

Análise do desempenho de estações de tratamento de esgoto de grande porte em Aracaju

Matheus Carvalho Conceição

Mestre em Engenharia Civil, UFS, Brasil
matheusconceicao76@gmail.com

Luciana Coêlho Mendonça

Professora Doutora, UFS, Brasil
lumendon@gmail.com

Tatiana Máximo Almeida Albuquerque

Professora Doutora, IFS, Brasil
tatianamaximoalmeida@gmail.com

RESUMO

Um dos maiores impactos aos recursos hídricos do País ocorre pela descarga de esgoto bruto nos rios que podem ser minimizados com o tratamento do esgoto. Neste trabalho, avaliou-se o desempenho dos sistemas de tratamento utilizados em quatro Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), que tratam o esgoto sanitário de Aracaju, e o cumprimento quanto a exigências da legislação ambiental vigente para o lançamento de efluentes. Para isto foram avaliados boletins de monitoramento físico-químico e bacteriológico das ETEs durante 1 ano e 3 meses. As ETEs cumpriram de forma quase integral todas as condições previstas na legislação para os parâmetros analisados. A análise dos dados mostrou, de forma geral, uma melhor qualidade do efluente da ETE Orlando Dantas, com eficiências de remoção de poluentes muito próximas das encontradas na literatura. No entanto, as demais estações, ERQ Norte, ERQ Sul e ERQ Oeste, mesmo ao cumprirem a legislação, quase na totalidade do período estudado, alcançaram desempenho aquém do esperado, pelo tipo de tecnologia de tratamento adotada. Com a avaliação dos resultados e das condições de operação e manutenção das estações, concluiu-se a necessidade de alocação de recursos para investimentos em uma maior frequência de análise laboratorial e na operação e manutenção da infraestrutura das ETEs. Além disso, capacitar de forma contínua os profissionais ligados à operação dos sistemas implicará no aumento de desempenho das estruturas de tratamento dos esgotos, com conseqüente melhoria nos índices de qualidade do esgoto tratado, redução da poluição e diminuição de problemas de saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto sanitário. ERQ. ETE.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores impactos aos recursos hídricos do Brasil ocorre pelo despejo de esgotos nos cursos d'água, que, na maior parte das cidades brasileiras, não recebem tratamento adequado antes do seu lançamento. No ano de 2019, apenas 49,1% dos esgotos gerados no País receberam algum tipo de tratamento (SNIS, 2020).

Devido ao crescimento da urbanização e às atividades antrópicas, um número crescente de poluentes é despejado na água, trazendo muitos riscos ao meio ambiente e à saúde humana (LU; YU, 2018).

A poluição da água afeta drasticamente o desenvolvimento do meio ambiente. Ao mesmo tempo, é também um recurso econômico estratégico, vital para a economia de uma nação. Com o rápido aumento da população e o desenvolvimento acelerado da economia em todo o mundo, o consumo global de água aumentou drasticamente e, entretanto, a poluição da água tornou-se cada vez mais séria (YANG et al., 2020).

O tratamento de esgotos surge como solução ao remover os poluentes do esgoto e auxiliar na preservação da saúde pública e do meio ambiente (ZHANG et al., 2010). Quando ocorre o lançamento de esgotos brutos, esses contêm sólidos suspensos, coloides e substâncias solúveis e, se lançados nos corpos hídricos, destroem o ecossistema e causam doenças de veiculação hídrica (KIM et al., 2017).

No processo de remoção dos contaminantes das águas residuais, ocorrem processos físicos, químicos e biológicos para eliminar os poluentes, para finalmente o esgoto tratado ser lançado no corpo hídrico (DERMIBAS et al., 2017).

Por conseguinte, o tratamento de águas residuais é uma preocupação generalizada em todo o mundo, uma vez que o lançamento de esgoto é cada vez maior, o que faz com que muitas estações de tratamento de esgoto operem no limite de sua capacidade, problema comum nos países em desenvolvimento, onde o volume de esgoto tratado é muito baixo (BENVENUTI et al., 2018). Essa realidade está associada a diversos motivos, como a falta de conscientização dos agentes públicos e os altos custos com tratamento de esgoto (FORSTINUS, 2016).

Além desses fatores, o envelhecimento da infraestrutura de esgotamento sanitário ameaça cada vez mais a qualidade da água à medida que aumenta a lacuna entre os investimentos e a deterioração dos sistemas de coleta e tratamento de esgotos (MCLELLAN et al., 2018).

Especificamente no caso das estações de tratamento de esgotos (ETEs), essas possuem a função de fazer com que a concentração de poluentes dos esgotos tratados atinja limites aceitáveis, antes de serem despejados em lagos e rios. Uma questão chave para esses sistemas é a sua eficiência tanto em termos de qualidade da água residual descartada quanto do custo econômico envolvido na operação da planta (BARBU et al., 2017).

OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de monitoramento físico-químico, o desempenho de quatro estações de tratamento de esgoto do município de Aracaju, capital do estado de Sergipe, operadas pela companhia estadual de saneamento.

METODOLOGIA

A capital sergipana dispõe de 1.070,06 km de rede coletora de esgotos que, no ano de 2019, coletaram aproximadamente 21,5 milhões de metros cúbicos de despejos líquidos, conduzindo-os até quatro estações de tratamento, onde foram tratados e lançados em corpos receptores (SNIS, 2020).

