FOTOOZONIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO: UM ESTUDO DE CASO

Ioni BAZZI[1], Jean VARGAS[1], Fernanda PELENTIER[1], Ticiane Sauer POKRYWIECKI[2]

[1]Departamento Acadêmico de Engenharias
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Francisco Beltrão
Francisco Beltrão – Paraná - Brasil

[2] Departamento de Engenharias
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Francisco Beltrão
Francisco Beltrão – Paraná - Brasil

E-mails: ioni@alunos.utfpr.edu.br, jeanvargasutfpr@gmail.com, pelentier@alunos.utfpr.edu.br, ticiane@utfpr.edu.br

Resumo: *Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) têm mostrado grande eficiência quando comparados aos tratamentos convencionais, que se baseiam na remoção de poluentes. Se destacam pois tem, entre outros atrativos, a degradação total ou parcial dos poluentes e a não geração de lodo. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia do uso da fotoozonização no tratamento de esgoto sanitário. Para iniciar o tratamento foi realizada a caracterização do esgoto bruto e para avaliar a eficiência do processo de tratamento foram realizadas análises comparativas de pH, turbidez e DQO antes e após o tratamento. Para a realização da fotoozonização foi utilizado um reator em batelada de 2 litros de capacidade, acoplado a um ozonizador e luz UV com tempo de reação de 1 hora. Após o tratamento, foi possível observar que o valor de pH se manteve próximo a neutralidade e uma redução satisfatória de turbidez e DQO, comprovando que a fotoozonização é um processo de tratamento alternativo para o esgoto sanitário.*

Palavras-chave: *Tratamento de efluente; Esgoto Sanitário; Processos Oxidativos Avançados; Fotoozonização.*

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a expansão das atividades antrópicas causam significativo impacto nos recursos naturais, junto ao aumento da demanda destes, há também aumento na quantidade de resíduos gerados (LOPES, 2015). A Constituição Federal (1988) junto ao Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB, 2019), assegura aos brasileiros o direito à saúde e saneamento, que abrange serviços de coleta, transporte e tratamento dos efluentes líquidos domésticos, ou esgoto sanitário.

Esgoto é, essencialmente, a água de abastecimento de uma comunidade após o seu uso em uma variedade de aplicações (METCALF; EDDY, 2016). A Norma Brasileira, NBR 9648/1986, define o esgoto sanitário como sendo o despejo líquido constituído de esgoto doméstico, o qual é resultante do uso da água para fins de higiene e necessidades fisiológicas humanas (ABNT, 1986); comercial e águas de precipitações pluviométricas que conseguem adentrar à rede pública de coleta (SPERLING, 2005).

Quando esgoto bruto é acumulado e se torna séptico, a decomposição do material orgânico nele contido leva a condições desagradáveis como maus odores, além disso, esgotos brutos contêm diversos organismos patogênicos que se desenvolvem no intestino humano (METCALF; EDDY, 2016). Devido à grande diversidade de usuários, as características qualitativas e quantitativas dos esgotos sanitários sofrem frequentes variações de carga orgânica, entretanto, quando não há despejos de origem industrial, sua composição média é razoavelmente constante com apenas 0,1% de impurezas de natureza orgânica e inorgânica (SPERLING, 2005).

Na estação de tratamento de esgoto (ETE), normalmente não se determina os diversos compostos dos quais a água residuária é constituída, tendo em vista a complexidade das análises laboratoriais e seus subsídios (SPERLING, 1996). Sendo assim, são utilizados parâmetros indiretos que traduzem o caráter potencial poluidor do efluente. Esses parâmetros podem ser físicos, químicos ou biológicos (METCALF; EDDY, 2016) e são indicadores de eficiência nos processos de tratamento.

Os métodos de tratamento são processos unitários físicos, químicos ou biológicos e comumente são utilizados em combinações (METCALF; EDDY, 2016). Os processos físico-químicos são bastante discutíveis, devido ao fato de os mesmos causarem mudança de fase dos compostos e não eliminá-los (FREIRE *et al*., 2000). Então, tendo em vista a necessidade de procedimentos que apresentem maior eficiência, destacam-se os processos oxidativos avançados (POAs). Esses, consistem na utilização de espécies altamente oxidantes para promover a degradação total ou parcial do poluente (BRITO; SILVA, 2012).

