

**AValiação DE CONFORMIDADE AMBIENTAL DO EFLUENTE DE
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO NOS CORPOS HÍDRICOS:
Estudo de caso da ETE-Vinhais sobre o rio Anil, São Luís – MA**

*ENVIRONMENTAL CONFORMITY ASSESSMENT OF THE EFFLUENT OF SEWAGE
TREATMENT STATION IN THE WATER BODIES: Case study of ETE-Vinhais on the Anil
River, São Luís – MA*

**MARLON MICHEL FERREIRA CARVALHO, CLAUDEMIR GOMES DE
SANTANA, DANIELLE CRISTINA DOS SANTOS LISBOA, LUCAS NADLER
ROCHA, ALBERTO NUNES RANGEL, RENATA MEDEIROS LOBO MULLER**

RESUMO: A utilização dos recursos hídricos para fins de transporte ou diluição de efluentes exige um 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 Vinhais (ETE-Vinhais) sobre a qualidade da água do Rio Anil. Foram realizadas coletas de campo e análises laboratoriais no sistema de tratamento por reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo ativado (RAFA) 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 RAFA e atendeu aos requisitos de qualidade para a descarga de efluentes. O tratamento anaeróbio apresentou boa remoção DBO com valor médio 78,36%, porém, ineficiente na remoção de nutrientes e organismos patogênicos. A *Escherichia coli* apresentou valores em desacordo com os requisitos de qualidade no período monitorado. A remoção de nitrogênio amoniacal e fósforo também se mostrou ineficiente para satisfazer os requisitos de qualidade do corpo hídrico, sendo a poluição difusa, o principal aspecto na degradação da qualidade do Rio Anil.

Palavras chave: tratamento de esgoto, ETE Vinhais, RAFA.

ABSTRACT: *The using of water resources for the purposes of transporting or effluents dilution requires a suitable knowledge of the processes to ensure the water quality of the receiving body. This work aimed to rate the impact of the effluent discharge from the Vinhais Sewage Treatment Plant (STP-Vinhais) on the water quality of the anil river. Field gatherings and laboratory analyzes were permormed in the treatment system by upflow anaerobic reactors with activated sludge blanket (UFAR) and at the upstream and downstream points of the effluent discharge. The efficiency of the sewage treatment showed typical values for the RAFA system and it met the quality requirements for the effluents discharge. The anaerobic treatment showed good BOD removal with an average value of 78.36%, however, inefficient in the removal of nutrients and pathogen organisms. The *Escherichia coli* showed values in disagreement with the quality*

requirements in the monitored period. The removal of ammoniacal nitrogen and phosphorus also showed inefficient to satisfy the quality requirements of the water body, with the diffuse pollution being the main aspect in the quality degradation of the Anil river.

Keywords: *sewage treatment, STP - Vinhais, UFAR.*

INTRODUÇÃO

Há uma grande preocupação quanto ao tratamento de afluentes produzindo pela população e seu destino final. Atualmente, existem inúmeras alternativas para o tratamento de esgoto, entre elas, pode-se destacar as Estações de Tratamento de Esgotos – ETE, cuja funcionalidade principal é remover a matéria orgânica, sólidos em suspensão e os organismos patogênicos presentes nos esgotos domésticos por meio de processo primários e secundários de tratamento e, em alguns casos, tratamentos avançados que poderão remover nitrogênio e fósforo, parâmetros importantes para vida aquática (LEME, 2010).

A partir dos dados apresentados pelo Instituto Trata Brasil, juntamente com a GO associados, foi revelada a situação do saneamento na ilha São Luís - MA. Em um ranking composto pelas 100 maiores cidades do país, essa capital é a 83ª no quesito de indicadores de saneamento em 2019, caindo 7 posições quando comparada a 2018. Ainda segundo dados do estudo, apenas 48,73% da população se beneficia da coleta do esgoto sendo que, destes, somente 15,77% é tratado, apesar da existência serviços de água tratada para 83,23% dos habitantes (SNIS, 2019).

Nesse contexto, a capital do Maranhão possuía apenas 4% do esgoto gerado tratado até 2014, além disso possui sua ETE localizada no bairro no Vinhais sendo uma das maiores estações de tratamento de esgoto do Nordeste contando com 3,1 hectares de área implantada destinada a atender 48 bairros da cidade de São Luís, beneficiando, assim, cerca 350 mil moradores.

A Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA (2011), afirma que somente com o funcionamento da ETE – Vinhais, é possível elevar

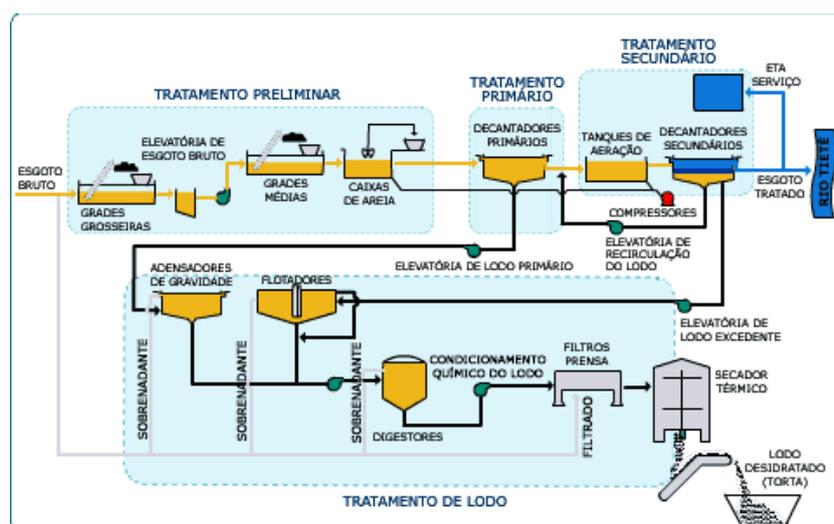
de 4% para 40% o índice de tratamento de esgotos da capital maranhense, um resultado capaz de diminuir os impactos ambientais nos corpos hídricos e melhorar a qualidade de vida em São Luís.

Assim, destinando a coleta dos esgotos ao longo do Rio Anil à ETE - Vinhais será possível tratar o esgoto anteriormente lançado de maneira *in natura* neste corpo hídrico, o que implica numa redução significativa da carga orgânica antes lançada na baía de São Marcos, já que o Rio Anil é o principal canal de desague nessa região da ilha de São Luís (MARANHÃO, 2016).

Sendo assim, este trabalho surge com o intuito de analisar a influência causada por estes efluentes no Rio Anil, principalmente após a construção da ETE - Vinhais, visando analisar tais impactos ambientais e como estes contribuem para a disseminação na qualidade do corpo hídrico, além de verificar a eficiência do tratamento no período do estudo.

Segundo Nuvolari (2001), em média a composição do esgoto sanitário contém aproximadamente 99,9% de água e apenas 0,1 de sólidos (ST, DBO, etc.), sendo que 75% desses sólidos são constituídos de matéria orgânica em processo de decomposição. Nesses sólidos, ocorrem proliferação de microrganismos, entre estes, patógenos, que são oriundos das fezes humanas. Podem ainda ocorrer poluentes tóxicos, em especial os chamados “metais pesados”, provenientes da mistura de efluentes industriais.

