyzed parameters (pH, BOD, COD). The analysis physical-chemical oh the results showed that ETE showed a decrease in the levels of the parameters of raw sewage in relation to treated sewage, but the levels of the treated wastewater values does not meet the concentrations established by government, can't be released into hydrous bodies proving, so the efficiency of the Sewage Treatment Plant for the root zone is assessed unsatisfactory, being necessary must undergo repairs and constant monitoring.

Keywords: Phitoremiation, Environmental Impact, Altenative Technology, *t-Student* test.

1. Introdução

A falta de saneamento é um dos problemas enfrentados pela população urbana e principalmente quando se trata das zonas rurais, o que trivialmente gera consequências negativas para saúde, economia e para o meio ambiente da região. Fatores que algumas vezes são agravados pela falta de infraestrutura das cidades e a falta de investimentos dos gestores.

Diante das condições gerais do saneamento ambiental no Brasil, é importante destacar a necessidade de buscar a universalização dos serviços de saneamento básico e de aumentar a qualidade dos mesmos, de modo a contribuir para melhorar a saúde e o bem-estar da população e tornar o meio ambiente mais saudável. As ações de saneamento reduzem a ocorrência de doenças e evitam danos ao ambiente, especialmente aos solos e corpos hídricos (IBGE, 2011).

A fitorremediação é uma técnica alternativa baseada em uso de vegetais para remediação do solo e do sistema hídrico. Trata-se de uma tecnologia eficiente, de baixo custo para implantação, operação e manutenção, além de ser ecologicamente correta, a qual pode ser usada em áreas onde não existe o método convencional de tratamento (ABREU, 2013).

A ETE por zona de raízes é um sistema físico-biológico, com parte do filtro constituído de plantas. O esgoto bruto é lançado através de uma rede de tubulações perfuradas que é instalada logo abaixo da zona de raízes, área plantada. Esta área é dimensionada de acordo com a demanda de esgoto já pré-determinada (KAICK, 2002).

A descontaminação do efluente é realizada de forma física, química e biológica. Os meios filtrantes (pedra brita e areia) realizam o processo físico de filtração, já a fixação dos nutrientes pelas plantas se dá pelo princípio químico e biologicamente as bactérias que se desenvolvem na rizosfera onde se alimentam e degradam a matéria orgânica contida no efluente (ABREU, 2013).

No presente trabalho é realizada uma pesquisa experimental. Tendo como objetivo verificar a eficiência do tratamento de fitorremediação através da implantação de uma Estação de Tratamento por Zonas de Raízes (Biofiltro) através das análises físico-químicas e microbiológicas do efluente bruto e do efluente tratado, analisando também estatisticamente o tratamento empregado. Fazendo ainda a comparação com os limites estabelecidos para lançamento de efluentes pela legislação federal e estadual, CONAMA nº357/05, CONAMA nº430/11 e CEMA nº70/09 respectivamente. Sendo o objeto deste estudo a ETE por zonas de raízes implantada na Escola Epitácio Pessoa, localizada na Sessão Jacaré no Município de Francisco Beltrão – Paraná.

2. Materiais e Métodos

2.1 Amostragem

Foram realizadas três coletas, num intervalo de dois meses cada, no período de julho a dezembro de 2013, contemplando o período letivo, onde há maior geração de esgoto. Em cada coleta foi retirada uma amostra do esgoto bruto e uma amostra do esgoto tratado.

As coletas foram realizadas em dois pontos, o primeiro ponto que antecede o processo de tratamento localizado a um metro do biofiltro, onde é realizada a coleta do efluente bruto que passa pela fossa séptica e o segundo ponto sucede o processo de tratamento do esgoto, localizando-se ao final do biofiltro, onde é coletado o efluente tratado, o qual desemboca em um córrego paralelo a estação de tratamento implantada

As amostras coletadas foram armazenadas em vidro âmbar e acondicionadas para transporte em caixa de isopor contendo gelo, para preservação das mesmas. As amostras foram submetidas a análise de pH, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais, DBO, DQO, Nitrogênio Total, nitrito, nitrato e fósforo e *E. coli*. As metodologias utilizadas para análise das variáveis abióticas pH, temperatura, oxigênio dissolvido, demanda biológica de oxigênio, demanda química de oxigênio, nitrogênio total, nitrato, nitrito e sólidos totais estão descritas na Tabela1.

