

IMPACTO DA INTRUSÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA VAZÃO E NA QUALIDADE DO ESGOTO TRATADO

IMPACT OF RAINWATER INTRUSION ON TREATED SEWAGE FLOW AND QUALITY

Bianca F. Vieira¹, Bruno G. Siciliano², Nelson Cruciani Neto³, Rodrigo M. Goulart⁴, André L.L. Reda⁵

Abstract — *In Brazil, as a rule, connections of rainwater drainage networks into sewage networks are forbidden – as well as vice-versa connections. The absolutely separate sewage systems predominate in the Country. Unfortunately, due to negligence, or even ignorance, people do not comply with this rule – as a consequence, during rain events, sewage systems get overloaded, causing increases in Sewage Treatment Plant (STP) inflows. Such increases may be observed by comparing dry day to rainy day inflow behaviour: while dry day flow is almost constant, rainy day flow presents significantly higher values. This paper aims at showing and comparing the inflows to the Tamboré STP during dry days to that on rainy days, as well as comparing dry day wastewater quality to its rainy day quality – both at the inflow and outflow.*

Index Terms — *sewage, rainwater, treatment, flow*

INTRODUÇÃO

O trabalho visa investigar a vazão excessiva decorrente da intrusão de águas pluviais em sistema coletor de esgoto e suas conseqüências. É proibido no Brasil, por norma, conectar tubulações de esgoto a tubulações de águas pluviais e vice-versa [6]. Conseqüentemente, quando há incidência de tormentas, as ETE (Estações de Tratamento de Esgoto) são sobrecarregadas com a vazão de águas pluviais somada à de esgoto [3]. Isto afeta o tratamento do esgoto, forçando a ETE a tratá-lo mais rápido – não atendendo especificações de norma – ou, eventualmente, a não tratar considerável parte dele, despejando-a *in natura* num manancial. Nas cidades brasileiras, predomina o sistema chamado separador absoluto, pelo qual o esgoto urbano é coletado por redes específicas para isto e água pluvial, por outras redes.

OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é investigar a variação na vazão afluente a uma ETE de dias secos para chuvosos, a fim de analisar os possíveis impactos causados ao esgoto tratado devido à incursão indesejada de águas pluviais.

Seus objetivos específicos são medir e analisar, em dias secos e chuvosos, vazões e parâmetros de qualidade na ETE Tamboré – em particular, as demandas bioquímica (DBO) e química de oxigênio (DQO) e sólidos sedimentáveis (SS), para mostrar e determinar possíveis impactos da intrusão de águas pluviais na qualidade do efluente – e analisar variações em suas séries temporais por influência dessas águas.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada no Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil que originou este artigo para a coleta de amostras, a medição de vazão e as determinações de DBO, DQO e sólidos sedimentáveis (estes, usando o Cone Imhoff) é aqui resumida, sendo melhor detalhada na dissertação [5].

As medições de vazão foram realizadas periodicamente, de hora em hora, para verificar suas oscilações nos diferentes dias estudados, bem como possíveis diferenças nestas de um dia para outro. Foram também colhidas amostras horárias do afluente e do efluente da ETE, para análise química, a fim de mostrar as diferenças na qualidade do tratamento entre as diversas situações estudadas.

Coleta de amostras

Foram determinadas, em laboratório, características qualitativas do efluente, a saber, DBO, DQO e SS. Os valores obtidos podem ser comparados aos respectivos limites máximos pré-fixados pela Resolução CONAMA 430/2011 (como em [5]).

Também foi estabelecida uma correlação entre os valores de DBO e DQO determinados. Como os limites máximos para efluentes lançados são expressos pela DBO_{5,20}, que leva 5 dias incubada a 20°C para se determinar [2], demoraria demais verificar a eficiência do tratamento. O ensaio de DQO, porém, leva apenas algumas horas para ser realizado. Assim, com o auxílio da correlação, pode-se estimar os valores de DBO bem mais rápido. As ETE usam este método, comum para monitorar a qualidade do tratamento [4].

