



EFLUENTES DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: EFEITO SOBRE À QUALIDADE DE ÁGUA DE UM RIO DE PEQUENO PORTE

Rebeca do Amaral VERCELLINO, Luiz Felipe SALEMI*, Tatiana Morgan Berteli de ANDRADE, Robson Willians da Costa SILVA, Natassia Bonini VIDAS, Plinio Barbosa de CAMARGO

Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

*E-mail: piposalemi@gmail.com

Recebido em novembro/2014; Aceito em abril/2015.

RESUMO: As estações de tratamento de esgoto são reconhecidas como medidas que trazem resultados positivos no que tange à qualidade das águas dos rios que recebem seus efluentes. O presente estudo reporta os efeitos do lançamento de efluentes de uma estação de tratamento de esgoto sobre a condutividade elétrica (CE), o carbono orgânico dissolvido (COD) e o oxigênio dissolvido (OD) do ribeirão Piracicamirim situado em Piracicaba - SP. Para tanto, foram comparados dois pontos de amostragem no ribeirão, um situado à montante do recebimento das águas da estação e o outro à jusante. Os resultados indicaram que as variáveis CE e COD a jusante tiveram aumento significativo. Um estudo realizado 10 anos antes não havia detectado tal alteração. Este fato pode indicar que a estação está perdendo sua eficiência de tratamento.

Palavras-chave: recursos hídricos, impacto, poluição orgânica, tratamento de água.

EFFLUENT OF SEWAGE TREATMENT FACILITY: EFFECTS ON WATER QUALITY OF A SMALL STREAM

ABSTRACT: Sewage treatment facilities are considered as positive measures regarding the water quality of rivers that receive the treated effluent. The present study reports the effect of the effluent discharge on the electrical conductivity (EC), dissolved organic carbon (DOC) and dissolved oxygen (DO) of the Piracicamirim Stream located in Piracicaba, São Paulo State, Brazil. For both, two sampling points were established in upstream and downstream relative to the effluent discharge point. By comparing these two points, it is shown that EC as well as DOC presented a significant increase. These findings were different from those ones made 10 years earlier for the same stream and they may indicate the decline of treatment station efficiency.

Keywords: water resources, impact, organic pollution, water treatment.

1. INTRODUÇÃO

Esgoto, quando não tratado, constitui uma possível fonte significativa de alteração da composição química dos corpos d'água, prejudicando não apenas a qualidade da água para o seu uso em regiões à jusante como também por promover modificações físico-químicas que podem alterar a biota que habita estes ecossistemas. A deterioração dos corpos d'água deve-se, principalmente, à contaminação dos mananciais urbanos, através de despejos dos esgotos domésticos e efluentes industriais (TUCCI, 1999).

Na bacia hidrográfica do rio Piracicaba, situado no Estado de São Paulo, pontos sob a influência de lançamentos de esgoto apresentaram concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), bem como carbono inorgânico dissolvido (CID), significativamente maiores quando comparados a pontos sem essa influência (KRUSCHE et al., 1997; MARTINELLI et al., 1999; BALLESTER et al., 1999; DANIEL et al., 2002).

Uma análise de registros históricos (1979 a 2001) da Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São

Paulo (CETESB) também demonstrou queda significativa no oxigênio dissolvido (OD) na água de diversos rios do Estado de São Paulo (GROPPO et al., 2008). Rios que atravessam centros urbanos no litoral norte do Estado de São Paulo apresentam menores concentrações de OD, altas taxas respiratórias, altas concentrações de dióxido de carbono, CID e nitrogênio inorgânico dissolvido (ANDRADE et al., 2011).

Nesse contexto, as estações de tratamento de esgoto constituem formas de remover materiais orgânicos, sólidos suspensos, organismos patogênicos e nutrientes como nitrogênio e fósforo (VESILAND e MORGAN, 2011), o que pode resultar em um efluente tratado de melhor qualidade e menor impacto se comparado ao lançamento de esgoto *in natura* no corpo hídrico receptor. Contudo, há escassez de informações relacionadas aos efeitos dos efluentes tratados destas estações sob as variáveis relacionadas a qualidade de água dos rios. Neste sentido, o presente estudo pretende contribuir para preencher esta lacuna ao avaliar as possíveis alterações que o efluente