O estudo se baseou nos dados referentes ao monitoramento das quatro estações (ERQ Norte, ERQ Sul, ERQ Oeste e ETE Orlando Dantas) que tratam o esgoto sanitário coletado nas redes públicas do município de Aracaju. As três primeiras estações são denominadas de estação de recuperação de qualidade (ERQ).

Os dados foram obtidos junto à companhia estadual de saneamento e trouxeram informações dos seguintes parâmetros físico-químicos e bacteriológicos: DBO, DQO, nitrogênio amoniacal, sulfetos, óleos e graxas, pH, sólidos sedimentáveis e coliformes termotolerantes. Esses valores corresponderam aos parâmetros do afluente e efluente de cada estação, com exceção das concentrações de nitrogênio amoniacal, sulfetos e óleos e graxas, referentes apenas ao efluente. O período de monitoramento das ETEs compreendeu de janeiro de 2017 a março de 2018.

Cabe salientar que, apesar da ERQ Norte estar situada junto à margem esquerda do rio do Sal, no município de Nossa Senhora do Socorro, do qual recebe parte dos seus despejos, seu maior aporte de esgotos provém da capital, além de receber contribuições de caminhões limpa-fossa. Essa estação apresenta um sistema de lagoas de estabilização constituído por sete lagoas facultativas seguidas por seis lagoas de maturação.

As ERQ Sul e ERQ Oeste apresentam suas instalações compostas, de forma sequencial, por gradeamento, caixa de areia e calha Parshall, reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB), valos de oxidação e desinfecção com cloro.

Na ETE Orlando Dantas, seu sistema de tratamento é composto por dois valos de oxidação em formato orbital com dois aeradores mecânicos para cada um, precedidos por gradeamento, caixa de areia e calha Parshall. Depois de passar pelos valos, o esgoto segue até quatro decantadores e posterior desinfecção com cloro.

Diante da análise dos dados de monitoramento das ETEs, foram medidas as eficiências das ETEs para confronto com os valores de desempenho dessas tecnologias de tratamento de esgotos presentes na literatura. Além disso, foi verificado o atendimento à Resolução 430/2011 do CONAMA que dispõe sobre o lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, cujos limites estabelecidos são apresentados na Tabela 1.

pH	Temperatura	Materiais sedimentáveis	DBO	Óleos e graxas	Materiais flutuantes
Entre 5 e 9	< 40°C	≤ 1 mL/L	≤ 120 mg/L*	≤ 100 mg/L	Ausentes

*: Admitida concentração superior a 120 mg/L desde que a eficiência de remoção seja no mínimo 60%.

Fonte: Adaptado de CONAMA, 2011.

Os dados foram organizados no programa Microsoft Office Excel versão 2016 e analisados por meio do software R (Project for Statistical Computing) versão 3.5.0. Para os parâmetros cujas concentrações de entrada e saída eram conhecidas, foram realizados cálculos de eficiência, através dos quais foi obtida a capacidade de remoção de poluentes dos sistemas de tratamento. A normalidade dos dados foi testada ao se aplicar o teste Shapiro-Wilk (RAZALI; WAH, 2011), com nível de confiança de 95%.

Após a aplicação do teste de normalidade, verificou-se a influência de dados fora do padrão na determinação dos resultados. Diante disso, a necessidade de verificação de pontos destoantes do conjunto de dados das amostras (*outliers*) se tornou indispensável.

Realizou-se esta análise pelo método de identificação de *outlier* usando o Teste Tau Modificado de Thompson (CIMBALA, 2011).

O nível de significância adotado foi de 5%. Após a retirada dos *outliers*, foram obtidas médias de remoção mais próximas da realidade, sem influência de valores discrepantes.

Convém salientar a impossibilidade do cálculo de eficiência para os parâmetros cuja disponibilização de dados se referia somente ao esgoto tratado (nitrogênio amoniacal, sulfetos e óleos e graxas). Já em relação à ERQ Sul, não foram disponibilizados dados de nenhum parâmetro de abril e dezembro de 2017, por isso a inexistência de pontos nos gráficos referentes à estação para esses meses.

Além da obtenção dos dados, foram coletadas informações para a pesquisa mediante a realização de visitas técnicas nas quais foi observado o estado de conservação das unidades de tratamento e dos equipamentos nas ETEs e também a forma de controle dos processos de tratamento dos esgotos.

RESULTADOS

Com os dados de monitoramento das estações, tornou-se possível a verificação quanto ao cumprimento da legislação vigente e a comparação de suas eficiências de remoção ao tratar os esgotos brutos.

Os valores médios de eficiência de remoção nas quatro ETEs avaliadas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Eficiência de remoção média nas ETEs de Aracaju

Parâmetro	ETE			
	ERQ Norte	ERQ Sul	ERQ Oeste	ETE Orlando Dantas
DBO (%)	45,2	54,3	73,1	90,4
DQO (%)	31,3	49,3	55,5	81,2
Sólidos sedimentáveis (%)	100,0	85,0	48,1	100,0
Coliformes termotolerantes (%)	60,3	92,4	77,0	96,9

Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

Vale salientar que os parâmetros da Tabela 2 foram avaliados com periodicidade mensal no monitoramento dos padrões de qualidade dos esgotos das ETEs. Para uma caracterização mais próxima do real de águas residuárias, as análises dos parâmetros de DBO, DQO e coliformes termotolerantes deveriam ser realizadas pelo menos semanalmente e, no caso dos sólidos sedimentáveis, pelo menos uma vez ao dia (TARDIVO, 2009), devido à variação na vazão e nas concentrações das cargas poluidoras no decorrer das horas, dias e meses.