Variável abiótica	Métodos
pH	pHmetro digital (MS Tecnocon – MPA 210)
Temperatura °C	Termômetro digital (modelo L.22807)
Oxigênio Dissolvido (OD)	Medidor de Oxigênio dissolvido (modelo 550Lb)
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 21 th Edition, 2005.
Demanda Biológica de Oxigênio (DBO)	Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 21 th Edition, 2005.
Nitrogênio Total	Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 21 th Edition, 2005.
Nitrato	Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 21 th Edition, 2005.
Nitrito	Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 21 th Edition, 2005.
Fósforo	Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 21 th Edition, 2005.
Sólidos Totais	Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 21 th Edition, 2005.

Fonte: autoras (2014)

Tabela 1 - Variáveis abióticas e métodos de análises

Para determinação quantificação da *E.Coli*, o método utilizado foi de acordo com BRASIL/MAPA Métodos Analíticos Oficiais para Análise Microbiológica para Controle de Produtos de Origem Animais e Água de 2003.

2.2 Avaliação do processo de tratamento

As amostras foram submetidas a avaliação da eficiência do processo de tratamento de esgoto por zona de raízes. Para realização desta avaliação foi utilizado os valores da demanda química de oxigênio (DQO) do esgoto bruto e tratado. A eficiência de remoção foi calculada de acordo com Koetz *et al.*, (1996), através da seguinte expressão matemática:

$$E = [(C_{DQO,0} - C_{DQO}) / C_{DQO,0}] \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

E - Eficiência de remoção de DQO

$C_{DQO,0}$ - Valor de DQO do efluente bruto em mg.L^{-1}

C_{DQO} - Valor de DQO do efluente tratado em $mg.L^{-1}$

2.3. Análise Estatística

Segundo Barbetta (2010), o teste paramétrico denominado teste t de *Student* é apropriado para comparar dois conjuntos de dados quantitativos, em termos de seus valores médios. Utilizando, então, uma amostragem não probabilística, trabalhamos com uma população formada por material contínuo, sendo o esgoto bruto e o esgoto tratado. Portanto, tem-se o esgoto como fator único e dois níveis, bruto e tratado. Nesse estudo foi realizado o teste t univariado, para duas amostras pareadas, adotando duas hipóteses, a primeira seria a nula onde se supõem não haver diferença no tratamento de esgoto e a segunda, seria a alternativa, onde é esperado que os valores dos parâmetros analisados do esgoto tratado sejam inferior ao do esgoto bruto. Considerando o nível de significância igual a 5%, os valores de p -valor devem apresentar valores menores que 5% ($\alpha = 0,05$) para se adequar a hipótese alternativa, que é o desejado. Matematicamente a estatística t é calculada pela equação:

$$t = \bar{d} \cdot \sqrt{n} / Sd \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

n o tamanho da amostra (número de pares).

$\bar{d}$ a média das diferenças observadas; e

Sd o desvio padrão das diferenças observadas.

Como essa distribuição é bastante utilizada na prática, existem tabelas que fornecem o valor de t (FONSECA *et al.*, 2009). Por essas tabela obtém-se a área associada a um valor maior ou igual a t , sendo o teste unilateral, essa área corresponde ao valor de p (BARBETTA, 2010).