O presente trabalho avaliou a aplicabilidade de ozônio junto a radiação ultravioleta, no processo oxidativo avançado para o tratamento do esgoto sanitário bruto, analisando sua eficácia e interferência nos parâmetros indicadores DQO, turbidez e pH.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O esgoto sanitário está diretamente relacionado ao consumo de água, portanto pode sofrer alterações relacionadas à disponibilidade hídrica, assim como fatores de tempo e temperatura afetam seus fluxos e concentrações dos parâmetros (LOPES, 2015).

A análise dos parâmetros de uma amostra de esgoto é denominada caracterização e é utilizada para determinar o tratamento necessário, bem como a eficiência dos sistemas e dos métodos (METCALF; EDDY, 2003). Os parâmetros relativos à esgotos domésticos que merecem destaque face à sua importância são: sólidos, indicadores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal (SPERLING, 1996).

O grau de tratamento requerido nos processos de tratamento de águas residuárias está relacionado às características da mesma, que depende de aspectos do afluente, qualidade requerida do efluente, área física disponível e custos associados (POLEZI, 2003).

Métodos de tratamento físicos envolvem remoção de compostos específicos do esgoto em superfícies sólidas usando as forças de atração entre corpos (METCALF; EDDY, 2016). Enquanto nos métodos químicos, o tratamento é realizado pela adição de produtos químicos ou devido a reações químicas, removendo ou convertendo contaminantes (SPERLING, 1996). Já o tratamento biológico é utilizado para remover substâncias orgânicas biodegradáveis, coloidais ou dissolvidas encontradas no esgoto, por meio de microorganismos (METCALF; EDDY, 2016).

Os métodos são classificados em tratamento preliminar (físico), responsável pela remoção de constituintes físicos que possam causar problemas operacionais; tratamento primário (químico), onde há remoção de parte de sólidos suspensos e matéria orgânica do esgoto, tipicamente efetuado pela adição de compostos químicos; tratamento secundário (biológico), corresponde a estabilização de compostos orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes; tratamento terciário (avançado), onde ocorre desinfecção e remoção de sólidos suspensos residuais (METCALF; EDDY, 2003).

Os Processos Oxidativos Avançados (POA's) enquadrados nos tratamentos avançados de esgoto, têm sido aplicados com êxito para a remoção ou a degradação de poluentes recalcitrantes e se destacam principalmente devido a características de elevada capacidade e velocidade de degradação. Esta se dá devido a geração de radicais livres, em especial o radical hidroxila (·OH), por possuir poder oxidante que promove a degradação

total ou parcial de compostos poluentes em poucos minutos (FIOREZE, 2014). Os radicais hidroxila podem reagir com uma variedade grande de classes de compostos e promovendo sua total mineralização para compostos inócuos como CO_2 e água (NOGUEIRA *et al*., 1998). São vistos como tecnologias limpas, pois nesse processo não ocorre a formação de lodo e nem a transferência de fase dos poluentes, como é de ocorrência em tratamentos convencionais (SOUZA, 2010). Porém, possuem um alto custo operacional e de manutenção, dificultando sua utilização (SALEH *et al*., 2020).

Os POAs podem ser divididos em sistemas homogêneos e heterogêneos, e os radicais hidroxila podem ser gerados com ou sem radiação ultravioleta como descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Sistemas típicos dos POAs.