Diante dos resultados obtidos na Tabela 2, são percebidas diferenças acentuadas nas eficiências de remoção nas modalidades de tratamento avaliadas. A ERQ Norte, apesar de apresentar concentrações afluentes menores dos parâmetros DBO e DQO em relação à ETE Orlando Dantas, mostrou menor eficiência para esses parâmetros. Uma provável causa a contribuir com esse baixo desempenho da ERQ Norte se deve a despejos de lodo provenientes de caminhões limpa-fossa diretamente nas lagoas facultativas, sem antes passar por um tratamento preliminar, com consequente assoreamento das lagoas, aumento da carga orgânica e efetiva diminuição do desempenho do sistema. O lançamento desses caminhões ocorre na primeira lagoa facultativa, ou seja, a jusante do ponto de amostragem do esgoto bruto da ERQ Norte, pois a coleta da amostra do afluente ocorre antes do gradeamento.

A construção de um tanque de equalização, interligado ao sistema de lagoas, para homogeneização do lodo lançado pelos caminhões limpa-fossa e posterior condução para o tratamento preliminar, seria uma forma de avaliar o real desempenho da ERQ Norte.

A ERQ Sul e a ERQ Oeste, dotadas de UASBs seguidos de valos de oxidação, apresentaram eficiências abaixo do esperado, principalmente relacionadas à DBO e DQO, se comparadas apenas aos valores de desempenho dos valos de oxidação presentes na literatura que seriam superiores a 90% (LI et al., 2014; LUO et al., 2020).

Pelo fato dessas duas estações terem passado por ampliações nos últimos anos, não tendo atingido o número de ligações da rede, uma possível justificativa para o baixo desempenho se deve ao seu funcionamento sob subcargas hidráulicas, com valores de matéria orgânica no esgoto bruto abaixo do especificado em projeto.

Outra hipótese seria a ineficiência do tratamento preliminar, ao propiciar o carregamento de sedimentos para os dispositivos de tratamento secundário. O acúmulo de areia e sólidos grosseiros e flutuantes causa obstrução e distribuição irregular nos ramais do UASB e consequente surgimento de caminhos preferenciais e zonas mortas. Tanto na ERQ Norte, quanto na ERQ Sul, a bomba parafuso, parte constituinte do sistema de tratamento preliminar das duas estações e responsável pela remoção da areia concentrada no fundo do desarenador, encontrava-se inoperante.

Das quatro estações analisadas, a ETE Orlando Dantas obteve as melhores eficiências de remoção e mais próximas das encontradas na literatura.

Chaves et al. (2018) também avaliaram a eficiência de estações de tratamento de Aracaju, dentre as quais, as ERQ Norte, ERQ Sul, ERQ Oeste e ETE Orlando Dantas. Pelas medidas dos parâmetros no afluente e no efluente das estações advindas dos dados de monitoramento das ETEs, cujo período de abrangência variou de janeiro de 2013 a dezembro de 2014, foi possível a análise comparativa do desempenho dos sistemas ao longo dos anos.

Comparando-se os valores apresentados na Tabela 2 com os obtidos por Chaves et al. (2018), observou-se um aumento significativo de 67,6% na remoção de DBO na ERQ Norte, ao variar seu desempenho de 27% para 45,2%. Entretanto a eficiência continuou ainda baixa, pois, em sistemas de lagoas de estabilização bem operados, o desempenho de remoção de DBO varia em torno de 80 a 95% (BANSAH; SUGLO, 2016; OBERLIN, 2018; SUNARSIH et al., 2020; ALVES et al., 2021).

De forma diferente do observado na ERQ Norte, as ERQ Sul e ERQ Oeste apresentaram pouca oscilação nas taxas de remoção de DBO, em comparação aos valores obtidos por Chaves et al. (2018). Na ERQ Sul, a alteração foi de 53% para 54,3% e na ERQ Oeste, de 77% para 73,1%.

Tanto a ERQ Sul quanto a ERQ Oeste não alcançaram valores mínimos de eficiência para o parâmetro DBO em valos de oxidação utilizados de forma isolada, mesmo estas estações sendo compostas de valos de oxidação precedidos de UASB. Silva et al. (2018), ao analisarem, durante treze meses, a eficiência de uma ETE composta por reator UASB seguido de flotor por ar dissolvido, obtiveram uma eficiência média na remoção de DBO de 71,5% apenas no digestor anaeróbio.

Na ERQ Sul, além de uma possível condição de subcarga hidráulica do sistema, interrupções verificadas, causadas por falhas no funcionamento dos aeradores dos valos de oxidação, interferem no desenvolvimento das bactérias aeróbias, responsáveis pela degradação da matéria orgânica e conseqüente redução da concentração de DBO.

Mesmo com concentração afluente de DBO maior, comparada às concentrações da ERQ Sul e da ERQ Oeste, a ETE Orlando Dantas conseguiu ser mais eficiente ao utilizar apenas valos de oxidação como forma de tratar os esgotos, enquanto as outras duas estações dispõem de sistema de UASBs seguidos de valos de oxidação.

Comparando com o período estudado por Chaves et al. (2018), na ETE Orlando Dantas, verificou-se um aumento de 13% na taxa de remoção de DBO, ao variar sua eficiência de 80% para 90,4%. Esse desempenho se mostra compatível aos valores médios de 92% a 95% dos valos de oxidação na remoção de DBO (LI et al., 2014; LUO et al., 2020).