3. Resultados e Discussão

Os resultados dos parâmetros físico-químicos referentes às análises de esgoto bruto e tratado (Estação de Tratamento de Esgoto - ETE por zona de raízes) obtidos neste estudo em três distintas coletas (1º mês de julho; 2º mês de setembro e 3º mês de dezembro todas realizadas no ano de 2013) são apresentados em três tabelas subsequentes, sendo a Tabela 1 referente as três coletas de esgoto bruto e tratado; a Tabela 2 mostra os resultados descritivos da média e do desvio padrão referente às três coletas acompanhados do tratamento estatístico aplicado e a Tabela 3 mostra os percentuais de remoção de matéria orgânica, calculada com auxílio de uma expressão matemática (Equação 1), utilizando para isso os valores obtidos na análise da Demanda Química de Oxigênio (DQO).

	Variáveis	Unidade	E.B.	E.T.	CONAMA* 357/05	CONAMA** 430/11	CEMA*** 70/09
Primeira Coleta de esgoto	pH	(-)	8,49	7,05	6 a 9	5 a 9	NC
	Temperatura	°C	21,40	21,13	< 40	< 40	NC
	OD	mgL ⁻¹	3,49	4,63	>5	NC	NC
	DBO5	mgL ⁻¹	14,00	<1,6	NC	120	50
	DQO	mgL ⁻¹	27,00	<1,6	NC	NC	200
	Sólidos Totais	mgL ⁻¹	80,00	20,00	500	NC	NC
	Nitratos	mgL ⁻¹	20,51	13,18	10	NC	NC
	Nitritos	mgL ⁻¹	0,78	0,37	1	NC	NC
	Nitrogênio total	mgL ⁻¹	2,68	1,98	1,27	NC	NC
	Fósforo	mgL ⁻¹	18,52	3,71	0,03	NC	NC
	Variáveis	Unidade	E.B.	E.T.	CONAMA* 357/05	CONAMA** 430/11	CEMA*** 70/09
Segunda Coleta de esgoto	pH	(-)	8,56	7,53	6 a 9	5 a 9	NC
	Temperatura	°C	26,30	25,70	< 40	< 40	NC
	OD	mgL ⁻¹	6,10	5,90	>5	NC	NC
	DBO	mgL ⁻¹	47,00	<1,6	NC	120	50
	DQO	mgL ⁻¹	104,00	<1,6	NC	NC	200
	Sólidos Totais	mgL ⁻¹	50,00	50,00	500	NC	NC
	Nitratos	mgL ⁻¹	11,50	7,65	10	NC	NC
	Nitritos	mgL ⁻¹	0,50	0,57	1	NC	NC
	Nitrogênio total	mgL ⁻¹	81,17	67,28	1,27	NCC	NC
	Fósforo	mgL ⁻¹	17,49	3,63	0,03	NC	NC
	Variáveis	Unidade	E.B.	E.T.	CONAMA* 357/05	CONAMA** 430/11	CEMA*** 70/09
Terceira Coleta de esgoto	pH	(-)	8,50	7,06	6 a 9	5 a 9	NC
	Temperatura	°C	21,04	22,10	< 40	< 40	NC
	OD	mgO ₂ L ⁻¹	6,40	6,20	>5	NC	NC
	DBO	mgO ₂ L ⁻¹	4,00	4,00	NC	120	50
	DQO	mgO ₂ L ⁻¹	7,00	6,80	NC	NC	200
	Sólidos Totais	mgL ⁻¹	65,00	35,00	500	NC	NC
	Nitratos	mgL ⁻¹	6,09	8,50	10	NC	NC
	Nitritos	mgL ⁻¹	0,27	0,41	1	NC	NC
	Nitrogênio total	mgL ⁻¹	48,49	21,49	1,27	NC	NC
	Fósforo	mgL ⁻¹	5,01	0,93	0,03	NC	NC

Fonte: Autoras (2014)

EB: Esgoto Bruto; ET: Esgoto Tratado OD: Oxigênio Dissolvido; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio.* Classificação de acordo com o que se aplica as águas de Classe 2, estabelecido na Resolução CONAMA nº357/05 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **CONAMA nº430/11 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA.

*** CEMA nº70/09 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes líquidos industriais

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos referentes a primeira, segunda e terceira coleta de esgoto bruto (E.B.) e tratado (E.T.) da ETE por zona de raízes.