Medição de vazões

¹ Bianca Furlan Vieira, Escola de Engenharia Mauá, Instituto Mauá de Tecnologia-IMT, São Caetano do Sul, SP, Brasil, bia.furlan@hotmail.com

² Bruno Generoso Siciliano, Escola de Engenharia Mauá, IMT, São Caetano do Sul, SP, Brasil, bgsiciliano@gmail.com

³ Nelson Cruciani Neto, Escola de Engenharia Mauá, IMT, São Caetano do Sul, SP, Brasil, crucianineto@transpedra.com.br

⁴ Rodrigo Marino Goulart, Escola de Engenharia Mauá, IMT, São Caetano do Sul, SP, Brasil, goulart.rodrigo82@gmail.com

⁵ André Luiz de Lima Reda, Professor, Escola de Engenharia Mauá, IMT, S. Caetano do Sul, SP, Brasil, andrereda@maua.br

As medições de vazão foram realizadas utilizando a calha Parshall de 3" instalada à saída da ETE. Com auxílio de uma régua metálica, posicionada a 2/3 da distância entre a seção estrangulada e o início da seção convergente, foram tomadas medidas de alturas do nível d'água. Com base na norma ASTM 1941/75 e utilizando a equação de vazão específica para a calha em questão, determinaram-se os valores de vazões. A Equação (1) estima a vazão pela calha Parshall da ETE Tamboré.

$$Q = 633,6 h_a^{1,547} \quad (1)$$

onde:

Q é a vazão na calha Parshall, em m³/h;

h_a é a altura do nível d'água na seção de medição, em m.

Determinação da DBO_{5,20}

Para realizar o ensaio de DBO, adotou-se a seguinte padronização de norma: temperatura de incubação de 20°C e determinações de OD no 1º e no 5º dias (diferença: DBO_{5,20}).

Simplificadamente, a DBO é determinada da seguinte forma [5]: no dia da coleta, determina-se a concentração de oxigênio dissolvido (OD) da amostra. Cinco dias depois, na amostra mantida num frasco fechado e incubada a 20°C, determina-se a nova concentração de OD, reduzida devido ao consumo de oxigênio nesse período. A diferença entre os valores OD no dia zero e no quinto dia representa o consumo de oxigênio para a oxidação da matéria orgânica (DBO_{5,20}). Em todo esse processo, foi de grande importância o apoio da técnica responsável pelo Laboratório de Saneamento Ambiental do IMT–Instituto Mauá de Tecnologia.

Determinação da DQO

Para determinar a DQO, usou-se um espectrofotômetro, que mede a presença de substâncias cuja concentração muda ao longo do processo de oxidação (da matéria oxidável que se pretende avaliar), pois estas absorvem energia radiante num meio solvente. A oxidação da matéria nesse processo é promovida por oxidante específico, junto a vários outros reagentes [5]. Depois de preparada, a amostra é diluída com outras substâncias químicas e aquecida durante 2h a 148°C. Em seguida, realiza-se para a amostra a leitura do espectrofotômetro, que tem a capacidade de exprimir DQO em mg de O₂/l. Nesse processo, além do suporte do Laboratório de Saneamento Ambiental do IMT, foi fundamental o apoio da equipe do Laboratório do Projeto IMT-FAPESP, que tem um espectrofotômetro dentro do IMT.

Determinação de sólidos sedimentáveis

A medição de sólidos sedimentáveis foi realizada pelo método volumétrico, com o Cone Imhoff (de vidro – ver [5]). Durante o monitoramento, coletaram-se amostras periodicamente, de 1h em 1h. Para padronizá-la, foram coletas sempre à mesma profundidade, com o mesmo

recipiente. Esse procedimento foi realizado em campo, na entrada e na saída da ETE Tamboré, com os cuidados a seguir: lavar as paredes internas do Cone Imhoff com água de torneira e descartar essa água, sem necessidade de secar; encher o cone até a marca de 1 litro e depois, com um bastão fino e movimentos circulares, agitar a amostra por 15 segundos até homogeneizá-la; deixar sedimentar por 45 min e, logo após, agitar o líquido por um movimento circular suave, rodando devagar o cone com as 2 mãos (só uma volta); deixar sedimentar por mais 15 min e imediatamente fazer a leitura dos sólidos sedimentáveis. O resultado é expresso em ml/l, por escala volumétrica no vértice inferior do cone. .

ESTUDO DE CASO: ETE TAMBORÉ

A ETE Tamboré está localizada no município de Santana do Parnaíba e atende diversos condomínios de alto padrão, a saber: Tamboré 5, 6 e 7, Condomínio Resort Tamboré e Condomínio Bosques de Tamboré. Como nesses condomínios não existem sistemas de interceptação e tratamento da SABESP, foi necessário instalar uma ETE no local, por parte dos condomínios [1].

