

Avaliação do impacto do efluente da estação de tratamento de esgoto ETE-Pirajá sobre o Rio Parnaíba, Teresina (PI)

Evaluation of the impact of the effluent from the sewage treatment plant STP-Pirajá over the Parnaíba river, Teresina (Piauí, Brazil)

Daniel Araújo Marçal¹, Carlos Ernando Silva²

RESUMO

A utilização dos recursos hídricos para fins de transporte ou diluição de efluentes exige o conhecimento adequado dos processos para assegurar a qualidade da água do corpo receptor. Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto do lançamento do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto Pirajá (ETE-Pirajá) sobre a qualidade da água do Rio Parnaíba. Foram realizadas coletas de campo e análises laboratoriais por um período de 12 meses no sistema de tratamento por lagoas de estabilização e nos pontos a montante e a jusante do lançamento do efluente. A eficiência do tratamento de esgoto apresentou valores típicos para o sistema de lagoas de estabilização e atendeu aos requisitos de qualidade para a descarga de efluentes. A capacidade de diluição do Rio Parnaíba se mostrou compatível para as cargas poluidoras do efluente da ETE-Pirajá. O índice de qualidade da água (IQA) variou de bom a regular no trecho estudado, sendo a poluição difusa o principal aspecto na degradação da qualidade do Rio Parnaíba, demonstrando a redução ao longo da área urbana. A *Escherichia coli* apresentou valores em desacordo com os requisitos de qualidade na maior parte do período monitorado, mesmo a montante do ponto de lançamento.

Palavras-chave: recursos hídricos; tratamento de efluentes; qualidade da água.

ABSTRACT

The use of water resources for the discharge of effluents for the purpose of dilution, transportation or final disposal requires proper knowledge of the processes to ensure the receiving waterbody quality. This study aimed to assess the impact of the sewage treatment plant Pirajá (STP-Pirajá) effluent discharge on the quality of the Parnaíba river. Field sampling and laboratory analyzes were carried out for a period of 12 months in the treatment system for stabilization ponds and monitoring points upstream and downstream of effluent inputs. The efficiency of the sewage treatment showed typical values for system stabilization ponds, and met the quality requirements for effluent discharge. The dilution capacity of the Parnaíba river was compatible to the polluting loads of effluent from the STP-Pirajá. The Water Quality Index (WQI) ranged from good to regular in the studied area; and diffuse pollution proved to be the main threat in the river water quality. *Escherichia coli* values exceeded the limits of the quality requirements in almost all the monitoring period, even upstream of the effluent discharge point.

Keywords: water resources; wastewater treatment; water quality.

INTRODUÇÃO

Entre os usos múltiplos dos corpos hídricos, o lançamento e a diluição de efluentes merecem atenção e acompanhamento adequado por parte dos órgãos gestores, por meio do monitoramento dos efluentes e do impacto na qualidade da água do corpo receptor. A capacidade de diluição de um corpo receptor deve considerar as condições iniciais da qualidade

da água e a variação do regime hidrológico, impedindo o lançamento de cargas poluidoras que ultrapassem a sua capacidade de autodepuração.

Sperling (2005) descreve que o impacto do lançamento de efluentes originados de estações de tratamento de esgoto (ETE) em corpos d'água é motivo de grande preocupação para a maioria dos países. Assim, o estabelecimento de políticas e normas ambientais é necessário para definir critérios para locais de descarga e nível de

¹Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) do Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste (TROPEN) da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Auditor fiscal ambiental/coordenador de outorga do uso da água na Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR) - Teresina (PI), Brasil.

²Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) - Campinas (SP), Brasil/University of Melbourne, Austrália. Professor Associado I da UFPI - Teresina (PI), Brasil.

Endereço para correspondência: Daniel Araújo Marçal - Rua Chico Doca, 341 - Acarape - 64003-830 - Teresina (PI), Brasil - E-mail: daniel.marsal@gmail.com

Recebido em: 02/06/15 - **Aceito em:** 12/08/16 - **Reg. ABES:** 148242

tratamento exigido para garantir que os impactos ambientais da disposição desses efluentes tratados não comprometam a qualidade dos recursos hídricos.

Segundo Mota (2008), as principais medidas preventivas para controlar a poluição da água são: estabelecer exigências para o lançamento de efluentes em corpos d'água; implantação de sistema de coleta e tratamento de esgoto; coleta, destinação e tratamento adequado dos resíduos sólidos; controle do uso de fertilizantes e pesticidas; regulação do uso e ocupação do solo; e reutilização adequada da água.

De acordo com diagnóstico elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2012), as principais pressões sobre a qualidade das águas do Rio Parnaíba em Teresina, Piauí, são: lançamento de esgoto sem tratamento, disposição inadequada de resíduos sólidos, atividades agropecuárias, desmatamento e uso inadequado do solo.

Quanto às normas ambientais pertinentes aos aspectos de qualidade da água e efluentes, destaca-se a Resolução CONAMA 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e define critérios de enquadramento de acordo com o uso da água, baseando-se nos níveis de qualidade necessários para atender às necessidades das comunidades (BRASIL, 2005). A Resolução CONAMA 430/11 dispõe sobre condições e padrões de lançamentos para os efluentes em geral e especificadamente para efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários (BRASIL, 2011).

Cruz & Tucci (2008) descrevem que a disponibilidade hídrica varia de forma espaço-temporal e pode ser representada por meio da curva de permanência obtida a partir de uma série histórica de dados de vazões de um corpo hídrico. A curva de permanência é uma ferramenta importante para o estabelecimento da vazão de referência, visando manter o equilíbrio do ecossistema aquático e estabelecendo os possíveis volumes outorgáveis para os demais usos. As vazões de referência adotadas para a outorga de uso da água por parte dos órgãos gestores de recursos hídricos, na maioria dos estados brasileiros, são valores geralmente oriundos de vazões representativas da curva de permanência de vazões, tais como Q50%, Q90% e Q95%.

Rocha (2013), em estudo sobre o impacto da qualidade do Rio Parnaíba na zona urbana de Teresina, constatou que os usos não consultivos, como lançamento de efluentes, principalmente esgoto doméstico decorrente da falta de saneamento, alteram diretamente a qualidade da água e constituem um foco direto para a geração de doenças de veiculação hídrica. Rocha (2013) recomenda ainda que sejam aplicados investimentos na área de saneamento e que sejam intensificadas as fiscalizações e o monitoramento das áreas de preservação permanente A (APPs) do Rio Parnaíba.

Oliveira (2012) constatou, por meio do monitoramento da qualidade da água do Rio Poti, um maior grau de poluição nos pontos localizados no núcleo urbano da cidade de Teresina, em decorrência

do constante lançamento de efluentes domésticos sem tratamento e do limitado sistema de esgotamento sanitário de Teresina.

Válio *et al.* (2013) avaliaram que a qualidade da água para o Rio Itapetininga foi considerada de regular a boa e atribuíram que os principais fatores impactantes para esse rio são o lançamento de efluentes da ETE-Itapetininga e os processos de erosão e assoreamento, resultados da ausência da mata ciliar em muitos trechos do rio. Ternus *et al.* (2011) também atribuíram os lançamentos de esgotos domésticos e efluentes industriais como fatores preponderantes na degradação da qualidade da água na bacia do alto Rio Uruguai.