Os pH das amostras dos esgotos submetidos ao estudo apresentaram valores que variaram de 8,49 a 8,56 para amostras do esgoto bruto e de 7,05 a 7,53 para as amostras de esgoto tratado. Em comparação com os limites estabelecidos pela legislação pode-se inferir que em ambos (bruto e tratado), encontra-se dentro do valor determinado pela Resolução nº 430/11 do CONAMA, não comprometendo, neste caso qualidade da água.

Para temperatura as amostras apresentaram valores que variaram de 21,04°C a 26,30°C, os valores observados não demonstraram grandes variações entre as coletas e forma do esgoto (bruto/tratado). Segundo a Resolução nº 430/2011 do CONAMA a temperatura de um efluente para poder ser lançado ao ambiente deve ser inferior a 40°C, o que comprova, neste sentido que o esgoto em estudo atende a legislação no parâmetro temperatura.

Em específico, a temperatura pode ter influência direta do clima, da temperatura atmosférica e horário de coleta. Esta consideração pode explicar o maior valor de temperatura correspondendo a segunda coleta (mês de setembro), considerando que a coleta foi realizada em período vespertino em dia ensolarado e de alta temperatura. As demais coletas foram realizadas durante o período da manhã, circunstância em que a (CETESB, 2013) confirma a afirmação anteriormente explanada, que a temperatura superficial é influenciada pela latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade.

Um parâmetro muito importante para análise da qualidade da água é a quantidade de Oxigênio Dissolvido (OD) presente, pois deste parâmetro depende diversas formas de vida do meio aquático. Os valores de OD variaram de 3,49 a 6,40 mgL⁻¹ para o esgoto bruto e 4,63 a 6,20 mgL⁻¹ para o esgoto tratado. A Resolução nº 357/05 CONAMA estabelece para lançamento de efluentes teores não inferiores a 5,0 mgL⁻¹ para este parâmetro. Em consideração a esta Resolução pode-se verificar que os valores de OD encontrados na primeira coleta, tanto para o esgoto bruto quanto para o tratado abaixo do indicado, o que leva a rematar que o tratamento de esgoto por zona de raízes para este parâmetro ainda não foi totalmente eficaz.

A maior concentração de OD observada ocorrida no mês de dezembro pode ter relação com a maior precipitação registrada neste período. Além disso a precariedade da manutenção do local onde o biofiltro foi instalado, o qual encontrava-se sem as devidas manutenções e com ausência do replantio do copo de leite, e ainda pelo assoreamento de solo que acumulou-se na superfície do biofiltro, podem também ter influenciado os valores de OD.

Para os parâmetros de nitrito e nitrato as análises apresentaram valores de acordo com o estabelecido pela Resolução nº 357/05 do CONAMA, que determina que o valor de nitrato não devem exceder 10 mgL⁻¹ e nitrito não deve exceder a 1 mgL⁻¹, exceto na primeira coleta em que o valor encontrado de nitrato ultrapassou os limites permitidos pela legislação tanto para o esgoto bruto (20,51 mgL⁻¹) quanto para tratado (13,18 mgL⁻¹). A menor concentração de nitrito foi registrado no mês de dezembro, tanto para o esgoto bruto (0,27 mgL⁻¹) quanto para o esgoto tratado (0,41 mgL⁻¹), onde a concentração de OD foi maior, explicando que o nitrito é encontrado em baixas concentrações em ambientes oxigenados, fato este também observado por Ramos, (2014).

A concentração de nitrato no mês de julho (1ª coleta) apresentou valores maiores, quando comparados às outras duas coletas, o que não era esperado, pois como o OD no mesmo

período foi baixo, deveria ter ocorrido o processo de desnitrificação, caso encontrado também por (SCANDOLERA, 2001).