Segundo Von Sperling (2017), o tratamento dos esgotos é usualmente classificado através dos seguintes níveis: Preliminar, Primário, Secundário e Terciário (apenas quando necessário). Em geral, a Figura 1 demonstra um esquema usualmente de uma ETE.

Figura 1. Esquema usual de ETE

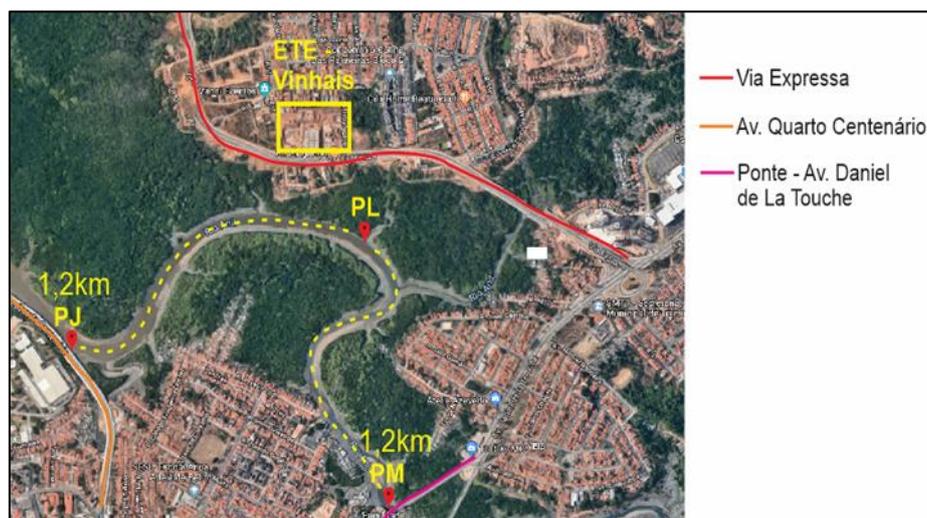
Fonte: Von Sperling, (2017)

METODOLOGIA

Localização geográfica do estudo

A ETE – Vinhais juntamente com o braço do Rio Anil, objeto deste estudo, está localizada no bairro Recanto dos Vinhais, em São Luís/MA. Para garantir a homogeneidade e representatividade definiu-se três pontos distintos para amostragem: PL: amostras coletadas na zona de mistura, onde ocorre o lançamento pontual do efluente; PM: amostras coletadas a montante do ponto de lançamento de efluente, distante do PL a 1,2 km, mais especificamente próximo a Ponte do Ipase – Av. Daniel de La Touche; PJ: amostras coletadas jusante do ponto de lançamento de efluente, distante do PL a 1,2 km, mais especificamente próximo à Av. Quarto Centenário. Objetivando apresentar as condições do corpo hídrico receptor ao receber o efluente da ETE – Vinhais conforme a Figura 2.

Figura 2 - Localização da ETE - Vinhais, do Rio Anil e dos pontos de lançamento, montante e jusante em estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A localização dos pontos de amostragem foi definida durante a visita ao local demarcado. A Tabela 1 especifica as coordenadas dos pontos obtidas com o auxílio GPS (*“Global Positioning System”*).

Tabela 1 – Localização geográfica dos pontos de coleta de amostras de águas da bacia do Rio Anil.

Identificação	Latitude	Longitude	Localização
Ponto 01	-2.531754	-44.273666	Jusante
Ponto 02	-2.529040	-44.264528	Zona de Mistura
Ponto 03	-2.537012	-44.263826	Montante

Fonte: Elaborado pelo autor

Para georreferenciar os pontos, foi utilizado o GPS GARMIN modelo 76. Os estudos bibliográficos foram realizados na Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão - CAEMA, órgão governamental responsável pelo saneamento ambiental do estado do Maranhão. Para a determinação dos parâmetros avaliados, as amostras foram submetidas à análise no LABORATÓRIO GAIA AMBIENTAL. E para atender a finalidade desta Proposta de Estudo, foram considerados os seguintes métodos analíticos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Métodos analíticos – Trabalho Estuário do rio Anil.

Parâmetro	Método utilizado	Referência
pH	Medidor multiparâmetro WTW modelo 3210	WTW
Cond. Elétrica	Medidor multiparâmetro WTW modelo 3210	WTW
Salinidade	Medidor multiparâmetro WTW modelo 3210	WTW
Oxigênio dissolvido	Método de Winkler	<i>Standard Methods</i>
Amônia total	Espectrofotométrico	<i>Standard Methods</i>
Nitrogênio total	Oxidação/Espectrofotométrico	<i>Standard Methods</i>
Fósforo total	Oxidação/Espectrofotométrico	<i>Standard Methods</i>
Col. Termotolerantes	Cromogênico qualitativo	<i>Standard Methods</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

O procedimento consistiu em coletar as amostras de água do corpo hídrico, com o auxílio da corda e de um balde, e acondicioná-las de acordo com a natureza dos seguintes ensaios.

Para os ensaios de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e parâmetros físicos, foram adicionadas em garrafas de plástico com capacidade de 1 L (litro); Para o ensaio de Coliformes Termotolerantes, foram adicionadas em garrafas de plástico com capacidade de 100 ml (mililitros); Para o ensaio de Oxigênio dissolvido (OD), foram adicionadas em frasco com capacidade de 150 ml (mililitros) dotados de reagente incolor e rolha de vidro.

Na coleta das amostras para o ensaio de OD foram adicionados com o auxílio das seringas os reagentes R1 ($MnSO_4$ - Sulfato de Manganês) e R2 (KI – Iodeto de potássio), 1 ml de cada, e feita a mistura para possibilitar a fixação do oxigênio, mantendo as características do ambiente da amostra. O recipiente foi lavado com a própria água da coleta antes enchê-lo, tampá-lo e armazená-lo, esse procedimento visa ambientar o recipiente e minimizar os erros de amostragem. As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas os ensaios de D.B.O, coliformes termotolerantes e os demais parâmetros físicos,

foram armazenadas em um cooler com gelo, para mantê-las refrigeradas e transportadas até a entrega no laboratório.

A primeira coleta foi realizada no ponto a jusante (PJ). Por recomendações técnicas segundo a NBR 9897:1987 é preferível coletar as amostras contra o fluxo da água, pois anula a possibilidade de coletar a mesma água em outro ponto. A coleta foi realizada na ponte da Av. Quarto centenário, sobre o Rio Anil, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Armazenamento e transporte da amostra efluente: Ponto Jusante (PJ).



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Dando continuidade, a próxima amostra foi coletada no ponto de lançamento (zona de mistura), a coleta foi realizada próximo a margem do rio, local de difícil acesso e muito insalubre. E por fim, o último ponto a ser coletado, foi o ponto a montante (PM). A coleta foi realizada sobre a ponte do Ipase, sentido Alemanha, procedimento igual aos pontos anteriores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a análise dos laudos laboratoriais fornecido pela CAEMA (2011), elaborou-se a Tabela 3 demonstrando os resultados das concentrações médias, desvio padrão, máximas e mínimas para as variáveis físico-químicas e

bacteriológicas dos esgotos bruto e do efluente tratado na ETE-Vinhais, obtidas durante o período de monitoramento.