Isto posto, torna-se evidente a importância do nível de operação, condições de manutenção e aspectos hidráulicos das instalações observados na ETE Orlando Dantas, para obtenção de sua elevada eficiência, visto que das ETEs avaliadas, a estação do Orlando Dantas apresentou melhor manutenção do sistema de tratamento.

No tocante à DQO, após os cálculos das eficiências, obteve-se, para a ERQ Norte, a eficiência em relação ao período observado de 31,3%, com destaque para o mês de janeiro de 2017, onde o valor de DQO passou de 180 mg/L no esgoto bruto, para 276 mg/L no efluente tratado. Uma descarga pontual de despejos de caminhões-fossa próxima ao momento de coleta das amostras dos esgotos pode ter ocasionado tal fato.

Um sistema de tratamento, semelhante ao da ERQ Norte, composto de quatro lagoas de estabilização, ao tratar águas residuais obteve uma eficiência de remoção de DQO variável entre 86,2 e 90,5% (K'OREJE et al., 2018).

Para a ERQ Sul, apenas em fevereiro de 2017, houve um acréscimo de 25% no valor da DQO do esgoto tratado em relação ao esgoto bruto. Na média, a eficiência de remoção foi de 49,3% para o período de observação. Na ERQ Oeste, em todos os meses observados, houve remoção de DQO em relação ao esgoto bruto. Em dezembro de 2017, verificou-se a menor eficiência para o sistema, correspondente a 16%. Já a maior eficiência ocorreu em abril do mesmo ano, com o valor de 94,6%. Durante o período observado, essa estação atingiu uma eficiência média de 55,5%.

Na avaliação de uma estação de tratamento de esgotos domésticos composta por dois reatores UASB, desprovidas de pós-tratamento, diferentemente das ERQ Sul e ERQ Oeste, as taxas de remoção de DQO nos reatores variaram entre 55 e 75% (ROSS et al., 2018).

E, por fim, na estação do Orlando Dantas, obteve-se uma eficiência média de remoção de DQO de 81,2%. Isso mostrou a eficiência do sistema de tratamento quanto à degradação e remoção da matéria orgânica do esgoto. Apesar dessa estação ter apresentado uma remoção bastante alta, em abril de 2017, houve elevação na DQO do esgoto tratado em relação ao bruto de aproximadamente 45,8%.

Das quatro estações avaliadas, no tocante à remoção de matéria orgânica, apenas a ETE Orlando Dantas apresentou resultados satisfatórios. As demais, mesmo não ultrapassando o limite estipulado pela legislação, de 120 mg/L de DBO para o esgoto tratado, na maior parte do período avaliado, ficou aquém do especificado na literatura. Melhores condições de operação e bom funcionamento dos equipamentos eletromecânicos resultariam em ganho considerável no desempenho desses sistemas, quanto à degradação de matéria carbonácea.

Para o parâmetro coliformes termotolerantes, ao se comparar com os dados deste trabalho com os da pesquisa de Chaves et al. (2018), verificou-se uma significativa oscilação negativa no desempenho da ERQ Norte, ao diminuir sua eficiência de remoção de 90% para 60,3%. O assoreamento gradual das lagoas, notadamente nas de maturação, implica nessa baixa eficiência de remoção, pois em boas condições de funcionamento, a remoção de coliformes termotolerantes para este tipo de tratamento aproxima-se dos 99,999% (BANSAH; SUGLO, 2016; LEITE et al., 2017; MENDONÇA; MENDONÇA, 2018; OBERLIN, 2018).

Para se aumentar a eficácia da remoção de patógenos nas lagoas de maturação, algumas medidas podem ser tomadas, dentre as quais, a instalação de defletores, por proporcionar o aumento do tempo de detenção, proporções adequadas nas dimensões da lagoa, boas condições de manutenção (acúmulo de lodo) e tratamento a montante (SHELUDCHENKO et al., 2016).

Na ERQ Oeste, em relação ao parâmetro coliformes termotolerantes, observou-se oscilação de 87% para 77%. Questões relacionadas a um tratamento preliminar ineficiente, similares às encontradas na ERQ Norte e ERQ Sul, comprometem a eficiência de remoção do sistema de tratamento da ERQ Oeste, além disso, acerca da etapa de desinfecção, a concentração do desinfetante, no caso o cloro, o tempo de contato com a água residuária, seu grau de dispersão no esgoto e suas características físico-químicas podem impactar negativamente no índice de remoção dos patógenos.

Vale destacar que o lançamento nos corpos hídricos de esgotos tratados, mas sem desinfecção apropriada, contribui com quantidade significativa de organismos do chamado grupo coliforme, entre os quais agentes específicos de doenças de veiculação hídrica (RIBAS; FORTES NETO, 2008).

Já na ERQ Sul, ocorreu um incremento de eficiência correspondente a 4,8%, ao variar de 88% para 92,4%. Na ETE Orlando Dantas, o desempenho manteve-se praticamente o mesmo ao passar de 95% para 96,9%.

Quanto aos sólidos sedimentáveis, a ERQ Norte e a ERQ Sul, em todo o período analisado, permaneceram dentro do limite estipulado pela resolução. Suas remoções médias foram respectivamente, 100 e 85%. Obteve-se uma média dos sólidos sedimentáveis no afluente para a ERQ Norte correspondente a 0,71 mL/L. Já para a ERQ Sul, o valor médio dos sólidos sedimentáveis foi de 1,41 mL/L.