oriundo dessas estações pode ter sobre a condutividade elétrica (CE), o carbono orgânico dissolvido (COD) e oxigênio dissolvido (OD) de água de um rio de pequeno porte.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O rio utilizado para o presente estudo foi o ribeirão Piracicamirim, também conhecido como “Pisca”, situado em Piracicaba – SP (Figura 1). A bacia deste ribeirão abrange parte dos municípios de Saltinho, Rio das Pedras e Piracicaba, estando, predominantemente, nas duas primeiras cidades em zonas rurais. A referida bacia possui área de drenagem equivalente a 133,2 km². Este ribeirão é um tributário do rio Piracicaba. Sua vazão média é de 1100 L s⁻¹ (CAMOLESE et al., 1999). Em relação às medidas do canal fluvial, o ribeirão possui comprimento de aproximadamente 24 km e é considerado um rio de pequeno porte, com largura média de 4 metros e profundidade média de 1,5 metro. O clima na região possui estação chuvosa de outubro a março e seca de abril a setembro, com pluviosidade média de 1300 mm. Aproximadamente 100 mil habitantes vivem dentro da bacia hidrográfica do Piracicamirim (IPPLAP, 2010).

Ao atravessar o município de Piracicaba, o ribeirão recebe inúmeras descargas de água urbana na forma de escoamento pluvial ou esgotos *in natura*. Em uma parte do trecho urbano (baixo Piracicamirim), o rio recebe águas oriundas da estação de tratamento de esgoto (ETE) Piracicamirim, em operação desde 1998 (Figura 1). Essa estação possui tratamento primário e secundário e trata esgoto oriundo de aproximadamente 65 mil habitantes do município de Piracicaba. Por meio de um vertedouro triangular presente na saída da estação, estima-se que a descarga média de efluente seja equivalente a 150 L s⁻¹ (MARTINELLI et al., 1999).

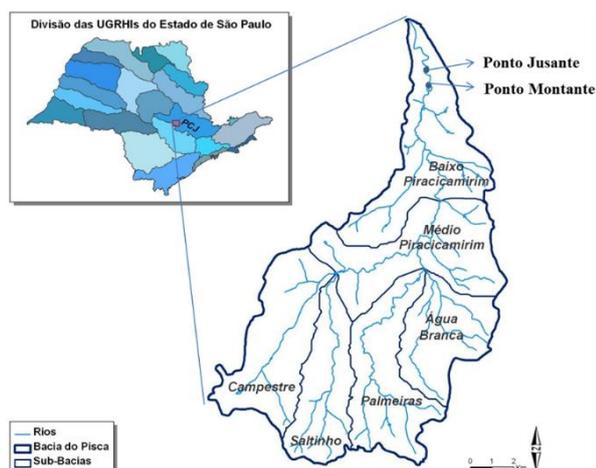


Figura 1. Bacia do ribeirão Piracicamirim (“Pisca”) e suas sub-bacias. Este ribeirão é um tributário do rio Piracicaba. Fonte: Adaptado de Faleiros; Pastor (2012)

2.2. Amostragens, preparo de amostras e análises

Durante o período de setembro de 2010 a agosto de 2011 foram realizadas 23 amostragens de água em dois pontos do canal fluvial (Figura 1). O primeiro ponto, denominado *ponto montante*, constitui o ponto situado 100 metros à montante do ponto de lançamento do efluente da ETE, onde se observa a presença de uma vegetação ripária

de baixo porte, predominando gramíneas e ervas esparsas. A área é caracterizada por uso urbano do solo com impermeabilização parcial por asfaltamento e construções residenciais. O segundo ponto, referido neste artigo como *ponto jusante*, está situado 100 metros à jusante do ponto de lançamento da ETE, e localiza-se em uma área conhecida como Jardim Japonês. Este ponto encontra-se a apenas 1 km da confluência do ribeirão Piracicamirim com o rio Piracicaba. Entre os pontos jusante e montante não há aportes de água ou efluentes exceto o da estação de tratamento de esgoto. Desse modo, qualquer alteração nas variáveis físico-químicas entre esses pontos pode ser atribuída ao efeito do efluente oriundo da ETE. As amostras de água foram coletadas manualmente por meio de balde acoplado a uma corda, amostrando-se a porção central do canal fluvial. Estas amostras foram então armazenadas em frascos de polietileno de alta densidade, acondicionadas em caixas de isopor com gelo e transportadas ao laboratório onde foram mantidas refrigeradas até a realização das análises.