Rocha *et al.* (2001) avaliaram a eficiência do sistema da ETE-Pirajá na cidade de Teresina e constataram desempenho eficaz do tratamento quanto à remoção de matéria orgânica, não observando alteração da qualidade da água após a descarga do efluente, devido à grande capacidade de autodepuração do Rio Parnaíba.

Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto do lançamento do efluente da ETE-Pirajá sobre a qualidade da água do Rio Parnaíba, contemplando a avaliação da eficiência do sistema de tratamento do esgoto; verificação do potencial de assimilação de cargas poluidoras pelo corpo receptor, considerando as vazões mínimas e médias; avaliação da qualidade da água a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente; e avaliação da conformidade dos parâmetros de qualidade frente aos requisitos das resoluções CONAMA 357/05 e 430/11.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A região hidrográfica (RH) do Rio Parnaíba configura-se como umas das maiores e mais importantes da região Nordeste do Brasil, abrangendo os estados do Piauí, Maranhão e Ceará, ocupando uma área de 331.441 km², sendo a maior parte, com 249.497 km², no estado do Piauí (ANA, 2006). A área de estudo está inserida na Bacia do Médio Parnaíba (Figura 1), a qual abrange as bacias do Rio Poti, parte do Rio Longa e da Bacia do Piauí-Canindé, correspondendo a uma área total de 137.001 km², 41,2% da RH do Parnaíba (BRASIL, 2006). Na região dos municípios de Teresina e Timon, a hidrografia abrange pequenos cursos d'água que desembocam diretamente no Rio Parnaíba, sem a intermediação de nenhum outro tributário mais importante.

O município de Teresina é o principal centro urbano da RH do Rio Parnaíba, com área correspondente a 1.392 km², representando 0,55% da área do estado; e localiza-se em latitude de 05°05'21" S e longitude de 42° 48'07" O. Sua população estimada é de 836.475 habitantes, fazendo divisas territoriais com 10 municípios piauienses e 1 município do estado do Maranhão (IBGE, 2012).

O município de Timon possui população total de 161.721 habitantes (IBGE, 2012). Situado na margem esquerda do Rio Parnaíba, tem

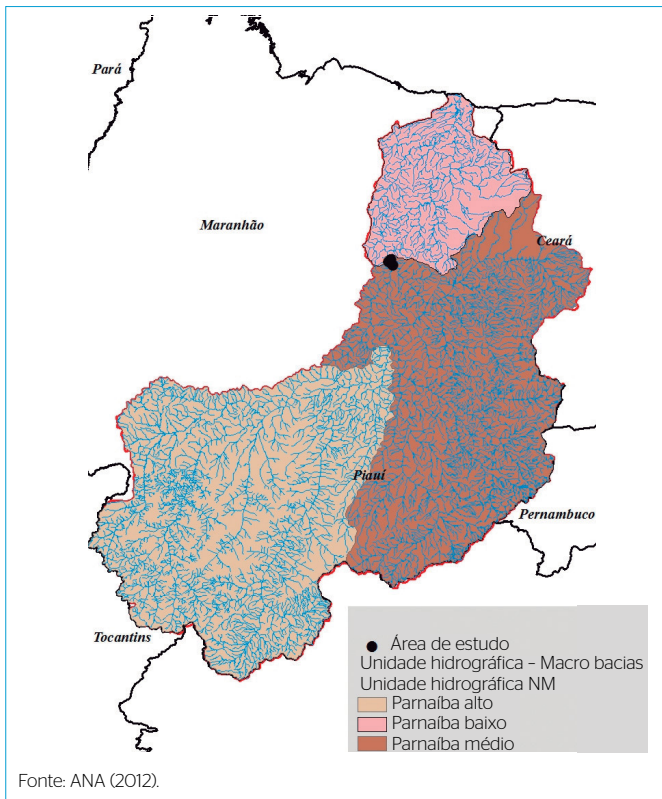


Figura 1 - Mapa de macro bacias da região hidrográfica do Rio Parnaíba.

como divisa leste, do lado do estado do Piauí, a cidade de Teresina, e a sede do município está localizada a 5°5' de latitude sul e 42°50' de longitude oeste.

A cidade de Timon, juntamente com a capital Teresina e mais 13 municípios, faz parte da Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina (RIDE) — Região Metropolitana de Teresina —, que totaliza 1.154.716 habitantes. A Figura 2 ilustra a localização dos municípios de Teresina e Timon dentro dos respectivos estados, juntamente com a imagem de suas áreas urbanas.

O trecho do Rio Parnaíba que corta a zona urbana de Teresina e Timon possui aproximadamente 26 km de extensão, sendo caracterizado pela formação de bancos de areia durante a maior parte do ano e possuindo perfil retilíneo. O fato da cidade de Teresina ser limitada pelo Rio Parnaíba e cortada pelo Rio Poti sempre facilitou o lançamento clandestino de efluentes, desde o início de sua urbanização. O baixo nível de cobertura da rede de esgotos em Teresina (17%) e a inexistência de rede coletora em Timon impactam fortemente a qualidade das águas do Rio Parnaíba, além dos impactos decorrentes do desmatamento de suas margens para atividades agrícolas e de pastagem, lançamento de efluentes de serviços de lavagem de veículos, efluentes industriais e domésticos tratados. Apesar da baixa cobertura, todo o esgoto coletado em Teresina é tratado em