A ERQ Oeste apresentou eficiência média na remoção dos sólidos sedimentáveis de apenas 48,1%. Nos meses de janeiro e fevereiro de 2018, a estação não atendeu à Resolução 430 do CONAMA, pois os valores de sólidos sedimentáveis no efluente foram de 4,0 e 3,5 mL/L, respectivamente, ultrapassando o limite máximo permitido.

Nesses meses, não houve remoção e sim aumento no que se refere aos sólidos sedimentáveis no efluente tratado. Mesmo ao atender à legislação na maior parte do período analisado e tratando esgoto bruto com média de sólidos sedimentáveis igual a 1,43 mL/L, considerada de baixa concentração (METCALF; EDDY, 2015), observou-se baixo desempenho na ERQ Oeste na remoção desse parâmetro.

Uma possível separação insuficiente entre a fração líquida do esgoto e os sólidos durante a etapa de decantação, aliada ao desligamento irregular dos aeradores pode justificar esta baixa eficiência e ocasionar a perda de sólidos no esgoto tratado.

E, por último, na estação do Orlando Dantas, houve remoção eficiente dos sólidos sedimentáveis, com 100% de remoção ao longo do período avaliado.

No que se refere ao nitrogênio amoniacal, foram verificadas concentrações médias de 23,7 mg/L; 30,4 mg/L; 32,0 mg/L e 12,0 mg/L no efluente das estações ERQ Norte, ERQ Sul, ERQ Oeste e ETE Orlando Dantas, respectivamente. Na ERQ Norte, a maior concentração de nitrogênio amoniacal no efluente foi verificada em novembro de 2017, correspondente a 52,0 mg/L.

Por meio de análise de dados, Chaves et al. (2018) observaram eficiência média na remoção de nitrogênio amoniacal de 25% na ERQ Norte.

Apesar das lagoas facultativas não apresentarem expressiva eficiência na remoção de nutrientes, quando associadas às de maturação, deveriam apresentar concentrações de nitrogênio amoniacal no esgoto tratado inferiores às verificadas na ERQ Norte. Em um sistema composto por lagoas anaeróbias, facultativas e maturação, analisado por Fujioka et al. (2020), foi obtida uma eficiência global de remoção de nitrogênio amoniacal de 43%.

Em oitenta e nove lagoas facultativas avaliadas isoladamente, Espinosa et al. (2017) verificaram um desempenho médio de remoção de nitrogênio amoniacal igual a 57% e uma concentração média no efluente de 13 mg/L.

Melhores desempenhos foram obtidos por Bastos et al. (2018), em estudo realizado com quatro lagoas de maturação em série, que apresentaram isoladamente desempenho de 40,6%;

39%; 49,4% e 53%. A eficiência das quatro lagoas na remoção de nitrogênio amoniacal foi de 91,4%.

Fatores como a redução da profundidade decorrente do assoreamento, turbidez e condições de mistura, principalmente das lagoas de maturação podem ter efeito negativo no desempenho de remoção deste parâmetro.

A menor e a maior concentração de nitrogênio amoniacal verificadas na ERQ Sul foram 17,1mg/L e 40,7 mg/L, respectivamente, em maio e novembro de 2017.

As concentrações de nitrogênio amoniacal no esgoto tratado pela ERQ Oeste se mostraram sempre superiores a 22 mg/L, com exceção apenas em abril de 2017, quando o valor foi de 14,3 mg/L. Essa menor concentração obtida pode ter como causa provável a coleta da amostra para análise após elevada precipitação com consequente diluição da amostra. Lopes (2015), ao caracterizar esgotos domésticos em ETEs, localizadas no Oeste do estado Paraná, observou a influência da elevada precipitação durante o período de amostragem, na diminuição da concentração de nitrogênio amoniacal das amostras coletadas.

Quanto aos valores de nitrogênio, fica evidente a necessidade de etapas de tratamento subsequentes, pois o excesso de nitrogênio amoniacal reduz a concentração de oxigênio dissolvido e do pH no corpo hídrico e ainda pode causar sua eutrofização.

Das quatro estações avaliadas, a ETE Orlando Dantas atingiu a menor média de concentração de nitrogênio amoniacal no efluente. Somente em agosto, outubro e novembro de 2017 e março de 2018, as concentrações ultrapassaram o valor de 20,0 mg/L. Na média, a concentração de nitrogênio amoniacal foi de 12,0 mg/L.

Em relação ao pH, o esgoto bruto e o efluente das quatro estações apresentaram pH com valores próximos à neutralidade e, por estarem próximos da faixa de pH entre 6 e 9, favoreceram a existência de maior diversidade biológica e, conseqüentemente, melhores condições para o tratamento biológico (METCALF; EDDY, 2015). Constatou-se o atendimento pelas estações ao critério estabelecido (entre 5 e 9) pela Resolução 430 do CONAMA, nas quatro ETEs observadas, em todas as medições verificadas.

Na ERQ Norte, o pH do esgoto bruto variou de 6,9 a 8,1. Estes valores foram semelhantes aos obtidos por Smyth et al. (2018) e Campos et al. (2016), quando avaliaram a eficiência de lagoas facultativas no tratamento de esgotos domésticos. Em relação à ERQ Sul, também houve leve alcalinização do esgoto.