A partir dos dados coletados, em dias secos e chuvosos, foram obtidos gráficos de vazões e qualidade do esgoto durante o período das 8:00 às 20:00 para os dias 27/08, 17/09 e 15/10, sendo os valores das 20:00 até 00:00 estimados utilizando como base referências estudadas. No dia 22/10, as medições de vazão foram realizadas entre 13:00 e 00:00 e as amostras para análise de qualidade foram coletadas das 13:00 até as 22:00, devido à restrição do número de amostras que poderiam ser analisadas.

Análise das séries de vazões horárias

Séries dos dias secos 17/09 e 15/10:

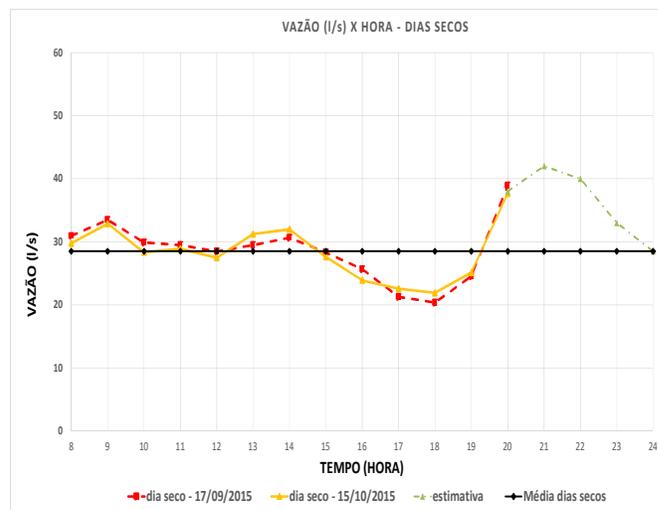


FIGURA. 1

VARIAÇÃO HORÁRIA DA VAZÃO AFLUENTE PARA DIAS SECOS.

A partir dos gráficos da Figura 1, nota-se que as vazões em dias secos assumem valores e oscilações semelhantes em medições feitas em dias distantes, mantendo um padrão quase constante, oscilando conforme períodos de maior e menor consumo. Nota-se um pequeno aumento entre 12:00 e 14:00, representando o maior consumo de água no horário de almoço. O pico do almoço ocorre somente às 14:00 e, posteriormente, os valores decrescem suavemente com o tempo. O tempo que leva o escoamento entre as residências e a ETE varia de acordo com a distância entre a estação e as residências atendidas e com a declividade da tubulação – resultando um atraso entre o momento em que o esgoto é despejado e sua chegada à entrada da ETE.

A partir das 18:00, a vazão sofre um aumento considerável em comparação com os demais valores medidos anteriormente, com seu maior valor do dia às 20:00.

Séries dos dias chuvosos 27/08 (15mm) e 22/10 (20mm):

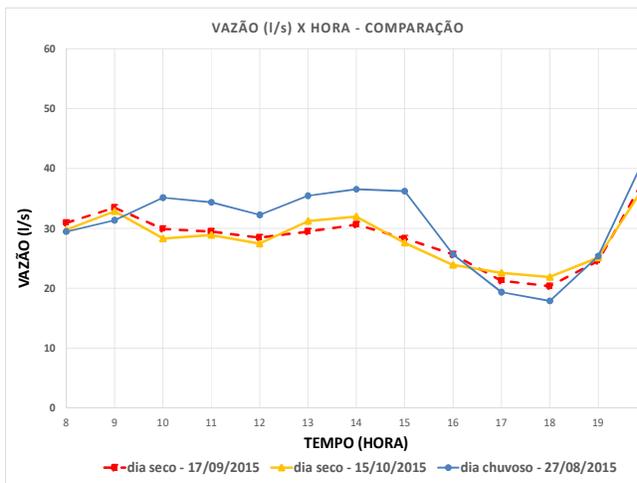


FIGURA. 2

VARIAÇÃO HORÁRIA DA VAZÃO AFLUENTE: DIAS SECOS E CHUVOSO (27/08).