No momento das coletas foram realizadas as medições de condutividade elétrica (CE) (*Ambar Science 2052 meter*) e OD (*Yellow Springs 58 meter*). Além dessas medições, em 16 das 23 campanhas de campo, as amostras obtidas foram utilizadas para a determinação de COD em laboratório. Isso foi feito por meio da obtenção de alíquotas de, aproximadamente, 30 mL das amostras que foram filtradas em membranas de fibra de vidro (GF/F) pré-calcinadas a 500°C por 5 horas, e posteriormente preservadas com HgCl₂ (0,5 µM) e acondicionada em vials de vidro. As concentrações de COD foram obtidas por detecção em infravermelho em equipamento *Total Organic Carbon - TOC 5000A (Shimadzu)*. Para tanto, o resultado foi considerado como sendo correspondente à concentração que produziu um valor de sinal três vezes maior que o nível de ruído medido com um controle branco, o que indica um nível de confiança de 95% (LEITE, 1998). Ainda, para testar a acurácia do sistema, utilizou-se a amostra certificada MISSIPI – 03 de 2010 da Environmental Canada para rios urbanos, cuja concentração de COD é 6,31 ± 0,71 mg L⁻¹.

2.3. Análises estatísticas

Um sumário dos resultados foi apresentado usando estatística descritiva básica (média e desvio padrão). Para verificar se os dados seguem a distribuição normal, utilizou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk ($p < 0,05$). Desta forma, procedeu-se da seguinte maneira: (a) na detecção de dados que apresentaram distribuição normal, utilizou-se o teste ‘t’ de Student pareado para testar diferenças entre os pontos amostrais e (b) na ausência de distribuição normal das diferenças entre pares de observação realizou-se o teste de Wilcoxon pareado para testar diferenças entre os pontos amostrais. Além disso, comparações entre período seco e chuvoso, para cada ponto, foram feitas por meio do teste ‘t’ não pareado ou, em caso de não normalidade de dados, por meio do teste de Mann-Whitney. Todas as análises referidas foram realizadas utilizando o pacote estatístico PAST® admitindo-se 0,1 como nível de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A CE apresentou diferença ao longo do período de estudo (Figura 2) durante o qual o ponto jusante apresentou valores de CE maiores em relação ao ponto montante (Figura 2). Tal diferença foi significativa (Tabela 1). Os maiores valores de CE à jusante podem ser atribuídos ao fato do efluente da estação liberar quantidades significativas de íons outrora ligados à matéria orgânica decomposta ao longo do processo de tratamento da estação. Desse modo, apesar de não ter acesso às amostras do efluente, o presente estudo sugere que a estação é uma fonte significativa de íons que torna a CE mais elevada após receber o aporte do efluente. Esse resultado também está em consonância com o estudo similar que examinou a influência do efluente oriundo de uma usina de cana-de-açúcar em uma região mais a montante do ribeirão Piracicamirim (BOTELHO et al., 2012). Em tal estudo, o ponto de amostragem a montante do lançamento do efluente apresentou CE de $96,45 \pm 12,25 \mu\text{S cm}^{-1}$ ao passo que o ponto a jusante apresentou $155,33 \pm 18,70 \mu\text{S cm}^{-1}$.

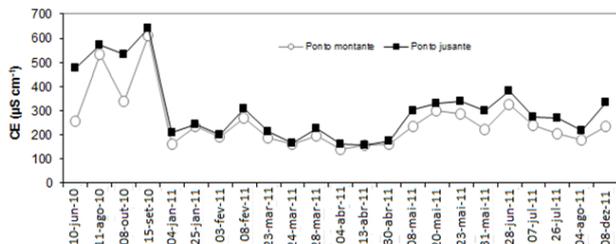


Figura 2. Variação temporal da condutividade elétrica (CE) nos pontos montante e jusante.

Tabela 1. Média e desvio padrão das variáveis avaliadas ao longo de todo o período de estudo.

Variável	Ponto montante		Ponto jusante	
	Média	Desvio	Média	Desvio
CE	253,65	115,23 a	305,62	134,96 b
OD (mg L ⁻¹)	4,13	1,46 a	4,37	1,54 a
COD (mg L ⁻¹)	8,52	5,92 a	11,55	7,72 b

Médias e desvios seguidos da mesma letra *não* apresentaram diferenças significativas.

No que se refere ao COD, diferenças foram observadas durante todo o período (Figura 3). Da mesma forma que a CE, esta variável apresentou aumento significativo do ponto jusante em relação ao ponto montante, refletindo o acréscimo de COD decorrente da disposição do efluente da estação (Tabela 1). Esse aumento mostra que, apesar do incremento de CE espelhar a mineralização da matéria orgânica, ainda há grande quantidade de materiais orgânicos sendo liberados mesmo após sofrer o tratamento.