Tabela 3 –Valores Médios, Mínimos e Máximos

Variável/Valor	Esgoto Bruto	Esgoto Tratado
Temperatura °C		
Média	31 ± 0,71	31,5 ± 2,18
Mínimo	30	29
Máximo	32	35
DBO5,20 mg/L		
Media	170,82 ± 57,53	34,58 ± 7,73
Mínimo	124,2	25,5
Máximo	283,4	47
Fosforo Total (mg/L)		
Média	0,80 ± 0,69	3,44 ± 6,07
Mínimo	0,01	0,01
Máximo	170,82	34,58
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)		
Média	43,57 ± 16,10	25,31 ± 16,84
Mínimo	28	16,3
Máximo	68,45	58,99
pH		
Média	7,32 ± 0,19	7,06 ± 0,31
Mínimo	7	6,5
Máximo	7,5	7,4
Coliformes Totais (NMP/100 MI)		
Média	4,61E+05 ± 6,80E+05	2,90E+04 ± 5,05E+04
Mínimo	2,42E+04	1,20E+03
Máximo	1,80E+06	1,30E+05

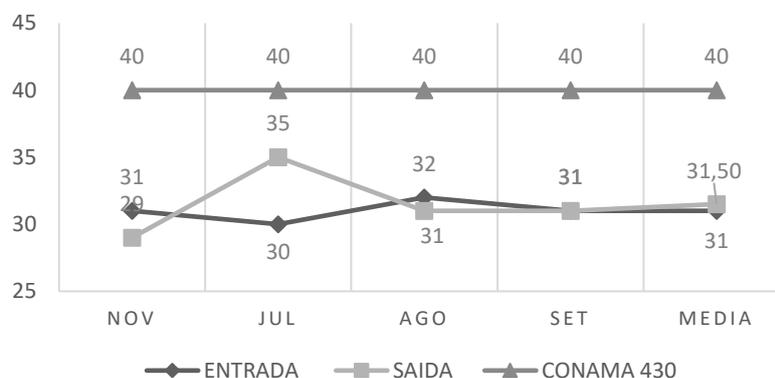
E. Coli (NMP/100 MI)

Média	3,46E+05 ± 5,78E+05	1,92E+04 ± 3,24E+04
Mínimo	2,42E+04	1,00E+03
Máximo	1,50E+06	8,40E+04

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

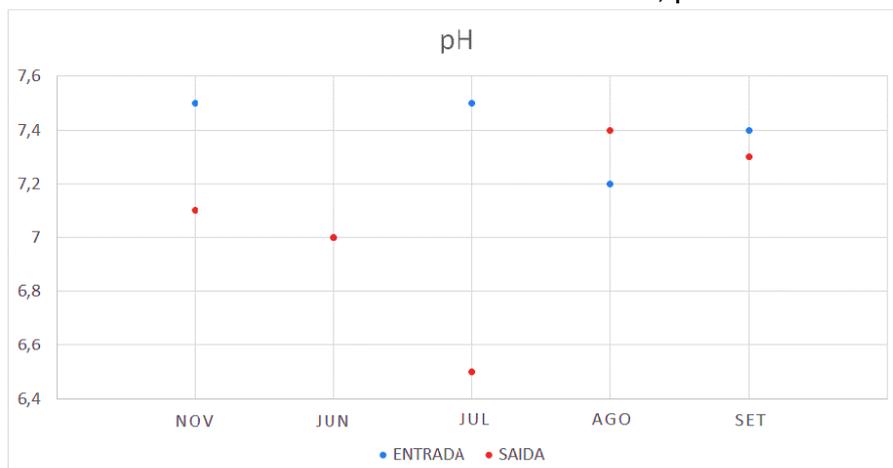
Com relação ao parâmetro da temperatura, o efluente tratado apresentou valor médio de 31,5 °C e está em conformidade com o limite de 40,0 °C estabelecido pelo CONAMA n° 430 (2011) para lançamento de esgoto doméstico tratado. Os valores de temperatura medidos mensalmente no esgoto bruto afluente e no efluente do sistema estão apresentados na Gráfico 1.

Gráfico 1: Monitoramento da Temperatura, valores.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

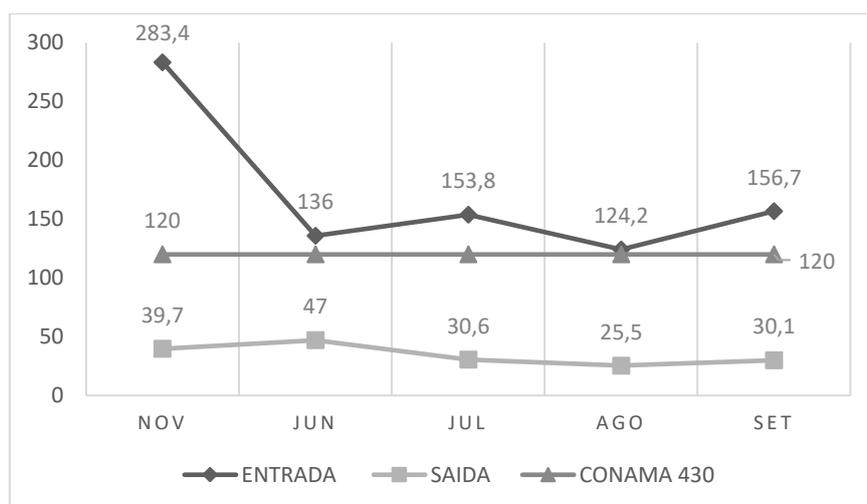
Quanto aos valores de parâmetro pH, estes permaneceram dentro do recomendado pela resolução CONAMA n° 430 (2011), que define limites entre 5,0 e 9,0. Os valores de pH do esgoto bruto e efluente tratado permaneceram no intervalo entre 6,5 e 7,5, mostrando que a variação de pH não representa problema em relação ao lançamento do esgoto tratado no corpo receptor, como pode ser visto no Gráfico 2.