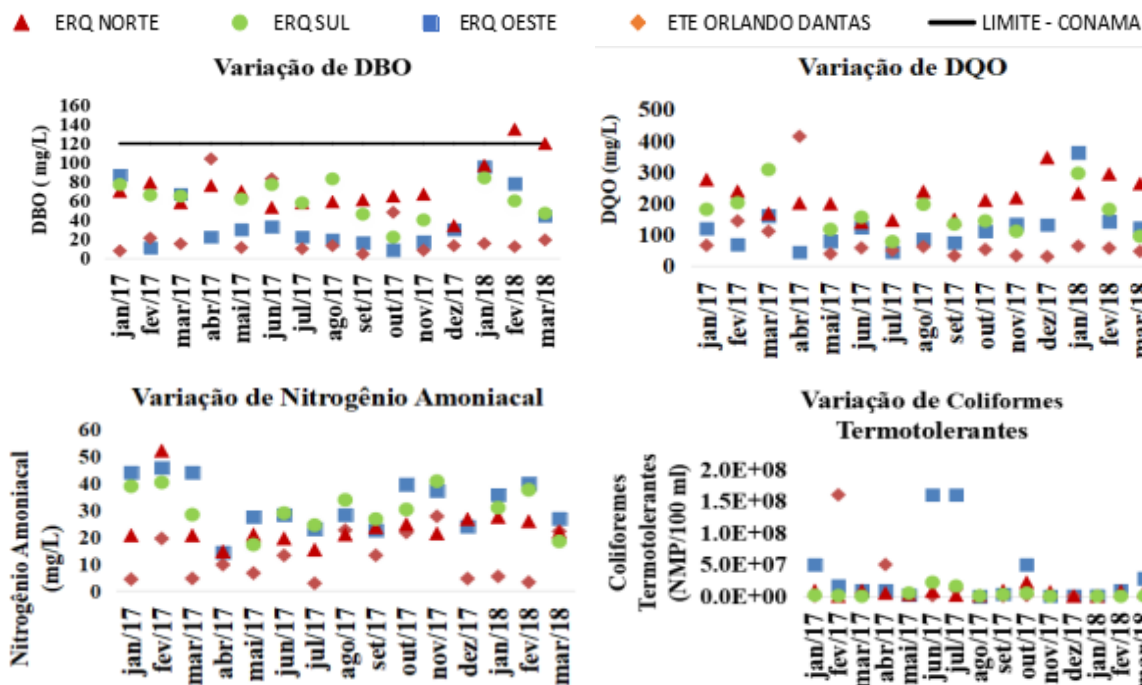
A variação de pH do esgoto bruto na ERQ Sul manteve-se próxima da faixa ótima de pH, de 6,6 a 7,4. Os valores de pH do esgoto tratado da ERQ Sul ficaram próximos aos obtidos por Rocha et al. (2017) e Ross et al. (2018), ao fazerem uso de reatores UASB no tratamento de esgotos domésticos.

Diferentemente das ERQ Norte e ERQ Sul, na ERQ Oeste ocorreu uma pequena redução do pH do esgoto. Antes do tratamento, o pH do esgoto variou de 7,2 a 8,3 e após ser tratado apresentou variação de 7 a 7,8.

Nas análises de pH na ETE Orlando Dantas, foi verificada uma variação valor do pH de no afluente de 7,2 a 8,1 e no efluente variou de 7,1 a 8,1, mantendo-se levemente alcalino.

A Figura 1 apresenta a variação de parâmetros (DBO, DQO, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes) analisados no efluente das ETEs.

Figura 1. Parâmetros analisados no efluente da ETEs



Fonte: Elaborada pelos autores, 2022.

A respeito de óleos e graxas, em nenhuma estação, o esgoto tratado ultrapassou o limite de 100 mg/L, estabelecido pela Resolução 430 do CONAMA. Foram obtidas médias bem mais abaixo do estabelecido pela legislação, das quais: 2,5 mg/L para a estação ERQ Norte; 2,9 mg/L para a ERQ Sul; 2,8 mg/L para a ERQ Oeste; e 2,6 mg/L para a estação do Orlando Dantas. Uma forma de contribuir na redução do aporte de substâncias gordurosas na rede de coleta pública de esgotos e sua conseqüente chegada até as ETEs é a adoção, nos sistemas prediais de esgotos sanitários de edificações unifamiliares ou multifamiliares, de dispositivos retentores de óleos e graxas, denominados caixas de gordura. Estas, quando construídas de acordo com projetos adequados, aliadas a periódicas manutenções e retirada dos resíduos de gordura, têm sua eficiência aumentada sobremaneira.

No caso dos sulfetos, foram encontrados valores de concentração no esgoto tratado de 1,6 mg/L para a ERQ Norte, 1,5 mg/L para a ERQ Sul, 2,7 mg/L para a ERQ Oeste e 0 mg/L para a ETE Orlando Dantas. Apesar da legislação brasileira não determinar limites para os valores de concentração de sulfetos, sua presença, na forma predominante de H₂S (gás odorante), quando da acidificação do esgoto, implica na ocorrência de queixas da comunidade residente no entorno das estações de tratamento de águas residuais motivadas pela emissão de odores produzidos na geração do sulfeto de hidrogênio (GOSTELOW et al., 2001; JIANG et al., 2013).