Comparando a curva do dia chuvoso com a média dos dias secos – Figura 2 – fica evidente o acréscimo de vazão afluente à estação de tratamento. A altura pluviométrica do dia 27/08, apesar de baixa (só 15mm), bastou para impactar visivelmente os valores da vazão. Nos dias secos, a vazão começou a cair a partir das 9:00 (Figura 2). No dia chuvoso, entretanto, aumentou até as 10:00 e baixou na hora seguinte (permanecendo maior que nos dias secos). Sua queda entre 10:00 e 11:00 se dá pelo cessar temporário da chuva (não exatamente na mesma hora em que a vazão caiu). Às 12:00, a vazão voltou a aumentar (dia 27/08), dado o recomeço da chuva, com valores bem acima daqueles dos dias secos. A entrada de águas pluviais no esgoto, próximo ao horário do almoço, fez que a vazão na entrada da estação continuasse aumentando até um pico às 14:00 – tal como ocorre em dias secos, porém com intensidade maior – vide Figura 2. A vazão começa a cair às 15:00 – consequência de a tormenta cessar, com término da intrusão de água pluvial na rede de esgoto.

Das 17:00 às 19:00, ainda no dia 27, o comportamento da vazão fica próximo ao de dias secos; porém, ainda com um pequeno acréscimo devido à água pluvial presente na tubulação – Figura 2. Entre 19:00 e 20:00, os valores de vazão voltaram ao padrão esperado, tendo-se provavelmente mantido no comportamento de dia seco dali em diante.

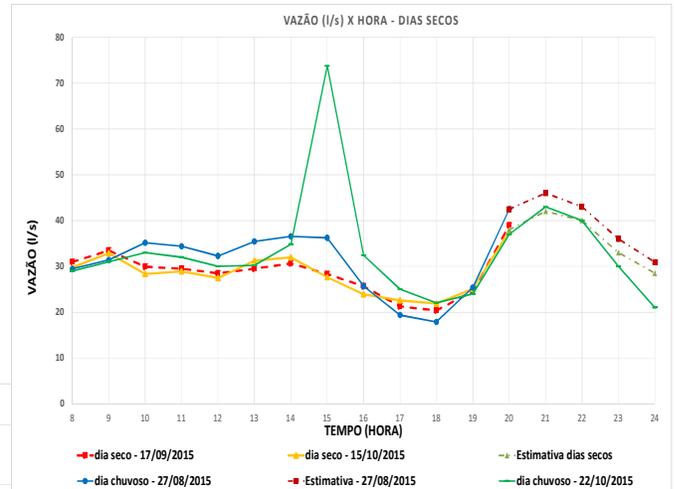


FIGURA. 3

VARIAÇÃO HORÁRIA DA VAZÃO AFLUENTE - DIAS SECO E CHUVOSOS (27/8, 22/10).

A grande diferença entre os dois dias chuvosos foi que, em 27/08, a chuva durou o dia todo, exceto por alguns intervalos. No segundo dia, 22/10, o comportamento foi o oposto: só choveu com intensidade considerável num curto período, próximo às 14:30. O pico de vazão, contudo, ocorreu somente às 15:00, devido ao tempo de atraso da bacia servida pela rede de esgoto, tendo as águas pluviais demorado para causar maior impacto à ETE – ver Figura 3.

Após a chuva cessar, a vazão começou a baixar e aproximar-se do comportamento nos outros dias estudados. Ainda em consequência da introdução de muita água pluvial em pouco tempo, a vazão no final da tarde ainda estava mais alta. Com os dados disponíveis, calculou-se as vazões médias para os quatro dias. Para os dias secos, resultou 94,5 l/s; no dia chuvoso 27/08, 109,9 l/s, e no chuvoso 22/10, 110,8 l/s, refletindo de forma mais simples as conclusões acima.