O nitrogênio total é um elemento químico que sugere a presença global de nutrientes na água e o nível de eutrofização da mesma. Pela análise dos resultados constatou-se que as concentrações de nitrogênio nas três coletas se apresentaram em não conformidade com a Resolução nº 357/05 do CONAMA que estabelece valores inferiores a $1,27 \text{ mgL}^{-1}$. Os teores de N_{total} apresentaram redução quando comparado o esgoto bruto com o tratado, porém, mesmo após tratamento os valores foram superiores ao permitido, sendo que na segunda coleta o esgoto tratado apresentou valores aproximadamente 53 vezes maior do que o estabelecido pela legislação. Fato semelhante foi observado por Medeiros (2013), que estudou a qualidade da água em micro bacias rurais e encontrou altas concentrações de nitrogênio total, o qual sugere uma forte influência deste nutriente no nível de eutrofização do corpo hídrico.

As concentrações de fósforo também excederam os valores permitidos pela Resolução nº 357/05 do CONAMA que estabelece valor de $0,02 \text{ mgL}^{-1}$ tanto para o esgoto bruto quanto para o esgoto tratado. Os maiores índices de fósforo foram observados para o esgoto bruto, o qual se repetiu nas três coletas. No esgoto bruto, os valores se mostraram maiores nas duas primeiras coletas com valores de $3,71 \text{ mgL}^{-1}$ (1ª coleta) e $3,63 \text{ mgL}^{-1}$ (2ª coleta). Na terceira, o valor encontrado foi de $0,93 \text{ mgL}^{-1}$. A redução deste nutriente após tratamento foi na ordem de 20,03% na primeira coleta, 20,75% na segunda coleta e 18,56% na terceira, valores estes considerados válidos, no entanto, sua concentração ainda ficou acima do que determina a legislação.

As altas concentrações de fósforo podem ser explicadas pelo consumo de detergentes e outros produtos químicos domésticos, assim como a forma orgânica (ligada a compostos orgânicos) de origem fisiológica, utilizados frequentemente para higienização da escola, onde fica localizado a estação de tratamento por zona de raízes. Caso este também levantado por Santos (2013), que encontrou valores semelhantes para concentrações de fósforos indicando valores acima do estabelecido pela Resolução nº 357/05 em análises realizadas no rio Catolé na Bahia.

A concentração de DQO no esgoto bruto variou de $7,00 \text{ mgL}^{-1}$ a $104,00 \text{ mgL}^{-1}$, enquanto no esgoto tratado apresentou valores $<1,6 \text{ mgL}^{-1}$ a $6,80 \text{ mgL}^{-1}$. Os valores encontrados estão dentro dos padrões estabelecidos pela CONAMA nº 357/05 e a CONAMA nº 430/11, respeitando também a legislação estadual CEMA nº 70/09. Foi observada a mesma concentração para o esgoto tratado na primeira e segunda coleta. A maior concentração de DQO para o esgoto tratado foi observada na última coleta. Neste período, a ETE estava em situação precária, não sendo observado a presença de plantas responsáveis pelo funcionamento ideal da ETE, além disso, o córrego apresentava no momento da coleta vazão maior que as anteriores, decorrente certamente, das constantes chuvas ocorridas no período. Os fatos descritos podem ter influenciado de maneira bastante significativa na eficiência da ETE por zona de raízes.

A concentração de DBO no esgoto bruto variou de $4,00 \text{ mgL}^{-1}$ a $47,00 \text{ mgL}^{-1}$, enquanto no efluente tratado apresentou valores $<1,6 \text{ mgL}^{-1}$ a $4,00 \text{ mgL}^{-1}$. Os valores encontrados estão dentro dos padrões estabelecidos pela CONAMA nº 430/11, respeitando também a legislação estadual CEMA nº 70/09.

Mesmo funcionando em estado precário, os valores de DBO do esgoto tratado na terceira coleta são menores ($148,00 \text{ mgL}^{-1}$ de DBO) que os valores encontrados por ALBA (2008), em estudo realizado com Fitorremediação de efluentes de frigorífico de aves.