No que diz respeito às exigências da Resolução 430 do CONAMA, as ERQ Sul, ERQ Oeste e ETE Orlando Dantas cumpriram de forma integral todas as condições para os parâmetros analisados. Apenas a ERQ Norte descumpriu a legislação, ao ultrapassar uma única vez o limite

tolerado de 120 mg/L de DBO no efluente e não apresentar eficiência mínima de 60% de remoção.

CONCLUSÃO

Em relação às exigências da Resolução 430 do CONAMA, as ETEs cumpriram de forma quase integral todas as condições para os parâmetros analisados. Apenas a ERQ Norte não cumpriu a legislação, uma única vez, em relação ao parâmetro de DBO.

Referente às eficiências de remoção de outros poluentes, observou-se que, com exceção da ETE Orlando Dantas, as três outras estações analisadas, apresentaram para os parâmetros de DBO, sólidos sedimentáveis e coliformes termotolerantes valores abaixo do esperado, para o tipo de tratamento adotado.

Na ERQ Norte, foi verificada a menor eficiência na remoção de DBO correspondente a 45,2%, e na ERQ Oeste, a menor eficiência de sólidos sedimentáveis igual a 48,1%.

Em face do exposto, pode-se concluir a necessidade de alocação de recursos para investimentos em uma maior frequência de análise laboratorial e na operação e manutenção da infraestrutura das ETEs. Ações de intervenção para remoção do lodo acumulado nas lagoas da ERQ Norte propiciarão melhorias no seu desempenho operacional. Da mesma forma, é preponderante o retorno do pleno funcionamento do tratamento preliminar, através do gradeamento, de forma a evitar a entrada de sólidos grosseiros e flutuantes nas etapas seguintes de tratamento.

Capacitar de forma contínua os profissionais ligados à operação dos sistemas implicará no aumento de desempenho das estruturas de tratamento dos esgotos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. S., SILVA, F. J. A., ARAÚJO, A. L. C., PEREIRA, E. L. Performance evaluation and coefficients of reliability for waste stabilization ponds in northeast Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, 2021.

BANSAH, K. J., SUGLO, R. S. Sewage treatment by waste stabilization pond systems. **Journal of Energy and Natural Resource Management (JENRM)**, v.3, n.1, 2016.

BARBU, M., VILANOVA, R., MENESES, M., SANTIN, I. On the evaluation of the global impact of control strategies applied to wastewater treatment plants. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 396-405, 2017.

BASTOS, R. K. X., RIOS, E. N., SÁNCHEZ, I. A. Further contributions to the understanding of nitrogen removal in waste stabilization ponds. **Water Science and Technology**, v. 77, n. 11, p. 2635-2641, 2018.

BENVENUTI, T., HAMERSKI, F., GIACOBBO, A., BERNARDES, A. M., ZOPAS-FERREIRA, J., RODRIGUES, M. A. Constructed floating wetland for the treatment of domestic sewage: a real-scale study. **Journal of environmental chemical engineering**, v. 6, n. 5, p. 5706-5711, 2018.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União. República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011.

CAMPOS, A. T., SOUZA, C. V., SOUZA, F. A., SILVA, E. Tratamento de dejetos líquidos de suínos por meio de lagoas de estabilização visando uso agrícola. **Engenharia Ambiental**, v. 13, p. 107-120, 2016.

CHAVES, V. S., SCHNEIDER, E. H. M., LIMA, A. S. P., MENDONÇA, L. C. Desempenho das estações de tratamento do esgoto de Aracaju. **Revista DAE**, v. 66, p. 51-58, 2017.

CIMBALA, J. M. **Outliers**. Penn State - A Public Research University, Department of Mechanical and Nuclear Engineering, 84p, 2011.

DERMIBAS, A., EDRIS, G., ALALAYAH, W. M. Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 39, n. 10, p. 999-1006, 2017.

ESPINOSA, M. F., VON SPERLING, M., VERBYLA, M. E. Performance evaluation of 388 full-scale waste stabilization pond systems with seven different configurations. **Water Science and Technology**, v. 75, n. 4, p. 916-927, 2017.

FORSTINUS, N. O., IKECHUKWU, N. E., EMENIKE, M. P., CHRISTIANA, A. O. Water and waterborne diseases: A review. **International Journal of Tropical Diseases and Health**, v. 12, n. 4, p. 1-14, 2016.

FUJIOKA, A. M. A., CARVALHO, E. H., CARILHO, S. M. A. V., BITTAR, K. H., PFEIFFER, S. C. Avaliação da eficiência da remoção de nitrogênio e fósforo em lagoas de estabilização no tratamento de lixiviado e esgoto sanitário. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 12049-12058, 2020.

GOSTELOW, P., PARSONS, S. A., STUETZ, R. M. Odour measurements for sewage treatment works. **Water research**, v. 35, n. 3, p. 579-597, 2001.

HONGWEI, L. U., SEN, Y. U. Spatio-temporal variational characteristics analysis of heavy metals pollution in water of the typical northern rivers, China. **Journal of Hydrology**, v. 559, p. 787-793, 2018.

JIANG, G., KEATING, A., CORRIE, S., O'HALLORAN, K., NGUYEN, L., YUAN, Z. Dosing free nitrous acid for sulfide control in sewers: results of field trials in Australia. **Water research**, v. 47, n. 13, p. 4331-4339, 2013.

KIM, H. J., YOU, J. Y., PARK, C. J. Review of sewage and sewage sludge treatment in Korea. **Int. Proc. Chem. Biol. Environ. Eng**, v. 101, p. 67-73, 2017.