Gráfico 2: Valores monitorados, pH

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

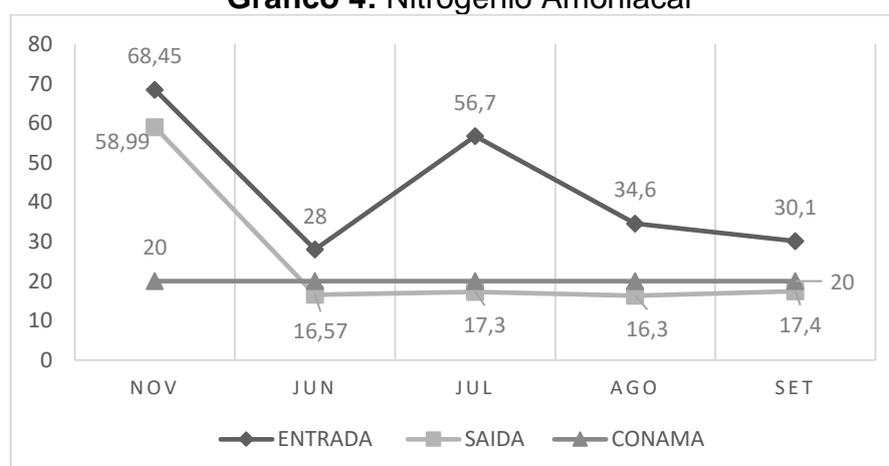
Pela Resolução CONAMA n°430 (2011) art. 16, item II que define os parâmetros inorgânicos para o lançamento de efluentes, a média para esgotos domésticos deve ser de 220 mg/L de DBO_{5,20}. Em relação a este parâmetro, foi observada uma diferença significativa das concentrações no efluente bruto e no efluente tratado, demonstrando a eficiência do processo de tratamento e constatou-se que a concentração de DBO_{5,20} para o esgoto bruto afluente apresentou uma média de 170,82 mg/L, sendo menor que a média estabelecida pela resolução.

A DBO_{5,20} do efluente da ETE – Vinhais atende ao padrão de lançamento, visto que a concentração média de DBO_{5,20} variou entre a mínima de 34,58 mg/L e máxima de 47 mg/L, valores consideravelmente inferiores ao limite máximo de 120 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA n°430(2011), para lançamento de efluente, este fato demonstra eficiência na redução da carga orgânica no sistema de tratamento, conforme o Gráfico 3.

Gráfico 3: Monitoramento, DBO

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Quanto ao parâmetro do nitrogênio amoniacal o limite máximo para lançamento é de 20 mg/L N, determinado pela resolução n°430 (2011) para nitrogênio amoniacal total. No entanto, observou-se que somente a amostra do dia 21/11/17 ultrapassou o valor máximo estabelecido, registrando um pico de 58,99 mg/L N, provavelmente este pico pode estar relacionado a algum evento de contaminação e/ou problemas operacionais na ETE, para que concentração de nitrogênio amoniacal excedesse esse limite permitido na saída, demonstrando baixo rendimento na taxa de remoção de nitrogênio, visto que 80% das amostras analisadas permaneceram dentro dos valores máximos permissíveis (VMP), como pode ser observado no Gráfico 4.

Gráfico 4: Nitrogênio Amoniacal

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

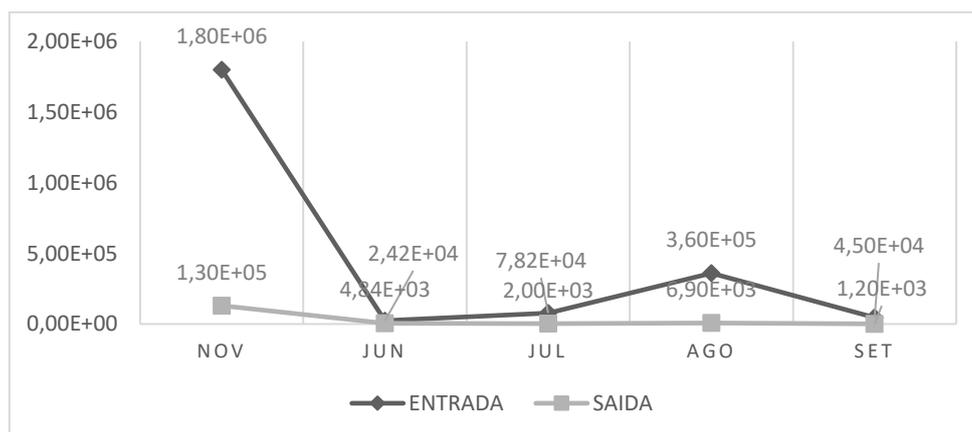
Ao atingir concentrações de nitrogênio igual ou menor que 20 mg/L N, pode ser um tanto complexo, quando se trata de nitrogênio amoniacal total, pois

para sistemas de tratamento por processo anaeróbio, ainda que estes sejam complementados por processos físico-químicos como coagulação e floculação, seguido de flotação ou sedimentação, pode ocorrer falhas na operação, causando a elevação da concentração de nitrogênio no efluente tratado.

Por fim, quanto aos parâmetros bacteriológicos de coliformes totais e *Escherichia coli*, o efluente bruto apresentou uma elevada quantidade de microrganismos durante todo o período analisado. Observou-se um decréscimo na quantidade de microrganismos presentes no tratamento do lodo ativado, mostrando eficiência do tratamento, como pode ser visualizado no Gráfico 5 e 6.

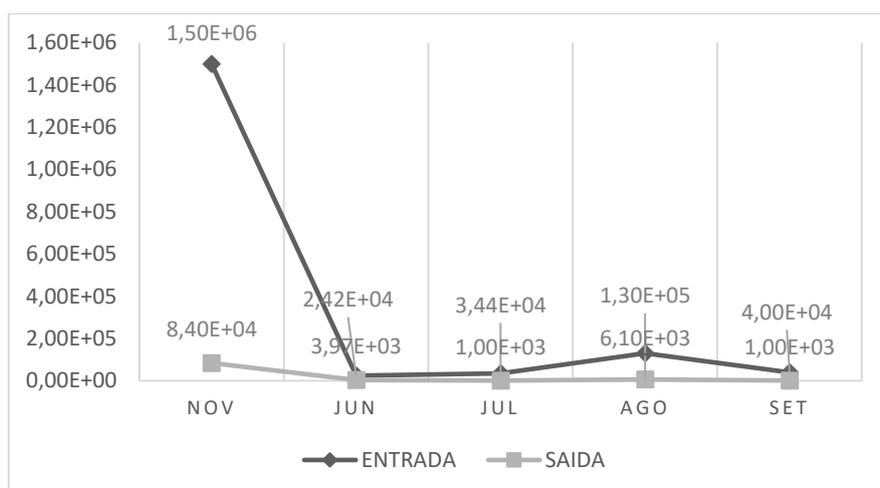
A partir dos Gráficos 5 e 6 e da Tabela 4, observou-se que os valores das médias encontradas em afluente bruto foi de $4,61 \times 10^5$ NMP/100mL (número mais provável) de coliformes totais e $3,46 \times 10^5$ NMP/100mL de *E. coli*.

Gráfico 5: Coliformes Totais



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

No efluente tratado da ETE - Vinhais, houve o decaimento microbiano. A concentração média de coliformes totais foram de $2,90 \times 10^4$ NMP/100mL, essa redução na população microbiana, mostra a eficiência do processo de tratamento.

Gráfico 6: Escherichia Coli.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A concentração média de *Escherichia Coli* para o efluente final da ETE - Vinhais foi de $1,92 \times 10^4$ NMP/100mL. A CONAMA n° 430 (2011) não padroniza parâmetros de lançamento para coliformes termotolerantes. Entretanto, concentração crítica para coliformes situa-se na zona de mistura esgoto - rio. Dessa forma, o atendimento à essa legislação deve ser alcançado no ponto de mistura.