Nas duas primeiras coletas, a DBO manteve valores similares para o esgoto tratado, indicativo de que não houve introdução de matéria orgânica capaz de causar perturbação ao meio, ou seja, a quantidade de matéria orgânica existente ou introduzida é menor do que a capacidade de assimilação do corpo hídrico (RAMOS, 2014). Na terceira coleta não houve diferença nos resultados obtidos entre o esgoto bruto e tratado, o que pode ter ocorrido devido a falta de manutenção do biofiltro e ausência de plantas para auxiliar no tratamento do esgoto.

A redução nos teores de DBO e também de DQO no esgoto bruto para o esgoto tratado, é decorrente da presença de microorganismos aderidos ao meio filtrante e as raízes da planta, formando o biofilme (LOHMANN, 2011), que contribui para a redução da matéria orgânica.

Os sólidos totais atenderam ao padrão estabelecido pela resolução CONAMA nº 357/05 (500 mgL^{-1}), tanto para o esgoto bruto quanto para o tratado, embora apresentando resultados bem variados o que pode ser decorrente da falta de manutenção da ETE, pois verificou-se que os valores foram decrescendo ao decorrer das três coletas, apresentando desvio padrão significativamente alto.

A ETE apresentou uma eficiência média (40,4%) quanto a remoção de sólidos totais ficando dentro dos valores (15 % a 59%) de medidas de eficiência encontrados por Philippi (2007), que avaliou o desempenho de algumas unidades baseando-se no monitoramento do efluente do tanque séptico (efluente da zona de raízes) e do efluente tratado na saída da zona de raízes.

A Tabela 2 mostra a média referente às três coletas acompanhada do desvio padrão e o tratamento estatístico pela aplicação do test-*t* para as variáveis analisadas.

Variáveis	Unidade	E.B.	E.T.	<i>t</i> - valor	<i>p</i> - valor
		Média ± D.P	Média ± D.P		
pH	(-)	8,52 ± 0,24	7,21 ± 0,27	8,15	0,037*
Temperatura	°C	22,9 ± 2,94	22,98 ± 2,41	-0,029	0,803
OD	mgL^{-1}	5,33 ± 1,60	5,58 ± 0,83	-0,237	0,427
DBO5	mgL^{-1}	21,67 ± 22,50	2,40 ± 1,39	1,48	0,007*
DQO	mgL^{-1}	46,00 ± 51,22	3,33 ± 3,00	1,44	0,007*
Sólidos Totais	mgL^{-1}	65,00 ± 15,00	35,00 ± 15,00	2,449	0,07
Nitratos	mgL^{-1}	12,70 ± 7,28	9,78 ± 2,98	0,6434	0,286
Nitritos	mgL^{-1}	0,52 ± 0,26	0,45 ± 0,11	0,4177	0,293
Nitrogênio total	mgL^{-1}	44,11 ± 39,43	30,25 ± 33,52	0,4639	0,839
Fósforo	mg L^{-1}	13,67 ± 7,52	2,76 ± 1,58	2,4604	0,085

Fonte: Autoras (2014)

EB: Esgoto Bruto; ET: Esgoto Tratado OD: Oxigênio Dissolvido; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO: Demanda Química de Oxigênio.D.P: Desvio Padrão. *Significância a 5%

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos em valores médios ± desvio padrão referente as três coletas de esgoto bruto (E. B.) e tratado (E.T.) da ETE por zona de raízes.

Os valores de $p < 0,05$ indicam haver diferença significativa do esgoto bruto em relação ao esgoto tratado em cada parâmetro analisado, enquanto que os valores de $p > 0,05$ indicam não haver diferença a uma significância de 5%.

Neste sentido, a Tabela 2 mostra que dentre as variáveis avaliadas, apresentaram diferença significativa entre as médias do esgoto bruto e esgoto tratado, os parâmetros de pH, DBO, DQO, enquanto que os demais parâmetros não apresentaram diferença estatística entre seus valores médios.