Há cerca de 10 anos atrás, Daniel et al. (2002) reportaram que o lançamento do efluente da ETE aumentou, ligeiramente, a CE do rio Piracicamirim no período úmido (ponto a montante $213,9 \pm 56,4 \mu\text{S cm}^{-1}$ e ponto a jusante $214,6 \pm 114 \mu\text{S cm}^{-1}$). Adicionalmente, houve diminuição de COD e elevação de OD. Essas diferenças da avaliação do mesmo rio há cerca de 10 anos atrás servem como evidência de que a estação pode estar perdendo sua eficiência ao longo do tempo dado que o presente estudo mostra, atualmente, elevações da CE e das concentrações de COD.

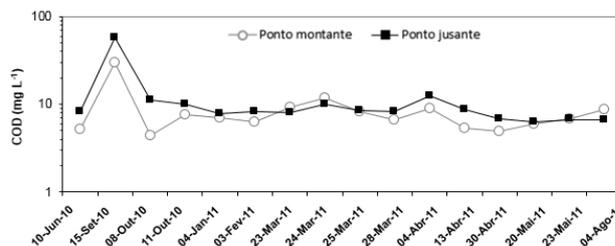


Figura 3. Variação temporal da concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) nos pontos montante e jusante.

O OD apresentou ampla variação ao longo do período de estudo (Figura 4). Ao analisar o período inteiro de estudo, não houve diferença significativa entre os pontos amostrados (Tabela 1). De acordo com os resultados relativos ao OD do presente estudo, o lançamento de efluente de uma de estação de tratamento de efluentes de abate bovino situada em Anápolis – GO também não apresentou diferença significativa de OD (THEBALDI et al., 2011). Contudo, os autores reportaram uma elevação da demanda bioquímica de oxigênio ($73,68 \text{ mg L}^{-1}$ no ponto a montante e $126,71 \text{ mg L}^{-1}$ no ponto a jusante), provavelmente explicado devido à maior concentração de matéria orgânica na forma de COD.

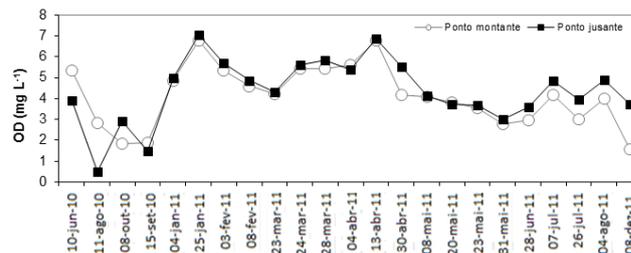


Figura 4. Variação temporal da concentração de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos montante e jusante.

Graham et al. (2010) salientaram que o efeito dos efluentes em rios tende a ser mais pronunciado durante a estação seca, pois é nesta época que estes corpos de água apresentam baixas vazões e, desta forma, a razão entre a vazão do rio e a descarga de efluente tende a ser menor. No entanto, tal diferença pôde ser detectada no presente trabalho somente para CE e COD e, ao contrário do esperado, somente no período chuvoso para OD (Tabela 2).

Ao analisar o mesmo ponto comparando-se as variáveis entre período seco *versus* período chuvoso, as variáveis CE e COD no período seco tendem a ser mais elevadas em relação ao período chuvoso para ambos os pontos de amostragem, apesar de tais diferenças serem significativas apenas para COD no ponto montante (Tabela 3). Estas oscilações sazonais nos valores destas variáveis são esperadas uma vez que a vazão do rio é maior durante o período chuvoso tornando as águas mais diluídas (GRAHAM et al., 2010). O OD, por sua vez, apresentou comportamento oposto, isto é, maiores valores no período chuvoso tanto no ponto a montante quanto o ponto a jusante, com diferenças significativas somente para esse último (Tabela 3). Tal elevação, provavelmente, é um reflexo da maior oxigenação da água que possui maior turbulência na estação das chuvas, o que favorece o aumento da aeração da mesma.

Tabela 2. Variáveis analisadas ao comparar os pontos amostrais (montante e jusante) em relação ao período seco e chuvoso.