Avaliação da eficiência

A eficiência de tratamento visa atender requisitos legais de lançamento, bem como não alterar significativamente as características do corpo receptor, nem a jusante, nem no ponto de lançamento, assegurando capacidade de autodepuração e diluição do corpo d'água. Jordão e Pessoa (2014) afirmam que a porcentagem ou eficiência de remoção é determinado por:

$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} \quad \text{Eq (1)}$$

Onde: Onde:

E = Eficiência de remoção (%)

C_o = Concentração afluente do poluente (mg/L)

C_e = Concentração efluente do poluente (mg/L)

Logo para exemplificar o modelo de cálculo realizado para determinar a eficiência, temos:

Memorial de Cálculo 1 – Determinar Eficiência na remoção de DBO (E)

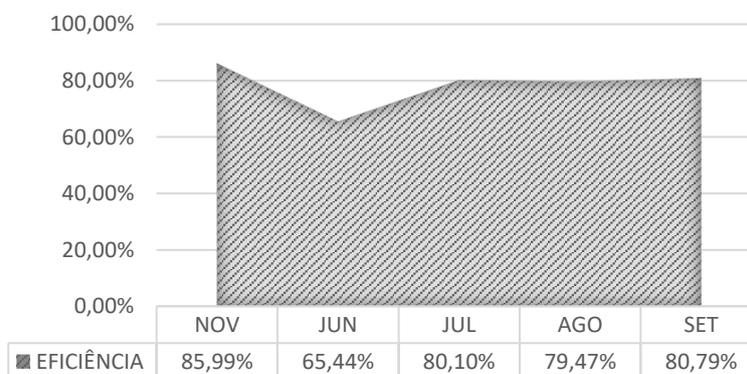
$$E = \frac{C_o - C_e}{C_o} * 100$$

$$E = \frac{283,4 - 39,7}{284,3} * 100$$

$$E = 86\%$$

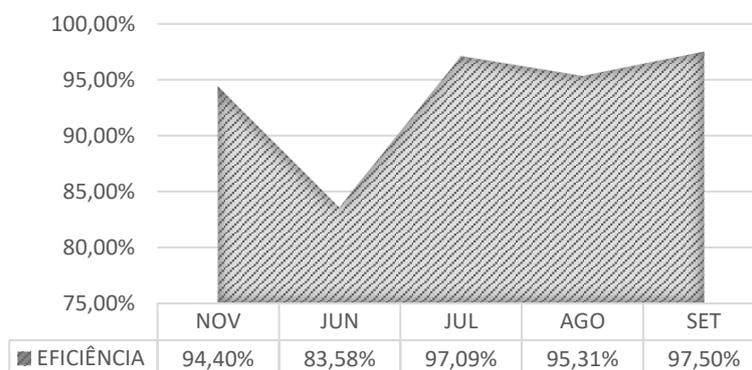
A eficiência do tratamento, em relação a matéria orgânica chegou a valores de aproximadamente 86% de remoção de DBO_{5,20}. Pode-se afirmar que a redução da carga orgânica é muito significativa, indicando a alta eficiência da ETE – Vinhais. A média de remoção de todo período analisado foi de 78,36%. A menor remoção da carga orgânica foi de 65,44% e a maior foi de 85,99%. Os demais valores da eficiência calculados estão representados no Gráfico 7. Observa-se que em junho, ocorreu uma redução na eficiência do tratamento, chegando a um valor de 65,44%, esta evidência pode ser associada a problemas operacionais na ETE-Vinhais.

Gráfico 7: Eficiência na remoção de DBO



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Na parte bacteriológica, em termos de remoção de microrganismos patogênicos, a eficiência máxima do sistema de tratamento de esgoto do Vinhais para *Escherichia coli* foi de 97,5%, conforme Gráfico 8 correspondendo a uma redução média na ordem de 2 unidade log. Essa eficiência é considerada excelente na medida em que a eficiência recomendada para esse tipo de sistema deve variar na faixa de 1 a 2 unidade log.

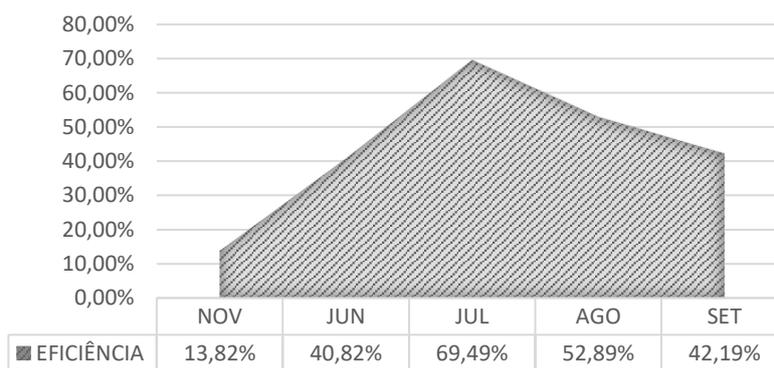
Gráfico 8: Eficiência na remoção de *Escherichia Coli*.

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Do ponto de vista operacional é esperada uma eficiência de remoção de 90% de microrganismos em processos de lodo ativado. Entretanto, nas análises realizadas, em 80% das amostras foram obtidos valores acima de 90% referentes à remoção de microrganismos neste sistema, ou seja, mais satisfatório do que descrito na literatura.

Em contrapartida, o sistema de Ozonização que completa o tratamento do RAFA, foi projetado tendo como função principal a remoção de microrganismos como *Escherichia coli*. Este apresentou eficiência média de 93,58%, rendimento abaixo dos 99,99% esperado para esse tipo de processo de desinfecção (VON SPERLING, 2017).

Para Von Sperling (2017, p 357), a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal é de até 60% para sistemas compostos por RAFA com manta de lodo ativado. No caso da ETE -Vinhais, a eficiência média de remoção é de 44%, sendo a máxima eficiência atingida de 69,49% e a menor eficiência de 13,82%. De acordo com o Gráfico 9, apenas a amostra referente ao mês de julho, superou os valores esperados para eficiência de um RAFA com manta de lodo ativado.

Gráfico 9: Eficiência na remoção de Nitrogênio amoniacal

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

O motivo desta variação na remoção de nitrogênio pode estar associada ao processo de desnitrificação, pois nos reatores anaeróbios existem uma remoção previa da matéria orgânica, fazendo com que haja uma redução da disponibilidade de alimento gás carbônico para as bactérias responsáveis pela desnitrificação, impactando diretamente no controle de nutrientes (VON SPERLING, 2017).

Para Jordão e Pêsoa (2014), afirmam que a nitrificação é realizada principalmente por bactérias aeróbias e consiste em um processo biológico por meio do qual o nitrogênio amoniacal é oxidado, resultando em nitrito e, posteriormente, em nitrato. Na presença de carbono orgânico, o nitrato é convertido em nitrogênio gasoso, o que caracteriza o processo de desnitrificação total.

Uma das soluções indicadas por alguns autores como Gercov e Joly (2011), é associar dois sistemas de lodos ativados em série, sendo o primeiro com o objetivo de remover grande parte da matéria ou carga orgânica (DBO), e melhorar as condições dos efluentes para a nitrificação no segundo sistema.