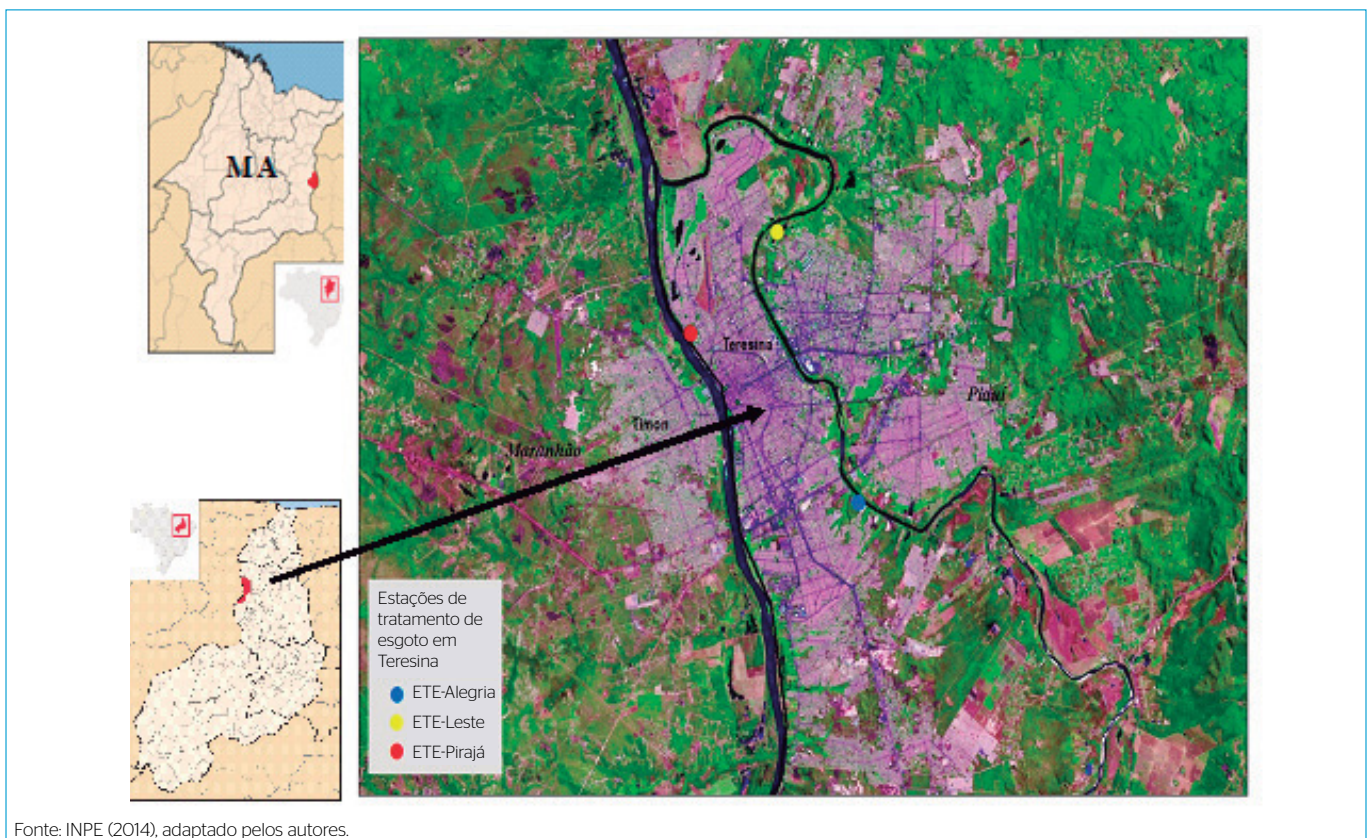


Figura 2 - Imagem das áreas das cidades de Teresina e Timon e localização das estações de tratamento de esgoto em Teresina.

três estações de tratamento de esgotos: ETE-Alegria, ETE-Leste e ETE-Pirajá (Figura 2). A ETE-Pirajá é composta por um sistema de lagoas de estabilização do tipo lagoa facultativa aerada (LFA), seguida de lagoa de maturação (LM). A LFA tem área útil de 2,66 hectares, profundidade de 3,50 metros e opera com um tempo de detenção hidráulica de 14 dias. A LM tem área útil de 2,00 hectares, profundidade de 2,30 metros e volume atual de 46.920 m³ (PREFEITURA DE TERESINA, 2013).

MÉTODOS

A Figura 3 apresenta os pontos selecionados para monitoramento do sistema de tratamento de esgotos da ETE-Pirajá e da qualidade da água do Rio Parnaíba, sendo as coordenadas geográficas identificadas na Tabela 1. No sistema ETE-Pirajá, os pontos selecionados para coleta foram: entrada esgoto bruto afluente (EB); saída da lagoa facultativa aerada (EI); e efluente final tratado (ET). O Rio Parnaíba foi monitorado em dois pontos a montante, P-4 (1.000 m) e PM (200 m), e dois a jusante, PJ (200 m) e P-5 (3.400 m) do

lançamento dos efluentes. Os pontos P-4 e P-5 fazem parte da rede de monitoramento da qualidade da água do Rio Parnaíba na zona urbana de Teresina, programa executado pela Universidade Federal do Piauí (UFPI).

O monitoramento foi realizado com periodicidade mensal entre fevereiro de 2014 e janeiro de 2015, com as coletas sendo realizadas no período da manhã. As técnicas de coleta e armazenamento

Tabela 1 - Localização dos pontos de monitoramento.

Ponto	Latitude	Longitude
EB	5° 04' 42,3"	42° 49' 45,2"
EI (saída da lagoa facultativa aerada)	5° 04' 33,2"	42° 49' 46,4"
ET	5° 04' 28,4"	42° 49' 56,1"
P4	5° 05' 09,7"	42° 49' 45,2"
PM	5° 04' 34,5"	42° 49' 53,3"
PJ	5° 04' 23,0"	42° 50' 00,6"
P5	5° 02' 29,1"	42° 50' 24,6"

EB: esgoto bruto; EI: esgoto intermediário; ET: efluente tratado; P4: ponto 4 a montante; PM: ponto a montante; PJ: ponto a jusante; P5: ponto 5 a jusante.



Figura 3 - Imagens de satélite da área de estudo com alocação dos pontos de coleta.

das amostras seguiram as instruções do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (CETESB, 2011a). As análises realizadas englobam parâmetros físico-químicos e microbiológicos que permitiram apresentar um perfil de qualidade das amostras. A Tabela 2 apresenta as metodologias utilizadas nas determinações analíticas e estão estabelecidas no *Standard Methods* (APHA, 2005), sendo as seguintes: *Escherichia coli*, demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), oxigênio dissolvido (OD), nitrato, fosfato, temperatura, turbidez, sólidos totais e pH.

Os resultados das análises para as variáveis físico-químicas e microbiológicas do efluente final foram interpretados frente aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n° 430 (BRASIL, 2011).

Avaliou-se a eficiência do sistema de tratamento para a matéria orgânica, em termos de DBO_{5,20} e para *E. coli*. Foram calculadas separadamente as eficiências para as LFA e LM e a eficiência global do sistema, considerando as concentrações de entrada dos esgotos e saída dos efluentes, durante os 12 meses de monitoramento.

A avaliação da qualidade da água a montante e a jusante do ponto de lançamento foi realizada frente ao índice de qualidade da água (IQA) produtivo (CETESB, 2011b) e estabeleceu-se a influência da variabilidade sazonal do regime hidrológico do Rio Parnaíba.

Elaborou-se as curvas de permanência das vazões do Rio Parnaíba, obtidas a partir dos dados fluviométricos registrados pela estação Teresina/Companhia Hidrelétrica do Rio São Francisco (CHESF), localizada a 7,0 km da ETE-Pirajá. Os dados de vazões utilizados para a elaboração das curvas de permanência foram referentes à série histórica (1990 a 2014) e às vazões registradas durante o período de estudo.

A análise do impacto do lançamento dos efluentes no Rio Parnaíba foi realizada pela estimativa das cargas máximas permitidas, de acordo com os limites de concentrações estabelecidos pela CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), considerando o seu enquadramento na classe II. Essas cargas foram determinadas para as vazões mínimas de referência (Q90% e Q95%) e vazões médias (Q50%), determinadas a partir da curva de permanência do Rio Parnaíba.

Tabela 2 - Metodologias analíticas utilizadas nas análises.

Parâmetros	Método
Temperatura	Filamento de mercúrio
Turbidez	Turbidimétrico
Sólidos totais	Gravimétrico
pH	Eletrométrico
Fosfato	Espectrofotométrico
Nitrato	Espectrofotométrico
Demanda bioquímica de oxigênio	Winkler/incubação
Oxigênio dissolvido	Eletrométrico
<i>Escherichia coli</i>	Enzimático substrato definido

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação da eficiência do sistema de tratamento da estação de tratamento de esgoto Pirajá

São apresentados na Tabela 3 os resultados das concentrações médias, máximas e mínimas para as variáveis físico-químicas e bacteriológicas dos esgotos e do efluente tratado na ETE-Pirajá, obtidas durante o período de monitoramento.