K'OREJE, K. O., KANDIE, F. J., VERGEYNST, L., ABIRA, M. A., VAN LANGENHOVE, H., OKOTH, M., DEMEESTERE, K. Occurrence, fate and removal of pharmaceuticals, personal care products and pesticides in wastewater stabilization ponds and receiving rivers in the Nzoia Basin, Kenya. **Science of the Total Environment**, v. 637, p. 336-348, 2018.

LEITE, V. D., OLIVEIRA, A. G., CAMPOS, A. R. C., SOUSA, J. T., LOPES, W. S., OLIVEIRA, E. G. Tratamento conjugado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico em lagoas de estabilização. **Revista DAE**, v. 65, n. 207, p. 77-93, 2017.

LI, J., CAI, A., WANG, M., DING, L., NI, Y. Aerobic granulation in a modified oxidation ditch with an adjustable volume intracclarifier. **Bioresource technology**, v. 157, p. 351-354, 2014.

LOPES, T. R. **Caracterização do esgoto sanitário e lodo proveniente de reator anaeróbio e de lagoas de estabilização para avaliação da eficiência na remoção de contaminantes**, Dissertação de mestrado. Medianeira (PR): Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira. 122 pp, 2015.

LUO, Y., YAO, J., WANG, X., ZHENG, M., GUO, D., CHEN, Y. Efficient municipal wastewater treatment by oxidation ditch process at low temperature: Bacterial community structure in activated sludge. **Science of The Total Environment**, v. 703, p. 135031, 2020.

MCLELLAN, S. L., SAUER, E. P., CORSI, S. R., BOOTSMA, M. J., BOEHM, A. B., SPENCER, S. K., BORCHARDT, M. A. Sewage loading and microbial risk in urban waters of the Great Lakes. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 6, 2018.

MENDONÇA, L. C., MENDONÇA, S. R. **Sistemas sustentáveis de esgotos: orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reúso na agricultura**. São Paulo: Blucher; 348 pp, 2018.

METCALF, L., EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Porto Alegre: McGraw Hill Brasil; 1980 pp, 2015.

OBERLIN, A. S. Performance Evaluation of Waste Stabilization Ponds in Mwanza City, Tanzania. **Performance Evaluation**, v.8, n. 4, 2018.

RAZALI, N. M., WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of statistical modeling and analytics**, v. 2, n.1, p. 21-33, 2011.

RIBAS, T. B. C., FORTES NETO, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 3, 2008.

ROCHA, J. M., FALEIRO, G. G. V., MAGALHÃES, J. S. F., PEREIRA, J. O. Avaliação da retenção de sólidos em inovadora configuração de reator UASB tratando esgoto doméstico. **Revista DAE**, 2017.

ROSS, B. Z. L., GUERRA, A. C. S., PAULA, A. C., FUGANTI, M. F., COSTA, F. J. O. G. Proposta de recuperação de reator anaeróbio tipo UASB tratando esgotos domésticos—Estudo de caso/Proposal of recovery of anaerobic reactor type UASB treating domestic sewage—Case study. **Brazilian Journal of Technology**, v. 1, n. 1, p. 35-48, 2018.

SHELUDCHENKO, M., PADOVAN, A., KATOULI, M., STRATTON, H. Removal of fecal indicators, pathogenic bacteria, Adenovirus, Cryptosporidium and Giardia (oo) cysts in waste stabilization ponds in Northern and Eastern Australia. **International journal of environmental research and public health**, v. 13, n. 1, p. 96, 2016.

SILVA, E. M., SILVA, G. G., QUEIROZ, S. C. B., OLIVEIRA JUNIOR, K. C., PASCHOALATO, C. F. P. R., MARTINS, F. M. S., OLIVEIRA, L. R. A., PEDROZA, M. M. Eficiência de uma estação de tratamento de esgotos composta por reator anaeróbio tipo UASB, seguido de um flotador por ar dissolvido. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica**, v. 11, n. 2, p. 220-237, 2018.

SMYTH, K., VENDRAMELLI, R., DANKEWICH, D., YUAN, Q. Seasonal variations in cold climate nutrient removal: A comparison of facultative and aerated lagoons. **Journal of environmental management**, v. 214, p. 224-231, 2018.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2019**. Brasília, 183 pp, 2020.

SUNARSIH, S., SASONGKO, D. P., SUTRISNO, S., PUTRI, G. A., HADIYANTO, H. Analysis of wastewater facultative pond using advection-diffusion model based on explicit finite difference method. **Environmental Engineering Research**, v. 26, n. 3, p. 190496, 2020.

TARDIVO, M. **Considerações sobre o monitoramento e controle dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de estações de tratamento de esgotos e proposta para sistema integrado de gestão com enfoque ambiental, controle de qualidade, segurança e saúde**, Tese de doutorado. São Carlos (SP): Universidade de São Paulo. 119 pp, 2009.

YANG, J., LIU, X., YING, L., CHEN, X., LI, M. Correlation analysis of environmental treatment, sewage treatment and water supply efficiency in China. **Science of the Total Environment**, v. 708, p. 135128, 2020.

ZHANG, L. Y., ZHANG, L., LIU, Y.D., SHEN, Y. W., LIU, H., XIONG, Y. Effect of limited artificial aeration on constructed wetland treatment of domestic wastewater. **Desalination**, v. 250, n. 3, p. 915-920, 2010.