Análise de Conformidade

A análise de conformidade foi realizada a partir dos resultados dos parâmetros investigados e sua respectiva interpretação quanto à conformidade estabelecida pelas legislações vigentes, objetivando verificar o atendimento aos padrões exigidos para a Classe 2 de águas salobras.

Como foi dito anteriormente, o Rio Anil pode ser enquadrado na classe 2 de águas salobras, este fato é atestado pelas análises de salinidade realizadas no laboratório, disponíveis na Tabela 6, pois a salinidade se mantém no intervalo com concentração superior a 0,5% e inferior a 30%.

Desse modo, a Tabela 2 apresenta os limites máximos permissíveis para os parâmetros da Classe 2 de águas salobras, foram objeto da análise de conformidade, conforme preconiza o Art. 22 da Resolução CONAMA nº 357 (2005).

Tabela 4 - Valores máximos permissíveis dos parâmetros de qualidade de águas salobras para corpos hídricos enquadrados na classe 2 - Resolução CONAMA nº 357/2005

Parâmetro	Unid.	Classe 2
pH	6 – 9	6,5 - 8,5
Temperatura	°C	-
Oxigênio dissolvido	mg/L O ₂	≥ 4
DBO	mg/L O ₂	-
Nitrogênio amoniacal Totais	mg/L N	≤ 0,70
Fosforo	mg/L P	≤ 0,186
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	≤ 2500

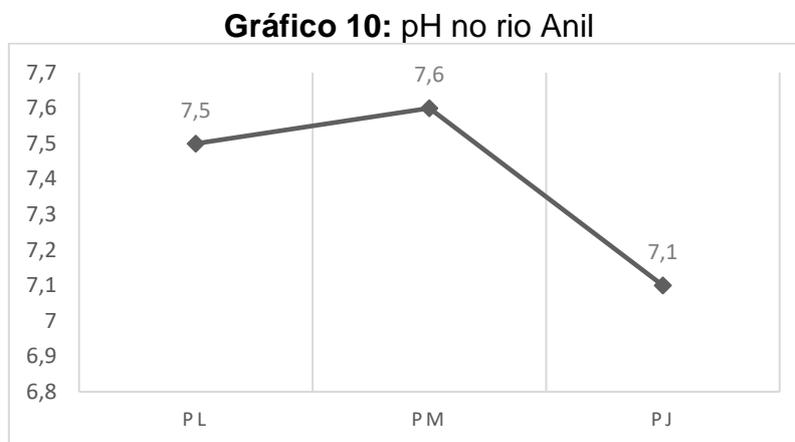
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Assim, foi realizada a investigação ambiental corpo hídrico receptor, o Rio Anil. A Tabela 6 demonstra os resultados obtidos das variáveis analisadas pelo laboratório.

Em relação à temperatura como já foi analisado os parâmetros de lançamentos (Gráfico 1), todas as amostras estão de acordo com os valores permitidos pela CONAMA nº 357 (2005).

Os dados relacionados ao pH, presentes no Gráfico 2, permite afirmar que todas as amostras estão dentro dos limites inferiores e superiores, destacados na Tabela 5, para classe 2 de águas salobras, sendo o menor valor analisado de 6,5 e o maior de 7,5.

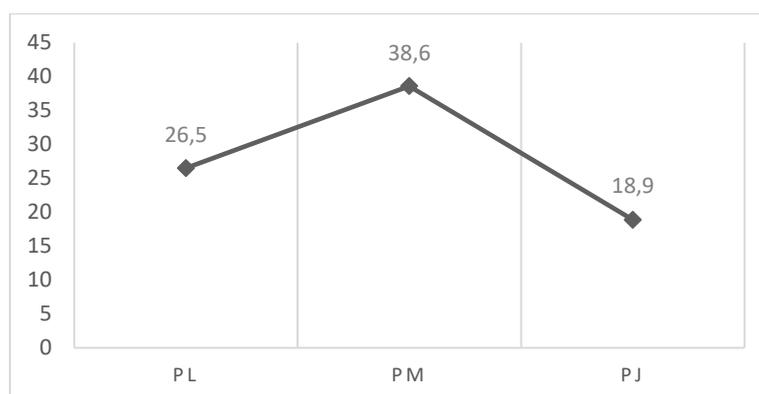
Ao analisar os dados do corpo hídrico, conforme Gráfico 10, percebe-se que o limite o pH também se mantém dentro dos padrões para sua classe, não ultrapassando os 8,5 estipulados como valor máximo em nenhum dos pontos de lançamento, de montante e de jusante analisados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Em relação à DBO, a Resolução CONAMA n° 357 (2005), flexibiliza os limites de DBO no corpo receptor para Classes 2 e 3, que pode ser mais elevado do que o estabelecido na resolução, caso o estudo da capacidade de autodepuração demonstre que as concentrações mínimas de OD previstas não serão desobedecidas. Em relação ao estudo de autodepuração, o primeiro não se aplica, pois como se trata de águas salobras com influência de maré, ainda não há um modelo matemático que expresse esse fenômeno. Como foi visto na comparação dos padrões de lançamento, os valores mostraram-se abaixo do limite estabelecido pela CONAMA n° 430(2011).

Observou-se que no corpo receptor, a variável $DBO_{5,20}$ apresentou valores de 38,6 mg/L no Ponto à montante, 26,5 mg/L no Ponto de lançamento – Zona de Mistura, e 18,9 mg/L no Ponto à jusante, como pode ser visto no Gráfico 11.

Gráfico 11: Concentração de DBO no rio Anil

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Percebe-se que, após análise do gráfico, no ponto a jusante o valor da carga orgânica diminui quando comparado ao ponto de lançamento, demonstrando que o despejo da carga orgânica não interfere a ponto de elevar o índice de $DBO_{5,20}$, mostrando a capacidade de assimilação da carga orgânica do efluente pelo Rio Anil. É importante conhecer a concentração de oxigênio dissolvido no meio, bem como as quantidades de $DBO_{5,20}$, a fim de determinar as condições para manutenção da vida marinha, como pode ser visto na Tabela 5, que demonstra a concentração de OD em relação a vida aquática.