Análise de DQO e vazão afluentes

Séries dos dias secos

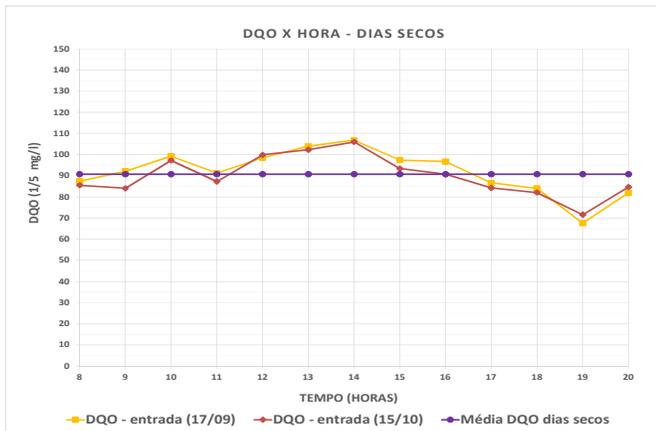


FIGURA. 4

DQO AFLUENTE HORÁRIA E MÉDIA: DIAS SECOS 17/09 E 15/10.

Como no caso da vazão afluente, em dias secos a DQO afluente também não tem grande variação de comportamento de dia para dia. Os valores de campo mostram isto na Figura 4, onde as oscilações refletem os hábitos da população: DQO mais alta próximo às horas de maior consumo doméstico – de fato, a ETE Tamboré só atende condomínios residenciais.

Séries do dia chuvoso 27/08/2015

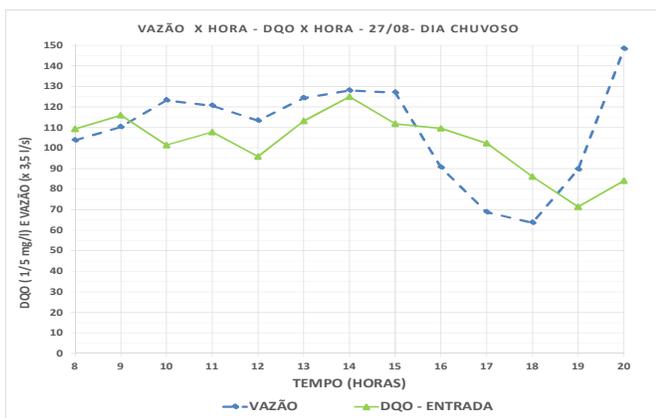


FIGURA. 5

VARIACÃO HORÁRIA DA DQO AFLUENTE NO DIA CHUVOSO 27/08/2015.

Em geral, toda vez que aumenta a vazão, cresce também a DQO. O aumento de vazão, em tempo seco relacionado a um acréscimo no consumo, aumenta a velocidade do esgoto, contribuindo para ressuspender matéria sólida (orgânica e inorgânica) depositada no fundo da rede em tempo seco, e a desloca em direção à ETE. Isto pode perturbar o tratamento e, assim, aumentar a poluição do corpo hídrico receptor. Pela perturbação causada pela ascensão da vazão, antes mesmo que ela alcance seu máximo, a DQO atinge um pico; em seguida, começa a diminuir devido à diluição da matéria orgânica pela água pluvial, em dia chuvoso, sendo que, seja em tempo seco ou chuvoso, a própria vazão de maior consumo acrescenta ainda mais água ao escoamento.

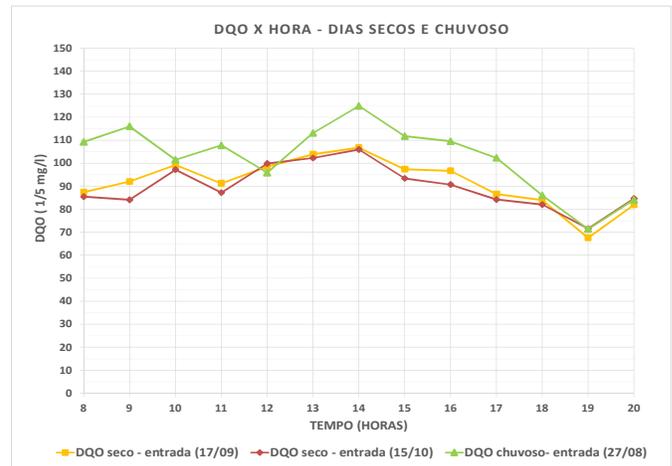


FIGURA. 6

VARIACÃO HORÁRIA DA DQO AFLUENTE - DIAS SECOS E CHUVOSO (27/08).