As concentrações de DBO_{5,20} para o esgoto bruto afluente apresentaram média de 165,71 mg.L⁻¹, menores que a média de 300 mg.L⁻¹ típica para esgotos domésticos, com valores mínimos registrados nos meses de maior precipitação (Figura 4). A vazão do esgoto afluente apresentou média de 77,0 L.s⁻¹, sendo que nos meses de maior precipitação — fevereiro a maio —, essa vazão média foi de 85,2 L.s⁻¹, registrando um aumento de 10%. Isso sugere que ocorre uma maior diluição e redução da carga orgânica do esgoto durante o período chuvoso, o que pode ocorrer devido a infiltrações e/ou interligações clandestinas de águas pluviais na rede coletora de esgotos.

Verificou-se uma melhoria nas condições de oxigenação do esgoto tratado, sendo que o sistema de tratamento utilizando LFA + LM possibilitou um incremento médio de 2,59 mg.L⁻¹ de OD, considerando que o esgoto bruto apresenta condições anaeróbias.

A DBO_{5,20} efluente da ETE-Pirajá (Figura 4) atende ao padrão de lançamento da Resolução CONAMA 430/11 (BRASIL, 2011), com concentração média de 33,19 mg.L⁻¹ e máxima de 69,10 mg.L⁻¹, valores consideravelmente inferiores ao limite máximo de 120 mg.L⁻¹ estabelecido, demonstrando eficiência para redução da matéria orgânica no sistema de tratamento. O impacto do esgoto tratado no corpo receptor é pouco significativo e associado às elevadas vazões do Rio Parnaíba, apresentadas pelo monitoramento fluviométrico da estação Teresina/CHESF, o que possibilita uma maior diluição do efluente, não promovendo a elevação da DBO_{5,20} após o ponto de lançamento.

A temperatura do efluente tratado (Figura 5) apresenta valor médio de 29,8 °C, em conformidade com o limite de 40,0 °C estabelecido para lançamento de esgoto doméstico tratado. Observou-se que tais níveis de temperatura são semelhantes à temperatura natural do corpo receptor, que possui temperatura média de 29,0 °C.

Os valores registrados para o parâmetro pH permaneceram dentro do recomendado pelas resoluções CONAMA 357 (BRASIL, 2005) e 430 (BRASIL, 2011), que definem limites entre 6 e 9. As médias do pH para o corpo receptor, esgoto bruto e efluente tratado permaneceram no intervalo entre 6,5 e 8,5.

A Tabela 4 apresenta os percentuais de eficiência do sistema ETE-Pirajá para as variáveis DBO_{5,20} e *E. coli*, sendo avaliadas as eficiências isoladas para cada lagoa e para todo o sistema. A eficiência global do sistema em termos de matéria orgânica foi adequada,

Tabela 3 - Resultados do monitoramento do sistema de tratamento de esgoto da estação de tratamento de esgoto Pirajá, fevereiro de 2014 a janeiro de 2015.

Variável / Valor	Esgoto bruto	Esgoto interme-diário	Esgoto tratado
Temperatura (°C)			
Média	32,200±1,200	31,600±1,000	29,800±0,900
Mín.	30,000	30,000	29,000
Máx.	34,500	34,000	32,000
pH			
Média	7,510±0,380	7,680±0,470	7,770±0,350
Mín.	6,800	7,000	7,300
Máx.	8,300	8,600	8,500
Escherichia coli (NMP/100 mL⁻¹)			
Média	1,560x10 ⁷ ±4,280x10 ⁶	4,560x10 ⁶ ±1,950 x10 ⁶	6,640x10 ⁴ ±3,930x10 ⁴
Mín.	7,560x10 ⁶	1,050x10 ⁶	1,170x10 ⁴
Máx.	2,420x10 ⁷	7,250x10 ⁶	1,430x10 ⁵
Turbidez (UNT)			
Média	138,900±41,300	123,300±42,600	109,900±33,400
Mín.	90,800	72,600	58,300
Máx.	222,700	229,000	180,100
Demanda bioquímica de oxigênio (mg.L⁻¹)			
Média	165,710±41,450	53,980±30,000	33,190±17,630
Mín.	105,780	21,220	10,610
Máx.	225,900	132,620	69,100
Oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹)			
Média	0,000±0,000	2,330±1,220	2,590±1,150
Mín.	0,000	0,300	1,100
Máx.	0,000	4,500	4,800
Sólidos totais (mg.L⁻¹)			
Média	477,500±64,700	397,500±58,300	340,800±75,000
Mín.	360,000	300,000	170,000
Máx.	600,000	480,000	460,000
Nitrato (mg.L⁻¹)			
Média	0,511±0,504	0,407±0,557	0,355±0,399
Mín.	0,100	0,070	0,060
Máx.	1,730	1,760	1,410
Fosfato (mg.L⁻¹)			
Média	0,187±0,147	0,116±0,095	0,127±0,119
Mín.	0,057	0,031	0,015
Máx.	0,655	0,408	0,505

NMP: número de micropartículas; UNT: unidade de turbidez.

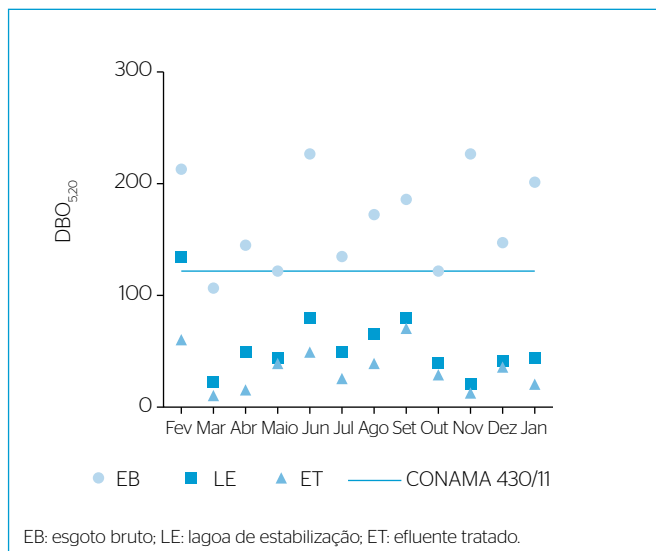


Figura 4 - Valores de demanda bioquímica de oxigênio para os esgotos e o efluente tratado.

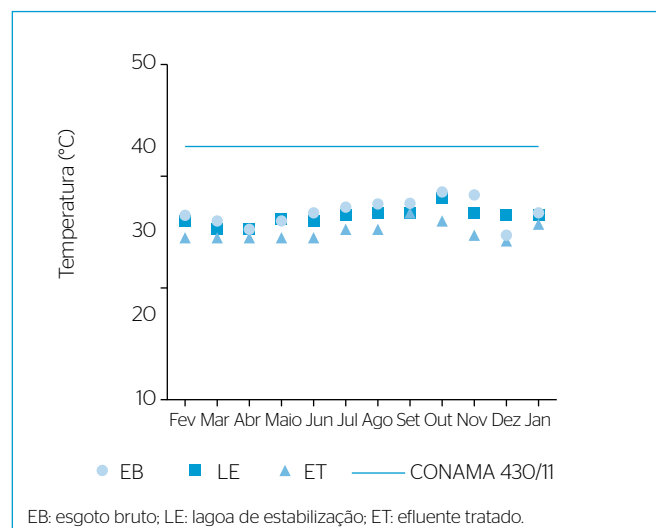


Figura 5 - Valores de temperatura para os esgotos e o efluente tratado.