Tabela 5- Concentração de OD em relação para a Vida aquática

Condição do rio	DBO, 20º mg/l	Aspecto estético	OD, % da saturação	Condições de vida aquática
Muito limpo	1	Bom	80 %	Vida aquática
Limpo	~2	Bom	80 %	Vida aquática
Relativamente limpo	~3	Bom	80 %	Vida aquática
Duvidoso	~5	Turbidez	50 %	Só os mais resistentes
Podre	~7,5	Turbidez	50 %	Só os mais resistentes
Mau	~10	Mau	Quase nulo	Difícil
Péssimo	~20	Mau	Nulo	Difícil

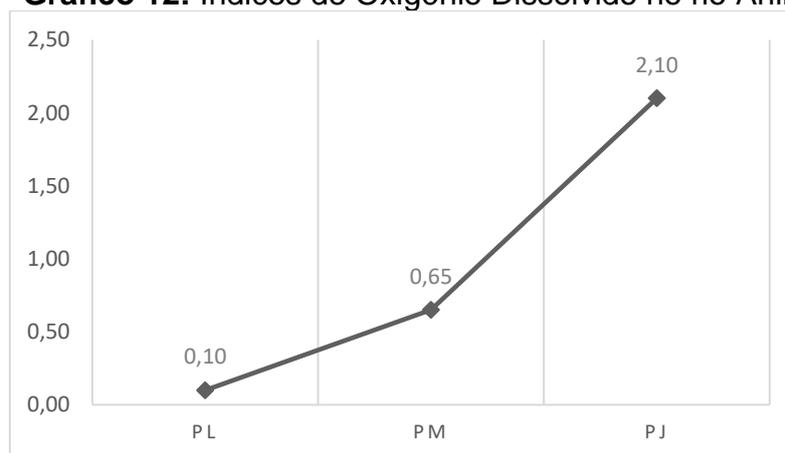
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Em contrapartida, ao comparar os dados do Gráfico 11 com a Tabela 6, no conhecimento de Jordão e Pessoa (2014), as concentrações acima de 20 mg/L de $DBO_{5,20}$ caracterizam a situação do corpo hídrico como péssima, com aspecto estético ruim, o que de fato pode-se comprovar visualmente. Vale destacar que o ponto mais afetado é o ponto à montante com 38,6 mg/L de $DBO_{5,20}$, fato que comprova a existência de uma grande concentração de poluição difusa, devido à proximidade de residências, o que sugere um lançamento clandestino de esgotos in natura no corpo hídrico. Inclusive, quanto mais a jusante menor a carga orgânica presente na água.

A resolução CONAMA 357 (2005) em seu 22º artigo refere-se aos padrões e condições dos corpos hídricos de água salobra classificados como classe 2. Segundo o parágrafo I, item c, dessa mesma resolução do CONAMA, a concentração de oxigênio dissolvido, em qualquer amostra, não deve ser inferior a 4 mg/L O_2 .

Entretanto, de acordo com os resultados obtidos no presente trabalho, todos os valores de oxigênio dissolvido, estiveram abaixo desse valor, apresentando valores insatisfatórios de 0,65 mg/L O_2 no Ponto à montante, 0,1 mg/L O_2 no Ponto de lançamento (PL) – Zona de Mistura (PM), e 2,1 mg/L O_2 no Ponto à jusante (PJ), como pode ser visto no Gráfico 12.

Gráfico 12: Índices de Oxigênio Dissolvido no rio Anil



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

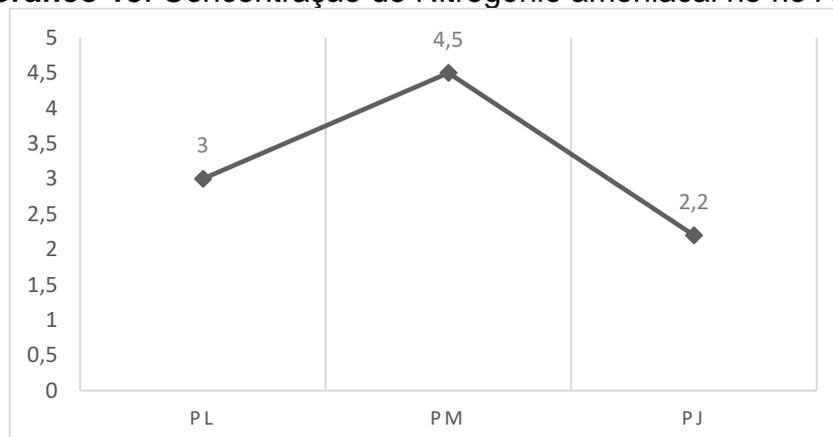
Após análise do Gráfico 12, observa-se que o ponto de lançamento é o que possui o menor índice de oxigênio dissolvido. Contudo, a zona de lançamento é também caracterizada como zona de degradação, possuindo as maiores concentrações de $DBO_{5,20}$, o que impacta diretamente no oxigênio

dissolvido. Quanto mais distante do ponto de lançamento à jusante, melhores são os índices, mas os valores estão muito distantes do valor mínimo de 4 mg/L O₂, confirmando a degradação já existente no Rio Anil.

Como visto anteriormente, a variável nitrogênio amoniacal, em 80% das amostras analisadas do lançamento de efluentes, estava em conformidade com a CONAMA n° 430 (2011), isso pode ser claramente visto no Gráfico 4.

Para a variável nitrogênio amoniacal, a Resolução CONAMA n° 357 (2005), exige que mananciais de água salobra de Classe II tenham uma concentração máxima de 0,70 mg/L N. Observou-se, a partir das análises de água do Rio Anil, que em nenhum ponto a condição satisfatória foi atendida, sendo a menor concentração no ponto à Jusante de 2,2 mg/L N, seguido pelo ponto de lançamento com concentração de 3 mg/L N e por fim, o ponto de maior concentração a montante com 4,5 mg/L N, valor aproximadamente 6,5 vezes maior que o máximo permitido, conforme o Gráfico 13. Essa característica de elevada concentração de nitrogênio no Rio Anil, mostra o estado de degradação que esse corpo hídrico se encontra em relação as contribuições de esgoto in natura que desagua no mesmo.

Gráfico 13: Concentração de Nitrogênio amoniacal no rio Anil

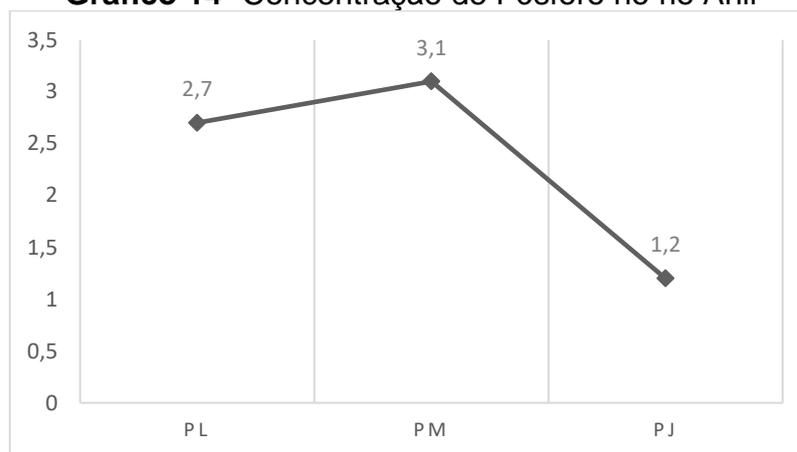


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

As concentrações limites determinados pelo CONAMA n° 357 (2005) para a variável Fósforo em corpos de água de Classe 2 é vinculada às condições de movimentação das águas, e relacionando as características dos pontos de coleta de amostras, pode-se admitir a existência de um ambiente lótico no manancial, logo, o limite adotado seria 0,186 mg/L P.