Processos	Com irradiação	Sem irradiação
Homogêneos	O_3 /UV H_2O_2/UV O_3/H_2O_2/UV Foto-Feton	O_3 /HO^- O_3/H_2O_2 Reativo de Fenton
Heterogêneos	Fotocatálise Heterogênea (TiO_2/O_2/UV)	O_3/ Catalisador

Fonte: Bohrer (2018)

Os catalisadores heterogêneos (que encontram-se em fase diferente daquela em que estão os reagentes) mais comuns são sólidos e semicondutores, esses aumentam a velocidade da reação, já nos sistemas homogêneos há a ausência de catalisadores sólidos, com presença ou não de irradiação. A degradação de poluentes pode ocorrer por meio de dois mecanismos, a fotólise direta com radiação ultravioleta (UV), e a partir da geração de radicais hidroxila. Na fotólise direta, a luz é a exclusiva fonte na destruição dos poluentes, e no outro mecanismo, a presença de oxidantes fortes como o H_2O_2 e O_3 auxiliam no processo (BOHRER, 2018).

Os processos de fotólise são aqueles onde a radiação é o único meio de destruição de contaminantes orgânicos, por meio de radiação ultravioleta (UV) onde o comprimento de onda do espectro eletromagnético fica entre 200 a 400 nm (KATSUMATA, 2014).

O sistema de radiação ultravioleta não produz resíduos e nem subprodutos nocivos, mostrando ser bastante eficiente para a destruição de vírus e bactérias. A utilização da

radiação UV constitui-se em um processo físico que elimina os inconvenientes associados à manutenção e manuseamento de produtos químicos, possui menores custos competitivos, eficiência e vantagens em relação à tecnologia de desinfecção que emprega produtos químicos (GONÇALVES, 2003). Geralmente a radiação ocorre através de lâmpadas de vapor de mercúrio de média ou baixa pressão, que são conversores eficientes de energia elétrica em energia radiante. (KATSUMATA, 2014).

O ozônio (O_3) usado para a desinfecção tem alto poder oxidante. Sua capacidade de desinfecção é considerada mais eficaz que o cloro e durante o processo de ozonização, não há a formação de produtos residuais perigosos, pois o ozônio se decompõe rapidamente. Além da desinfecção, reduz e/ou remove inúmeros parâmetros de poluição ambiental, tais como cor, concentração de fenóis, toxicidade, turbidez, DQO, dentre outros (ASSALIN *et al*., 2007; BOHRER, 2018).

Objetificando analisar a efetividade do método de tratamento de esgoto utilizando a fotoionização, o presente estudo avaliou a variação de três parâmetros de caracterização: pH, DQO e turbidez.

METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho foi realizado na disciplina de Gerenciamento e Tratamento de Esgoto Sanitário, ofertada pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná/FB, no curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. As análises e reações de ozonização foram efetuadas no Laboratório de Águas e Efluentes da UTFPR, e ocorreram no primeiro semestre de 2023.

A pesquisa bibliográfica ocorreu a partir das bibliotecas virtual e física da UTFPR Campus Francisco Beltrão, de portais como Scielo, Springer, Elsevier, entre outros.

O esgoto bruto, foi caracterizado, antes e após o tratamento empregando a fotoozonização, analisando-se os seguintes parâmetros: pH, turbidez e demanda química de oxigênio (DQO). Todas as análises foram realizadas de acordo com Standard Methods (1998).

O tratamento foi conduzido em escala de laboratório num reator descontínuo, com um volume útil de 2 litros, composto por tubo de vidro transparente, com diâmetro interno de 11 cm e altura de 37 cm. A fonte de radiação ultravioleta provinda da lâmpada de vapor de mercúrio (Osram) de 8 watts de potência fixada no centro do reator com um tubo de

quartzo para sua proteção, sendo as dimensões da mesma de 3 cm de diâmetro por 30 cm de altura. O tempo de retenção da amostra no reator para o tratamento foi de 1 hora em temperatura ambiente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores dos parâmetros analisados. O valor de pH apresentou queda de 2,3%. O pH neutro no processo de tratamento é considerado um fator positivo pois, sabe-se que a alteração desse parâmetro pode levar a uma série de reações capazes de alterar as características do esgoto (BOHER, 2018). Por outro lado, diferentes valores de pH podem apresentar resultados distintos de remoção de poluentes (MENDONÇA, 2019). Já a turbidez, apresentou uma diminuição de 6,3%, enquanto a DQO reduziu 13,5%. Apesar de baixa, essa diminuição comprova a eficiência do processo, sendo necessário avaliação das variáveis envolvidas como dosagem de ozônio e tempo de reação.