Tabela 4 - Eficiência média do sistema de tratamento por lagoas de estabilização da estação de tratamento de esgoto Pirajá.

Variável / Valores	Eficiência (%)		
	Lagoa facultativa aerada	Lagoa de maturação	Sistema
Demanda bioquímica de oxigênio			
Média	67,89±12,66	36,72±20,82	79,77±9,21
Min.	37,31	0,00	62,86
Máx.	90,59	66,67	95,29
Escherichia coli			
Média	70,76±2,01	92,58±67,37	98,05±1,51
Mín.	48,58	74,94	95,00
Máx.	87,93	97,73	99,64

apresentando valores médios de 79,77%, considerando que a média de remoção nesse tipo de sistema é de 75,00 a 85,00% (OLIVEIRA & SPERLING, 2005).

A eficiência da LFA apresentou rendimento baixo (67,89%); essa baixa eficiência pode estar relacionada à operação de apenas quatro aeradores de um total de dez projetados, reduzindo o suprimento de OD no meio necessário para a degradação da matéria orgânica. Outro aspecto que também pode afetar essa eficiência é a diminuição do tempo de detenção hidráulica (14 dias) em decorrência do acúmulo de lodo no fundo da LFA. Esse lodo deveria ser retirado periodicamente para evitar a redução do volume útil da lagoa e os danos mecânicos aos aeradores.

A eficiência global do sistema de tratamento em termos de *E. coli* foi de 98,05%, correspondendo a uma redução média na ordem de 2 log. Essa eficiência é considerada regular na medida em que a eficiência recomendada para esse tipo de sistema deve estar na faixa de 3 a 5 log, conforme sugerido por Oliveira & Sperling (2005). A LM, projetada para a função principal de remoção de *E. coli*, apresentou eficiência média de 92,58%, rendimento abaixo dos 99,99% esperado para esse tipo de lagoa. Observa-se que a LM está operando de forma a complementar a remoção de $DBO_{5,20}$ devido à baixa eficiência da LFA (67,89%), comprometendo sua função principal, que é de remoção de coliformes. A concentração média de *E. coli* para o efluente final da ETE-Pirajá foi de $2,75 \times 10^5$ número mais provável (NMP).100 mL⁻¹, valor bem acima da concentração média de $5,5 \times 10^2$ NMP.100 mL⁻¹ observada por Silva (2012) na ETE-Guararapes (Natal, Rio Grande do Norte). Silva (2012) constatou que o efluente final de um sistema composto por LFA + LM apresentou remoção de 5 log, possibilitando seu uso restrito para atividades urbanas.

Análise dos dados de vazão e monitoramento da qualidade da água

Analisando-se as vazões obtidas a partir das curvas de permanência elaboradas para a série histórica de 1990 a 2014 e para o período de estudo, constatou-se uma tendência similar entre os valores das vazões médias e mínimas registrados durante os dois períodos de observação (Figura 6).

Observou-se que o trecho do Rio Parnaíba que corta a zona urbana de Teresina apresentou vazões médias e mínimas com valores respectivos de 416,50 e 253,00 m³.s⁻¹ para a série histórica entre 1990 a 2014, demonstrando uma alta disponibilidade hídrica do rio. Valores próximos aos da série histórica foram registrados para as vazões médias e mínimas durante o período de estudo (Q50% 371,0 m³.s⁻¹ e Q95% 269,0 m³.s⁻¹) de acordo com a Tabela 5. No entanto, os picos de vazões máximas no período de estudo, com 815,1 m³.s⁻¹, foram bem menores do que as máximas registradas na série histórica (2066,9 m³.s⁻¹),

em decorrência dos baixos índices de precipitação durante os últimos anos até o período atual de estudo.

A alta disponibilidade hídrica do Rio Parnaíba, mediante as vazões registradas, propicia uma diluição mais acelerada dos efluentes lançados no corpo receptor e uma maior assimilação das cargas poluidoras provenientes dos lançamentos.

Os resultados das concentrações médias, máximas e mínimas para as variáveis da água no corpo receptor (Rio Parnaíba) e efluente tratado, obtidos durante os 12 meses de monitoramento, são apresentados na Tabela 6. Considerando-se que o Rio Parnaíba ainda não passou por análise e aprovação de enquadramento, o mesmo é definido como classe II, de acordo com o art. 42 da Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005).

Verificou-se que os níveis de $DBO_{5,20}$ a montante do ponto de lançamento foram baixos (Figura 7), com média de 2,04 mg.L⁻¹ e, mesmo após o lançamento dos efluentes, foram registradas médias de 2,81 mg.L⁻¹, inferiores ao limite de 5,00 mg.L⁻¹ estabelecido pela CONAMA 357/05 para rios classe II (BRASIL, 2005). Esses baixos valores de $DBO_{5,20}$ ocorrem devido à alta capacidade de diluição do

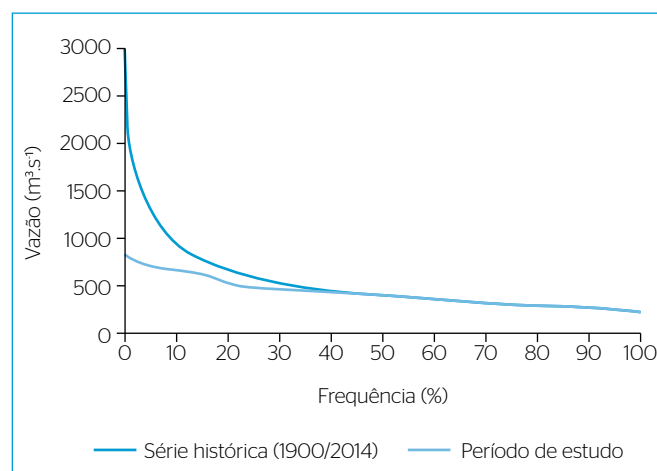


Figura 6 - Gráfico comparativo entre as curvas de permanência de vazões elaboradas para série histórica e para o período de estudo.

Tabela 5 - Frequência de permanência das vazões registradas na série de 1990 a 2014 e durante o período de estudo.

Série histórica		Período de estudo	
Frequência (%)	Vazões (m ³ .s ⁻¹)	Frequência (%)	Vazões (m ³ .s ⁻¹)
Q1	2066,9	Q1	815,1
Q40	453,0	Q40	414,2
Q50	416,5	Q50	371,0
Q90	303,0	Q90	300,0
Q95	286,0	Q95	291,9
Q99	269,0	Q99	271,0
Q100	253,0	Q100	269,0

Tabela 6 - Resultados do monitoramento da qualidade da água do Rio Parnaíba, fevereiro de 2014 a janeiro de 2015.