Variável	Ponto montante		Ponto jusante	
	Média	Desvio	Média	Desvio
CE	275,25	138,38 a	327,87	147,30 b
OD (mg L ⁻¹)	3,93	1,30 a	3,96	3,96 a
COD (mg L ⁻¹)	9,40	8,27 a	14,10	7,30 b

(Abril a Setembro)

Variável	Ponto montante		Ponto jusante	
	Média	Desvio	Média	Desvio
CE	220,04	57,54 a	271,00	112,30 a
OD (mg L ⁻¹)	4,45	1,71 a	5,00	1,24 b
COD (mg L ⁻¹)	7,64	2,20 a	9,01	1,23 a

Médias e desvios seguidos da mesma letra *não* apresentam diferenças significativas.

Tabela 3. Variáveis analisadas ao comparar o mesmo ponto amostral no período seco versus período úmido.

Variável	Período Seco		Período Chuvoso	
	Média	Desvio	Média	Desvio
CE	275,25	138,38 a	220,04	57,54 a
OD (mg L ⁻¹)	3,93	1,30 a	4,45	1,71 a
COD (mg L ⁻¹)	9,40	8,27 a	7,64	2,20 b

(Ponto Montante)

Variável	Período Seco		Período Chuvoso	
	Média	Desvio	Média	Desvio
CE	327,88	147,31 a	271,00	112,30 a
OD (mg L ⁻¹)	3,96	1,62 a	4,99	1,23 b
COD (mg L ⁻¹)	14,10	7,30 a	9,01	1,23 a

Médias e desvios seguidos da mesma letra *não* apresentam diferenças significativas.

4. CONCLUSÕES

A descarga de efluente oriundo da estação de tratamento de esgoto aumenta a concentração de COD e a CE da água espelhando, respectivamente, um incremento da quantidade de COD oriundo da estação bem como um aumento da quantidade de íons dissolvidos nas águas do rio Piracicamirim. Estes efeitos são observados, principalmente, durante a estação seca. Em face dessas evidências, nota-se que podem haver efeitos negativos associados à descarga de efluente da ETE nas águas deste rio de pequeno porte.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos funcionários do Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/USP e ao Grupo de Estudos e Práticas para o Uso Racional da Água (GEPURA).

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, T. M. B. et al. Dynamics of dissolved forms of carbon and inorganic nitrogen in small watersheds of the Coastal Atlantic Forest in Southeast Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 214, n. 1-4, p. 393-408, jan. 2011.

BALLESTER, M. V. et al. Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O₂, free dissolved CO₂ and respiration rates in the Piracicaba river basin, Southeast Brazil. **Water Research**, New York, v. 33, n. 9, p.2119-2129, jun. 1999.

BOTELHO, R. G. et al. Water quality assessment in Piracicamirim creek upstream and downstream a sugar and ethanol industry through toxicity tests with cladocerans. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 55, n. 4, p. 631-636, jul./ago. 2012.

CAMOLESE, J. E. et al. ETE Piracicamirim – proposta alternativa para tratamento de esgoto para 100.000 habitantes (licitação, construção e operação). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., Niterói. **Anais... Niterói**: ABES, 1999. p. 710-718.

DANIEL, M. H. B. et al. Effects of urban sewage on dissolved oxygen, dissolved inorganic carbon, and electrical conductivity of small streams along a gradient of urbanization in the Piracicaba River Basin. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 136, n.1-4, p. 189-206, maio 2002.

FALEIROS, K. S.; PASTOR, C. G. **De olho na bacia: material didático de educação ambiental para a Bacia do Ribeirão Piracicamirim**. Piracicaba: Instituto Terra Mater, 2012. 104p.

GRAHAM, J. L. et al. **Effects of wastewater effluent discharge and treatment facility upgrades on environmental and biological conditions of the Upper Blue River, Johnson County, Kansas and Jackson County, Missouri, January 2003 through March 2009**. Reston: US Geological Survey, 2010. 86 p.

GROPPO, J. D. et al. Trend analysis of water quality in some rivers with different degrees of development within the São Paulo State, Brazil. **River Research and Applications**, Chichester, v. 24, n. 8, p. 1056-1067, abr. 2008.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO DE PIRACICABA (IPPLAP). **Piracicaba em dados: densidade demográfica**. Piracicaba: IPPLAP, 2010. 5 p.

KRUSCHE, A. V. et al. Spatial and temporal water quality variability in the Piracicaba river basin, Brazil. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 33, n. 5, p. 1117-1123, jun. 1997.

MARTINELLI, L. A. et al. Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba river, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v.110, n. 1-2, p. 67-79, fev. 1999.

THEBALDI, M. et al. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 3, p. 302-309, mar. 2011.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C. et al. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 475-508.