Na interpretação dos dados estatísticos pode-se verificar que a ETE por zona de raízes necessita de reparos e monitoramento para que possa reduzir a concentração da maioria dos parâmetros avaliados e seja realmente eficiente, contribuindo para minimização da poluição ambiental.

A Tabela 3 apresenta o percentual de eficiência na redução de DQO do esgoto submetido ao tratamento por zona de raízes.

Amostra	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Média
DQO Bruto (mg L ⁻¹)	27	104	7	46
DQO Tratado (mg L ⁻¹)	1,6	1,6	6,8	3,33
E (%)	94,07	98,46	2,86	63,13

Fonte: Autoras (2014)

DQO: Demanda Química de Oxigênio

Tabela 3 - Valores de DQO em amostras de esgoto bruto e tratado e eficiência de remoção de DQO.

A ETE por zona de raízes avaliada se mostrou eficiente para remoção de DQO com valores de redução na ordem de 94,04% (1° coleta); 98,46% (2° coleta), sendo observado na 3° coleta percentual de (2,86%) mostrando a perda de eficácia da ETE na remoção de DQO no período equivalente a seis meses, consequência da falta de monitoramento e da reposição de plantas responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

Com o baixo percentual de remoção de matéria orgânica observado na 3° coleta, a ETE apresentou média do percentual de eficiência na ordem de 65,13%, o que pode se considerar razoavelmente efetiva, valores semelhantes na eficiência da remoção de DQO foram encontrados por Clijuri *et al.*, (2009). No entanto, segundo Zanella (2008), afirma que o meio filtrante pode interferir significativamente na qualidade do efluente final para a DQO. O mesmo autor afirma, também, que a evapotranspiração ou incorporação pelas plantas podem levar a diferentes resultados para análise de eficiência de um sistema.

A relação DQO/DBO₅ representa um fator importante para verificação da biodegradabilidade de um esgoto ou efluente. Os resultados obtidos para a razão DQO/DBO₅ apresentaram variações de 1,75 (3° coleta) a 2,21 (2° coleta) apresentando média de 1,96, considerando as três coletas. Segundo Braile e Cavalcanti (1993), o tratamento biológico é recomendado quando está razão for menor que dois, no entretanto, Dezotti (2008), afirma que a biodegradação é possível quando estes valores se situarem entre 1,5 e 2,5.

As análises microbiológicas realizadas nas amostras de esgoto bruto e tratado com o sistema de raízes indicaram a presença da bactéria *E. Coli* em ambas as amostras.

Esta é uma forma de avaliar a qualidade microbiológica do esgoto, pois, detectando a presença de agentes indicadores de qualidade higiênico sanitária, pode-se inferir que há

contaminação por fezes humanas ou animais de sangue quente e, por conseguinte, a sua potencialidade em transmitir doenças (CASCAIS, 2008).

4. Conclusão

Verificou-se por meio dos resultados obtidos que a ETE, embora reduzindo os teores dos parâmetros analisados do esgoto bruto em relação ao esgoto tratado, não atende as indicações da legislação sendo, portanto insatisfatória quanto ao tratamento, devendo, desta forma, ser evitado o lançamento em corpos hídricos.

Conclui-se, desta forma, que para apresentar maior eficiência da ETE por zona de raízes avaliada, a mesma deve passar por reparos, e ser constantemente monitorada para que possa tratar de forma eficaz o esgoto gerado pela comunidade da Escola Epitácio Pessoa localizada na Seção Jacaré e contribuir para redução da poluição e minimização do impacto ambiental. O uso de outras espécies de plantas para realizar o processo de fitorremediação também seria interessante.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental da UTFPR campus Francisco Beltrão e a Prefeitura Municipal de Francisco Beltrão.

Referências

ABREU, P. S. *Implantação de uma Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes na Comunidade Rural da Seção Jacaré do Município de Francisco Beltrão*. 2013. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Dissertação (mestrado). Pato Branco, 2013.