Variável	P-4	Ponto a montante	Efluente tratado	Ponto a jusante	P-5
Temperatura (°C)					
Média	29,100	29,00	29,80	29,20	28,90
Desvio padrão	1,800	0,60	0,90	0,60	1,60
Mín.	26,000	28,00	29,00	28,00	27,00
Máx.	32,500	30,50	32,00	30,50	32,60
pH					
Média	7,370	7,61	7,77	7,50	7,32
Desvio padrão	0,330	0,40	0,35	0,37	0,39
Mín.	6,700	6,80	7,30	6,80	6,60
Máx.	8,000	8,30	8,50	8,30	8,30
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL ⁻¹)					
Média	424,300	1109,60	6,64x10 ⁴	4591,30	1191,50
Desvio padrão	534,000	584,00	3,93x10 ⁴	4973,90	1488,00
Mín.	31,000	177,00	1,17x10 ⁴	302,50	341,00
Máx.	1529,000	2143,00	1,43x10 ⁵	19863,00	5794,00
Turbidez (NTU)					
Média	57,200	51,000	109,900	47,600	59,300
Desvio padrão	87,900	53,500	33,400	42,200	88,600
Mín.	0,900	5,100	58,300	6,700	3,000
Máx.	330,800	169,000	180,100	126,90	338,80
DBO _{5,20} (emanda bioquímica de oxigênio (mg.L ⁻¹))					
Média	2,810	2,040	33,190	2,810	2,810
Desvio padrão	1,360	1,000	17,630	1,050	1,430
Mín.	0,890	0,890	10,610	1,240	0,890
Máx.	5,320	4,000	69,100	4,450	5,320
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)					
Média	6,890	7,030	2,590	6,990	6,880
Desvio padrão	0,570	0,300	1,150	0,420	0,480
Mín.	6,000	6,300	1,100	6,400	6,100
Máx.	7,800	7,500	4,800	7,700	7,500
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)					
Média	115,800	86,700	340,800	92,500	121,700
Desvio padrão	61,800	55,600	75,000	47,100	47,400
Mín.	40,000	30,000	170,000	40,000	30,000
Máx.	240,000	180,000	460,000	190,000	200,000
Nitrato (mg.L ⁻¹)					
Média	0,089	0,072	0,355	0,088	0,091
Desvio padrão	0,077	0,080	0,399	0,063	0,106
Mín.	0,020	0,010	0,060	0,020	0,020
Máx.	0,310	0,320	1,410	0,270	0,420
Fósforo (mg.L ⁻¹)					
Média	0,011	0,008	0,127	0,027	0,019
Desvio padrão	0,015	0,008	0,119	0,045	0,024
Mín.	0,003	0,001	0,015	0,002	0,002
Máx.	0,059	0,031	0,505	0,160	0,069

rio. Os maiores picos de DBO_{5,20} foram registrados entre os meses de junho e agosto, período de menor incidência de chuvas, implicando em uma menor diluição da matéria orgânica.

Observou-se que as concentrações de *E. coli* no rio (Figura 7) apresentaram valores elevados a montante, estando em desconformidade com os limites de 1.000 NMP.100mL⁻¹ durante a metade do período de estudo. Tal situação pode ser atribuída ao lançamento indevido de esgotos em decorrência da baixa cobertura de esgotamento sanitário em Teresina (17%). O ponto a jusante (PJ), por localizar-se muito próximo ao ponto de lançamento do efluente, apresentou valores mais elevados, acima do estabelecido pela CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005). Já o ponto P-5, distante 3,4 km depois do lançamento, registrou valores similares ao do ponto a montante, apresentando redução de *E. coli* frente ao PJ. Isso demonstra que, além do efluente, diversas ações antrópicas difusas ao longo do rio contribuem para o aumento de *E. coli* a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente da ETE-Pirajá.

As concentrações de sólidos totais no corpo receptor permaneceram dentro dos limites estabelecidos para os rios classe II. Apesar das maiores concentrações observadas para o efluente tratado, a condição a jusante do ponto de lançamento apresenta valor médio de 133,3 mg.L⁻¹ (Tabela 6). Os valores registrados para o nitrato também apresentaram conformidade durante todo o período de estudo, com valores muito abaixo do limite de 10,0 mg.L⁻¹ definidos pela resolução (Figura 7).

Constatou-se que os valores do fosfato e da turbidez (Figura 7) atenderam aos requisitos de qualidade durante todo o período de estudo, com registros pontuais de desconformidade nos meses de fevereiro a abril. Esses meses registraram elevados índices de precipitação, promovendo um maior carreamento de sedimentos e poluentes dispersos na área de drenagem, com consequente aumento nas concentrações, demonstrando os efeitos da poluição difusa na qualidade das águas do Rio Parnaíba.

Os valores de IQA para os pontos a montante e a jusante do lançamento do efluente (Tabela 7) apresentaram classificação variando entre regular a bom. Verificou-se uma redução na qualidade da água no percurso entre o ponto P-4 e o PM, em decorrência da poluição difusa a montante do lançamento. O ponto P-5, distante 3,4 km após o lançamento, registrou pequeno aumento no IQA frente ao PJ, porém, mantendo valores classificados como regular na maior parte do período de estudo. A situação sugere que o trecho de 3,4 km após o lançamento não é suficiente para promover a autodepuração do rio, além de ocorrerem ações impactantes que promovem a alteração da qualidade da água a jusante. Observou-se que o PJ apresentou os menores valores de IQA por estar inserido muito próximo ao lançamento, na zona de mistura do efluente, não permitindo a dispersão da carga poluente.

Constatou-se que a baixa cobertura de saneamento básico é o aspecto mais significativo para redução da qualidade da água do Rio Parnaíba no trecho estudado, sendo intensificada com a poluição difusa. Os menores valores de IQA estão associados ao período de maior precipitação, promovendo o aumento do escoamento superficial e o carreamento de poluentes dispersos da área de drenagem. Resultados semelhantes foram alcançados por Oliveira (2012) para a qualidade da água no Rio Poti na zona urbana de Teresina e por Cunha & Oliveira (2014) em um trecho do baixo Rio Jari, Amapá.

Impacto do lançamento e quantificação das cargas poluidoras

As quantificações das cargas poluidoras em termos de matéria orgânica e *E. coli* são apresentadas nas Tabelas 8 e 9. As cargas foram calculadas a partir das vazões registradas nos dias das coletas e as cargas máximas permitidas foram determinadas considerando os limites de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ para $\text{DBO}_{5,20}$ e $1.000 \text{ NMP.100mL}^{-1}$ para coliformes (CONAMA 357) (BRASIL, 2005). Para estimativa da carga a jusante realizou-se um balanço das cargas do ponto a montante e do efluente.