Comparando-se as curvas de DQO afluente dos diversos dias estudados, observar-se que, assim como a vazão, a DQO sofre considerável aumento em dia de chuva – ou seja, as chuvas impactam diretamente a carga de poluição afluente à ETE (ver as figuras 3 e 6). Isto está relacionado com o efeito denominado “primeira leva”, “primeira carga” ou “*first flush*”, que relata a ação das primeiras águas pluviais ‘lavando’ as tubulações de esgoto, ressuspensando matéria sedimentada no fundo da tubulação e, assim, aumentando a concentração de matéria orgânica no esgoto combinado. Imediatamente após tal aumento, a concentração de carga poluidora tende a diminuir, pela diluição promovida pela continuação do aporte de águas pluviais, agora já sem a alta concentração dos poluentes sedimentados na tubulação.

Análise dos sólidos sedimentáveis - SS

Os sólidos à saída da ETE não foram considerados neste trabalho, pois mesmo no dia chuvoso 22/10 as concentrações de SS resultaram demasiadamente baixas – menos de 1 ml/l. Somente foram produzidos gráficos para sólidos no afluente à ETE. No dia 17/09, picos de concentração de sólidos sedimentáveis ocorreram próximo aos horários de maior vazão, sendo que o maior valor da concentração de SS ocorreu às 19h. Nota-se também um pico atípico às 12h que, provavelmente, ocorreu devido a limpeza das grades grossas e finas – que retêm sólidos maiores, localizadas antes do ponto de coleta das amostras. No dia seco 15/10, os picos de sólidos sedimentáveis, assim como no dia 17/09, também ocorreram próximo aos horários de maior consumo; porém, não foi registrado o pico das 12h. Portanto, as grades podem ter influenciado o valor das 12h do dia 17/09 (dados e gráficos disponíveis em [5]).

Análise da DQO efluente – dia seco e chuvoso

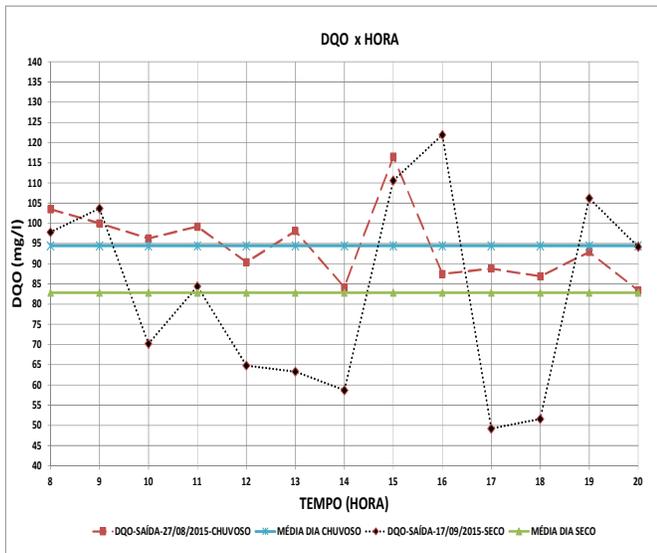


FIGURA. 7

VARIAÇÃO HORÁRIA DA DQO EFLUENTE - 27/8 (CHUVOSO) E 17/9 (SECO).

Para melhor análise comparativa dos valores de DQO à saída nos dias secos com os dos chuvosos, escolheram-se 27/08 e 17/09, pois nos demais dias monitorados, 15/10 e 22/10, o processo de tratamento foi prejudicado e os valores de DQO não se comportaram do modo típico já relatado. Analisando os gráficos da Figura 7, observa-se que a DQO no efluente apresentou, em sua maioria, valores mais altos para o dia chuvoso. Considerando que ambas as datas analisadas são dias da semana iguais, quintas-feiras; que a população mantenha um padrão próprio de comportamento para cada dia da semana, e que a ETE estivesse funcionando normalmente, pode-se concluir que a chuva é a provável causa do aumento da DQO efluente em dias de tormenta. Em suma, o efluente sai com pior qualidade quando chove.

Análise da correlação entre DBO e DQO

Além da DQO, o outro parâmetro de qualidade do esgoto analisado foi a DBO. Os autores visaram, inicialmente na pesquisa, obter determinações aos pares de DQO e DBO, para cada amostra dentre diversas, a fim de investigar uma correlação entre esses dois determinantes de qualidade. Cada estação de tratamento possui uma correlação própria, função do tipos de esgoto, característico de cada comunidade. Porém, devido à limitação de tempo, à urgência de terminar esta pesquisa de graduação e à limitada capacidade de análise em laboratório, foram coletadas poucas amostras em campo nas quais se conseguiu determinar tanto DBO quanto DQO. A partir destas, foi estimada uma correlação entre esses indicadores de qualidade, permitindo que a DBO fosse dali em diante estimada por correlação com a DQO.