ALBA, C. S. M. *Fitorremediação de efluentes de frigorífico de aves*. Trabalho de Conclusão de Curso, Tecnologia em Controle de Processos Químicos. UTFPR - Campus Pato Branco, 2007.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. *O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental*. São Paulo. Oficina de Textos, 2007.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington. 2012.

BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. *Estatística: para cursos de engenharia e informática*. 3. Ed. Editora Atlas S.A. São Paulo, 2010.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. *Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais*. São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL/MAPA - *Métodos Analíticos Oficiais para Análise Microbiológica para Controle de Produtos de Origem Animais e Água*. 2003.

CALIJURI, L. M.; BASTOS, R. K.X.; MAGALHÃES, T. de B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. *Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes*. Eng Sanit Ambient | v.14 n.3. 2009.

CASCAIS, B. F. A. *Monitoramento de Efluente e Comparação das Eficiências das Estações de Tratamento de Esgoto da Grande Florianópolis*. Florianópolis, 2008.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguasinteriores/variaveis/aguas/variaveis_quimicas/demanda_quimica_de_oxigenio.pdf>. Acessado em: 10 set. 2013.

CEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente. *Resolução nº70 de 11 agosto 2009*. Disponível em: < http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/resolucao_cema_70_2009.pdf>. Acessado em: 20 jul.2013.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução nº357 de 17 de março de 2005*. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acessado em: 20 jul.2013

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. *Resolução nº430 de 13 de maio de 2011*. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acessado em: 20 jul.2013.

DEZOTTI, M. *Processos e Técnicas para Controle Ambiental de Efluentes Líquidos*. Rio de Janeiro: E-papers Serviço Editoriais Ltda, 2008.

FONSECA, J. da S.; MARTINS, G. de A. Curso de estatística. 6. Ed. São paulo. Editora Atlas. 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Atlas de Saneamento 2011*. Rio de janeiro, 2011.

KAICK, T. S. V. *Estação de tratamento de esgotos por zona de raízes: Uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná*. 2002. 128 f. Tese (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, 2002.

KOETZ, P. R.; FARIA, O. L. V.; NUNES, W. A. *Tratamento de efluentes da indústria de arroz parboilizado por digestão anaeróbia em reatores de fluxo ascendente*. Revista Brasileira de Agrociência, v.2, n. 2, 117-120, Mai./Ago., 1996.

LATTIN, J.; CARROLL, D. J.; GREEN, P. E. *Análise de dados Multivariados*. 1ª. Ed. Editora Cengage CTP. 2010.

LOHMANN, G. *Caracterização microbiológica de estação de tratamento de esgoto por zona de raízes de fluxo vertical*. Curitiba, 2011.

MEDEIROS. G. A.; TOMAS. I. S. F.; RIBEIRO. A. I.; LONGO. Regina. M. *Qualidade da Água em Micro-bacias Hidrográficas Rurais*. Salvador-BA, 2013.

RAMOS. F. O.; BARROS. C. F.; SOUSA. I. C. *Avaliação da Qualidade da Água dos Mananciais Superficiais do Projeto Polo Fruticultura Irrigada de São João - Porto Nacional. TO*. Disponível em:<http://www.catolico.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2010-1/4-periodo/Avaliacao_da_qualidade_da_agua_dos_mananciais_superficiais.pdf> Acessado em: 14 jan.2014.

SANTOS. Q. R.; FRAGA. M. S.; ULIANA. E. M. *Monitoramento da qualidade da água em uma seção transversal do Rio Catolé, Itapetinga – BA*. Jun/2013.

SCANDOLERA, A. J.; PALHARES, J. C.; JUNIOR, J. L.; AMARAL, L. A.; MENDONÇA, R. P.; OLIVEIRA, G. P. *Avaliação de parâmetros químicos, microbiológicos e parasitológicos de águas de abastecimento da UNESP e residuária, no município de Jaboticabal, Estado de São Paulo*. Semina: Ci. Agrárias, Londrina, v. 22, n.1, p. 83-91, jan./jun. 2001.

ZANELLA, L. *Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte*. Campinas, 2008.