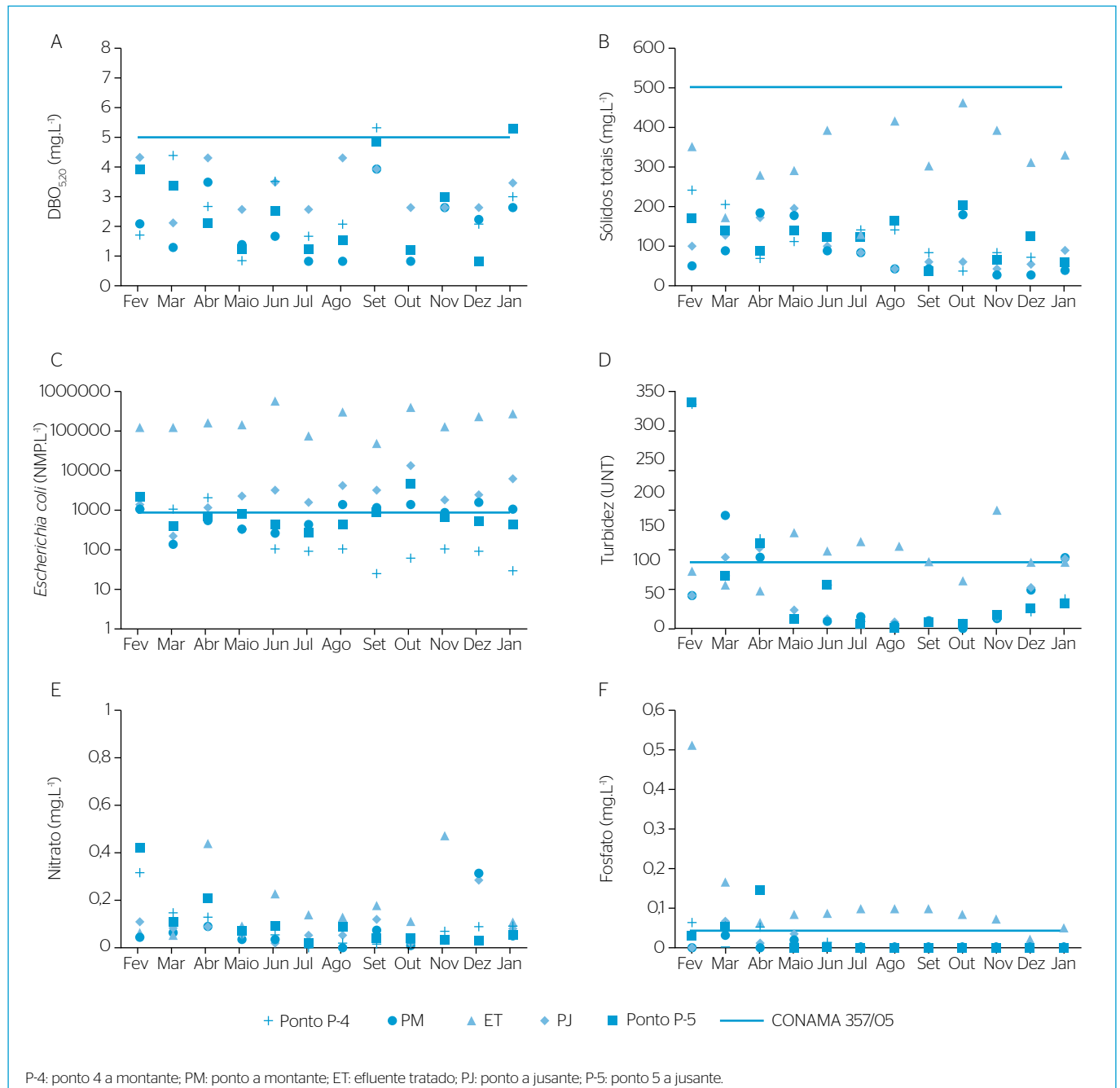


Figura 7 - Monitoramento do efluente tratado e da qualidade da água a montante e a jusante do ponto de lançamento no Rio Parnaíba.

Constatou-se que a carga diária de $DBO_{5,20}$ no corpo receptor, após o lançamento do efluente da ETE-Pirajá, manteve-se abaixo do limite durante os 12 meses de monitoramento, representando em média 41% de sua capacidade de assimilação. A carga orgânica do efluente é pouco significativa em decorrência da reduzida vazão de lançamento e baixa concentração média após o tratamento dos esgotos ($33,19 \text{ mg.L}^{-1}$), muito abaixo do limite permitido de

Tabela 7 - Valores do índice de qualidade da água para os pontos a montante e a jusante do lançamento do efluente da estação de tratamento de esgoto Pirajá.

Data	Pontos a montante		Pontos a jusante	
	P-4	PM	PJ	P-5
Fevereiro/2014	38,3	48,0	47,5	35,9
Março/2014	41,3	44,4	43,0	45,1
Abril/2014	38,2	41,0	39,1	39,0
Mai/2014	53,1	52,4	46,9	51,1
Junho/2014	54,3	54,9	47,6	48,1
Julho/2014	58,1	54,0	49,7	55,2
Agosto/2014	53,7	52,4	45,5	52,4
Setembro/2014	58,0	48,4	46,0	48,8
Outubro/2014	59,0	51,7	43,6	47,2
Novembro/2014	55,9	49,7	47,9	50,2
Dezembro/2014	56,8	46,0	44,3	53,3
Janeiro/2015	55,3	38,2	33,7	49,1

Legenda:	Péssima	Ruim	Regular	Boa	Ótima
		0 a 19	19 a 36	36 a 51	51 a 79

$120,00 \text{ mg.L}^{-1}$. A carga orgânica do rio apresentou valores abaixo dos limites permitidos, mantendo a conformidade mesmo para as vazões consideradas críticas, com exceção do mês de abril, período em que foi registrada a maior concentração de $DBO_{5,20}$ no ponto a montante. A elevada capacidade de diluição do Rio Parnaíba frente à reduzida carga orgânica do efluente não vem a comprometer significativamente a qualidade da água a jusante do ponto de lançamento.

Observou-se que as cargas do rio, em termos de *E. coli*, ultrapassaram os limites permitidos para os meses de fevereiro de 2014, agosto a dezembro de 2014 e janeiro de 2015, representando a metade do período monitorado. Constatou-se que nesses meses foram registradas cargas acima do limite permitido desde o ponto a montante do lançamento, em decorrência de poluição difusa. Observou-se ainda que o efluente tratado apresentou altas concentrações de coliformes em decorrência da limitada eficiência do sistema ETE-Pirajá para remoção desse poluente. Apesar das elevadas concentrações, o efluente registrou cargas de coliformes pouco expressivas, equivalente a apenas a 3,8% da carga a montante. Portanto, o efluente lançado no rio não vem a alterar a qualidade da água em termos de coliformes, sugerindo que outras fontes de poluição contribuem de forma mais expressiva para um aumento de cargas já a montante do lançamento.

Mediante a quantificação das cargas em termos de matéria orgânica e coliformes, constatou-se que o impacto do lançamento dos efluentes da ETE-Pirajá não vem a ser significativo para a alteração da qualidade da água.

Tabela 8 - Quantificação das cargas poluidoras em termos de matéria orgânica no Rio Parnaíba.