A determinação da DBO das amostras em laboratório foi feita medindo DBO₀ e DBO_{5,20} – que pode ser relacionada à DBO_L (DBO “limite” ou DBO “última”). Diluições de 2ml e foram preparadas com cada amostra de esgoto afluente, bem como diluições de 10 ml com as do efluente.

Com os valores de DBO_L assim levantados e os de DQO para as respectivas amostras, obteve-se uma relação DBO_L/DQO de aproximadamente 0,61 – um pouco acima do esperado, pois deveria estar contido no intervalo de 0,40 a 0,57 [2]. Isto pode ser explicado pelo fato de que a determinação de DBO é empírica, sujeita a alterações e desvios durante sua realização. Como os volumes de diluição da amostra foram muito pequenos, qualquer erro natural na determinação de 5 dias pode alterar significativamente o resultado final da DBO_{5,20}. Outros fator que podem ter tido influência nos resultados de DBO foi a possível presença de pouca matéria inorgânica, eventualmente não biodegradável, no quinhão de amostra analisado (já que fica difícil garantir que pequenas porções de amostra sejam homogêneas e semelhantes, em termos de concentração média de DBO, à amostra original. Ao final, resultaram valores de DBO e DQO muito próximos em alguns casos.

CONCLUSÕES

Pelos gráficos apresentados e sua análise, são nítidas as variações de vazão em dias de tormenta, comparadas com as de dias secos. Em dias secos, a vazão apresenta oscilação menor, típica, tendo picos apenas nos horários críticos; enquanto, em dias de chuva, a vazão dá um salto minutos após a tormenta e gradativamente se normaliza, após esta cessar, no decorrer do dia. Consequentemente, há variação na qualidade do efluente do esgoto tratado, que pode resultar pior em dias chuvosos. Essa variação ocorre, principalmente, devido às ligações clandestinas de redes de drenagem em redes de esgoto – que deve ser coibida em todas as instâncias pelo poder público e pelas concessionárias de serviços sanitários, antes que se alastre mais do que já se observa [3].

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio incondicional do Instituto Mauá de Tecnologia, tanto financeiro quanto prático, nas determinações de qualidade de esgoto pelas equipes do Laboratório do Projeto IMT-FAPESP e do Laboratório de Saneamento Ambiental. Agradecem, ainda, aos engenheiros e técnicos da Catuí Engenharia, tanto pela autorização para estudo da ETE escolhida quanto pelo fornecimento de apoio técnico e logístico na obtenção de amostras em campo. Finalmente, os quatro autores acadêmicos agradecem pela coorientação e o encorajamento recebidos da Prof^a. Dr.^a Cássia Silveira de Assis durante toda a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] CATUI ENGENHARIA. *Projeto básico da estação de tratamento de esgoto sanitário. Condomínio Tamboré 5, 6, 7, Resort Tamboré e Bosques de Tamboré*. 2004.
- [2] JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 6. ed. São Paulo, SP: ABES, 2011. 969 p. ISBN 9788570221698.
- [3] MELLO, G. S. L. *Investigação das oscilações diárias e transientes de vazão e qualidade em esgotos urbanos na Região*

Metropolitana de São Paulo. Orientador: REDA, André Luiz de Lima. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). São Caetano do Sul, SP: Escola de Engenharia Mauá, CEUN-EEM, 2002. 131 p.

- [4] REDA, A. L. L. *Simulation and control of stormwater impacts on river water quality*. Orientador: BECK, Michael Bruce. Tese (PhD). Londres: Department of Civil Engineering. Imperial College of Science, Technology and Medicine, 1996. 512 p.
- [5] VIEIRA, B. F.; SICILIANO, B. G; CRUCIANI NETO, N.; GOULART, R. M. *Impacto da intrusão de águas pluviais na qualidade do esgoto tratado*. Orientador: REDA, André Luiz de Lima. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso). São Caetano do Sul, SP: Escola de Engenharia Mauá, CEUN-EEM, 2015. 106 p.
- [6] VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte, MG: DESA/UFMG, 1996. 243 p. ISBN 8570411146.