A exemplo do nutriente anterior, observou-se que a variável fósforo em nenhum ponto obteve valores para que condição máxima permissível fosse alcançada, sendo a menor concentração no ponto a jusante de 1,2 mg/L N, seguido pelo ponto de lançamento com concentração de 2,7 mg/L N e por fim, o ponto de maior concentração a montante com 3,1 mg/L N, valor aproximadamente 16,5 vezes maior que o máximo permissível uma concentração extremamente elevada, conforme o Gráfico 14.

Gráfico 14- Concentração de Fósforo no rio Anil



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Após análise do Gráfico 12, observa-se que o ponto de lançamento é o que possui o menor índice de oxigênio dissolvido. Contudo, a zona de lançamento é também caracterizada como zona de degradação, possuindo as maiores concentrações de $DBO_{5,20}$, o que impacta diretamente no oxigênio dissolvido. Quanto mais distante do ponto de lançamento à jusante, melhores são os índices, mas os valores estão muito distantes do valor mínimo de 4 mg/L O_2 , confirmando a degradação já existente no Rio Anil.

Como visto anteriormente, a variável nitrogênio amoniacal, em 80% das amostras analisadas do lançamento de efluentes, estava em conformidade com a CONAMA n° 430 (2011), isso pode ser claramente visto no Gráfico 4.

Para a variável nitrogênio amoniacal, a Resolução CONAMA n° 357 (2005), exige que mananciais de água salobra de Classe II tenham uma concentração máxima de 0,70 mg/L N. Observou-se, a partir das análises de água do Rio Anil, que em nenhum ponto a condição satisfatória foi atendida, sendo a menor concentração no ponto à Jusante de 2,2 mg/L N, seguido pelo ponto de lançamento com concentração de 3 mg/L N e por fim, o ponto de maior

concentração a montante com 4,5 mg/L N, valor aproximadamente 6,5 vezes maior que o máximo permissível, conforme o Gráfico 13. Essa característica de elevada concentração de nitrogênio no Rio Anil, mostra o estado de degradação que esse corpo hídrico se encontra em relação as contribuições de esgoto in natura que desagua no mesmo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ETE – Vinhais apresentou um funcionamento satisfatório quanto às exigências da CONAMA nº 430(2011) para lançamento de efluentes em relação a temperatura, pH, DBO_{5,20}, nitrogênio amoniacal.

Em relação ao parâmetro de DBO_{5,20}, verificou-se que 100% das amostras encontram-se em conformidade com os parâmetros de lançamento, além de apresentar eficiência média de remoção de aproximadamente 78%.

Já em relação ao nutriente, nitrogênio, a eficiência do tratamento foi reduzida devido ao fato de que o tratamento biológico feito pelos Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente com manta de lodo ativado é pouco eficiente na remoção destes. Porém, com relação ao nitrogênio amoniacal houve uma pequena redução, com eficiência média de 44%, capaz de satisfazer os limites de lançamento estipulados pela CONAMA nº 430(2011).

Em contrapartida, a ETE – Vinhais obteve eficiência abaixo do esperado na remoção de microrganismos patogênicos, mesmo tendo a ozonização como tratamento complementar ao tratamento secundário do RAFA. A eficiência apresentou remoção média de aproximadamente 94% inferior aos 99,99% desejados, provocando um lançamento 7,5 acima do exigido pela CONAMA nº 357/2005.

Após todas as análises dos parâmetros de lançamento definidos pela CONAMA nº 430(2011), em confronto com os parâmetros de qualidade da água definidos pela CONAMA nº 357(2005), mais especificamente os parâmetros de Classe 2 para águas salobras, além das análises das tabelas e gráficos, é

possível afirmar que, apesar do tratamento recebido, o lançamento do efluente no Rio Anil indica alteração no padrão de qualidade da água.

Em relação a esse rio, de modo geral, os resultados das variáveis temperatura e pH, apresentaram conformidade com o padrão estabelecido para cada parâmetro de qualidade em corpos de água de Classe 2.

Com relação a $DBO_{5,20}$, as amostras coletadas apresentaram valores que caracterizaram as condições do rio como péssimas. Sendo o Ponto 2 (montante), o mais afetado, possuindo a maior concentração de $DBO_{5,20}$ 38,6 mg/L, confirmando a presença de uma grande carga difusa de poluição.

Em relação ao parâmetro de OD, ao se analisar os resultados dos Pontos 1, 2 e 3 (lançamento, montante e jusante), verificou-se que nenhuma das amostras encontram-se em conformidade com o padrão de qualidade para Classe 2, sendo o Ponto 1 (lançamento), que constatou os menores índices, tendo em vista que se trata da zona de degradação. Tais condições, DBO e OD , caracterizam uma poluição tipicamente orgânica que afeta diretamente os usos preponderantes, e as condições de vida aquática.

Grande parte das não conformidades que foram registradas nas análises, ocorreram no posicionamento à montante do lançamento, esta constatação confirma a existência de outras fontes de lançamento na bacia.

Portanto, o impacto do efluente tratado no corpo receptor é pouco significativo quando associado às elevadas vazões do Rio Anil, em decorrência do estado de degradação que o mesmo se encontra, associado a elevada carga difusa de poluição a principal responsável pela degradação da bacia do Rio Anil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897**: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.

CAEMA. Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão. **Histórico da CAEMA**. 2011. Disponível em: http://www.caema.ma.gov.br/portalcaema/index.php?option=com_content&view=article&id=677&Itemid=241. Acesso em: 5 set. 2019.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n.º 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de 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, Maranhão. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 15 set. 2018.

CONAMA. 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. Diário Oficial da União, Maranhão. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 22 set. 2018.

GERCOV, I.G; JOLY, M.T. **Estudo da utilização de lodo de Estação de Tratamento de Água para polimento de efluentes de Estação de Tratamento de Esgoto com vistas à sustentabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2011.

GOOGLE EARTH. **Imagem de satélite da área da ETE-Vinhais São Luís-MA**. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 08.set.2019.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **O que é Saneamento?** Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/o-que-e-saneamento>. Acesso em: 04 set. 2019

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014. 1050 p.

LEME, Edson José de Arruda. **Manual prático de tratamento e águas residuárias**. São Carlos: Edufscar, 2010. 595 p.

MARANHÃO. Governo do Estado. **Governador entrega ETE Vinhais, responsável pelo tratamento de 40% dos esgotos da capital**. 2016. Disponível em: < <https://www.ma.gov.br/governador-entrega-ete-vinhais-responsavel-pelo-tratamento-de-40-dos-esgotos-da-capital/>>. Acesso em: 15 set. 2018.

NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Blucher: São Paulo, 2011.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento**. Instituto Trata Brasil. Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento no Brasil. 2017. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/blog/2018/08/29/saneamento-e-desenvolvimento-humano-no-mundo-o-acesso-a-agua-e-esgoto/>>. Acesso em: 12 set. 2018

SNIS. **Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento**. Instituto Trata Brasil. **Ranking do Saneamento 2019**. 2019. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/ranking->

CARVALHO, SANTANA, LISBOA, ROCHA, RANGEL E MULLER, 2020.

2019/Relat%C3%B3rio_-_Ranking_Trata_Brasil_2019_v11_NOVO_1.pdf.
Acesso em: 12 set. 2019.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v.1. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017. 472 p.