Mês	Q_{RM} ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	C_{RM} (kg.d^{-1})	Q_E ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	C_E (kg.d^{-1})	CRJ (kg.d^{-1})	C_{MP} (kg.d^{-1})
Fevereiro/2014	288,800	54895,100	0,086	433,600	55328,700	124761,600
Março/2014	293,400	33715,200	0,089	81,600	33796,800	126748,800
Abril/2014	478,200	146673,500	0,085	116,800	146790,300	206582,400
Mai/2014	293,300	34210,500	0,082	263,100	34473,600	126705,600
Junho/2014	326,500	49931,000	0,078	321,700	50252,700	141048,000
Julho/2014	286,700	22293,800	0,076	174,100	22467,900	123854,400
Agosto/2014	289,000	22472,600	0,065	209,000	22681,600	124848,000
Setembro/2014	286,000	98841,600	0,066	394,000	99235,600	123552,000
Outubro/2014	389,500	29951,000	0,075	172,200	30123,200	168264,000
Novembro/2014	279,500	64235,800	0,074	68,000	64303,800	120744,000
Dezembro/2014	291,700	55698,400	0,072	231,500	55929,800	126014,400
Janeiro/2015	439,700	101053,600	0,077	141,400	101195,100	189950,400

Q_{RM} : vazão do rio a montante; C_{RM} : carga do rio a montante; Q_E : vazão do efluente; C_E : carga do efluente; C_{RJ} : carga do rio a jusante; C_{MP} : carga máxima permitida.

Tabela 9 - Quantificação das cargas poluidoras em termos de *Escherichia Coli* no Rio Parnaíba.

Mês	Q_{RM} (m ³ /s)	C_{RM} (NMP/d)	Q_E (m ³ /s)	C_E (NMP/d)	C_{RJ} (NMP/d)	C_{MP} (NMP/d)
Fevereiro/2014	288,800	3,390E+08	0,086	1,280E+07	3,520E+08	2,500E+08
Março/2014	293,400	4,490E+07	0,089	1,210E+07	5,690E+07	2,530E+08
Abril/2014	478,200	3,960E+08	0,085	1,390E+07	4,100E+08	4,130E+08
Mai/2014	293,300	1,250E+08	0,082	1,340E+07	1,380E+08	2,530E+08
Junho/2014	326,500	9,620E+07	0,078	4,760E+07	1,440E+08	2,820E+08
Julho/2014	286,700	1,440E+08	0,076	6,630E+06	1,510E+08	2,480E+08
Agosto/2014	289,000	4,010E+08	0,065	2,040E+07	4,220E+08	2,500E+08
Setembro/2014	286,000	3,840E+08	0,066	4,050E+06	3,880E+08	2,470E+08
Outubro/2014	389,500	5,550E+08	0,075	3,630E+07	5,920E+08	3,370E+08
Novembro/2014	279,500	2,550E+08	0,074	9,140E+06	2,640E+08	2,410E+08
Dezembro/2014	291,700	5,400E+08	0,072	1,790E+07	5,580E+08	2,520E+08
Janeiro/2015	439,700	5,300E+08	0,077	2,400E+07	5,540E+08	3,800E+08

Q_{RM} : vazão do rio a montante; C_{RM} : carga do rio a montante; Q_E : vazão do efluente; C_E : carga do efluente; C_{RJ} : carga do rio a jusante; C_{MP} : carga máxima permitida.

CONCLUSÃO

Constatou-se durante o período de estudo que o sistema de tratamento da ETE-Pirajá apresentou eficiência global adequada para remoção de matéria orgânica e limitada para *E. coli*. Portanto, para possibilitar uma maior eficiência do sistema, fazem-se necessárias melhorias na operacionalização dos aeradores e retirada periódica do lodo acumulado no fundo das lagoas. As variáveis de qualidade da água apresentaram conformidade frente aos parâmetros da Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) para rios classe

II, com exceção da turbidez e *E. coli*. O lançamento do esgoto tratado atendeu às condições estabelecidas pela CONAMA 430/11 (BRASIL, 2011).

Por meio da determinação do IQA e da quantificação das cargas do rio a montante e a jusante do lançamento, constatou-se que o lançamento do efluente pela ETE-Pirajá não provoca aumento de cargas dos poluentes nem impacto significativo sobre o Rio Parnaíba. A poluição difusa na zona urbana é mais significativa para a redução da qualidade da água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. (2012) *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil 2012*. Brasília: ANA. 264 p.

_____. (2006) *Região hidrográfica do Parnaíba - escassez de água: uma das dificuldades para o desenvolvimento*. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/Parnaiba.aspx>>. Acesso em: 29 mar. 2015.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. (2005) *Standard Methods for the Examination Water and Wastewater*. 21. ed. Washington: American Public Health Association. 1083 p.

BRASIL. (2005) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 mar. 2005. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2014.

BRASIL. (2006) MMA - Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. *Caderno da região hidrográfica do Parnaíba*. Brasília: MMA. 184 p.

BRASIL. (2011) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n.º 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. *Diário Oficial da União*, Brasília, n. 92. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 22 mar. 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. (2011a) *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. Brasília: ANA. 325 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SAO PAULO - CETESB. (2011b) *Apêndice D: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade*. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-1.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2014.

CRUZ, J.C. & TUCCI, C.E.M. (2008) Estimativa da disponibilidade hídrica através das curvas de permanência. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n. 1, p. 111-124.

CUNHA, A.C. & OLIVEIRA, B.S.S. (2014) Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. *Ambiente & Água - an Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Taubaté, v. 9, n. 2.

GOOGLE EARTH. (2013) Imagem de satélite da área da ETE-Pirajá, Teresina-PI. Data das imagens: 17/10/2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2010) *Atlas do Censo Demográfico 2010*: Piauí 2012. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=264529>>. Acesso em: 23 maio 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. (2014) Imagem adaptada do satélite LandSat 8, fornecida pelo banco de dados do INPE.

MOTA, S. (2008) *Gestão ambiental de recursos hídricos*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES. 344 p.

OLIVEIRA, L.N. (2012) *Estudo da variabilidade sazonal da qualidade da água do rio Poti em Teresina e suas implicações na população local*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.

OLIVEIRA, L.N. & SPERLING, M.V. (2005) Avaliação de 166 ETE's em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 -

análise de desempenho. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 347-357.

PREFEITURA DE TERESINA. (2013) *Plano Municipal de Saneamento Básico de Teresina*. Teresina: Prefeitura de Teresina. Disponível em: <<http://www.teresina.pi.gov.br/sistemas/portalt/pmt/admin/upload/documentos/ba90e00ad7.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2014.

ROCHA, J.R. (2013) *Impactos das atividades antrópicas na qualidade das águas do rio Parnaíba no meio urbano das cidades de Teresina-PI e Timon-MA*. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Piauí, Teresina.

ROCHA, M.E.S.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; MARTINS, V.N. (2001) Avaliação Preliminar da ETE Pirajá - Teresina - PI. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. *Anais...* Teresina: ABES.

SILVA, L.D.C. (2012) *Avaliação da qualidade final de efluentes de lagoas de estabilização com vistas ao reúso urbano*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SPERLING, M.V. (2005) *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/Universidade Federal de Minas Gerais. 243 p.

TERNUS, R.Z.; SOUZA-FRANCO, G.M.; ANSELMINI, M.E.K.; MOCELLIN, D.J.C.; MADRO, J.D. (2011) Influência da urbanização sobre a qualidade da água na bacia do rio Uruguai superior, no oeste de Santa Catarina, Brasil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 23, n. 2, p. 189-199.

VÁLIO, V.M.; TORNISIELO, S.M.; MALAGUTTI, E.N.; MORAIS, E.B.; GONÇALVES, F.A.M.; ALCÂNTARA, L.A. (2013) Impacto do efluente tratado da ETE na qualidade de água do Rio Itapetininga, SP. *HOLOS Environment*, v. 13, n. 2, p. 224.