Tabela 2 - Valores iniciais e finais de pH, Turbidez e DQO

Parâmetros	Inicial	Final
pH	7,52	7,19
Turbidez (uT)	69,57	65,15
DQO (mgO2/L)	276,57	239,34

Fonte: Autoria própria (2023)

A radiação emitida pela lâmpada UV demonstrou-se capaz de quebrar as moléculas orgânicas, resultando em compostos menores e menos complexos. O processo oxidante promovido pelo ozônio ao longo do tempo no reator, aumentou a eficácia do tratamento. Este, pode ser comprovado pela mudança de cor do efluente, que apesar da não realização da análise deste parâmetro, foi possível observar alteração a olho nu.

O ozônio como oxidante extremamente reativo, auxiliou na desinfecção. A inativação das bactérias por ozonização ocorre pela desintegração da parede celular, ou lise celular. Embora não seja necessariamente afetado pelo pH da água, o ozônio residual é

mais estável em condições ácidas e menos estável em condições alcalinas (METCALF; EDDY, 2003). Dessa forma, é mais fácil obter maior eficiência de desinfecção quando o valor do pH é mais baixo do que quando elevado. Nesse sentido, a ozonização é considerada uma alternativa ao processo de cloração. Os compostos orgânicos que constituem a DQO podem exercer uma demanda de ozônio, o grau de interferência dependerá dos grupos funcionais e da estrutura química dos componentes presentes (KATSUMATA, 2014).

A resolução CONAMA 430/2011 não pontua sobre efetividade de tratamento de efluentes, apenas a carga máxima de devolução ao corpo hídrico. Os resultados obtidos podem nortear futuras pesquisas quanto ao uso do reator estudado no tratamento de resíduos líquidos, que geram uma preocupação para empresas de saneamento básico. Fazendo-se necessário a constante adaptação às novas alternativas de tratamento de efluentes no país.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados nas análises se mostraram coesos com o esperado, obtendo eficácia na diminuição de DQO e de turbidez sem alterar o pH no reator de uma maneira prejudicial ao meio. Houve queda de 6,3% na turbidez e 13,5% de queda de DQO da amostra. Apesar de ser uma porcentagem considerada baixa no processo de tratamento, os dados demonstram a eficácia do uso da fotoozonização no tratamento do esgoto sanitário. Sugere-se estudos mais profundos, levando em consideração as diversas variáveis que podem afetar a efetiva remoção de poluentes.

REFERÊNCIAS

APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 20. ed. Washington DC: APHA, 1998.
APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington DC: APHA, 2005.
ASSALIN, M. R.; DURÁN, N. *Novas tendências para aplicação de ozônio no tratamento de resíduos: ozonização catalítica*. Revista Analytica. 2007.
BILOTTA, P. *Estudo Comparativo da Ação do Ozônio e Radiação Uv na Desinfecção de Esgoto Sanitário*; EESC/USP, São Carlos - SP - 2000
BRITO, N. N. D.; SILVA, V. B. M. *Processos oxidativos avançados e sua aplicação ambiental*. Revista Eletrônica de Engenharia Civil - vol. 1, n°3, 36-47. 2012.
BOHRER, J. K. *Uso de Processos Oxidativos Avançados no Tratamento dos Resíduos*

Líquidos Oriundos da Estação De Tratamento de Esgoto do Município de Marmeleiro – PR; UTFPR, 2018.
CHERNICHARO, C. A. L. *Tratamento de Efluentes Líquidos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2003.
FIOREZE, M; SANTOS, E P; SCHMACHTENBERG, N; *Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicação ambiental*. REGET/UFSM, v. 18, n. 1, p. 79-91. Abr 2014.
FRANCISCO BELTRÃO, Prefeitura municipal, 2023. Disponível em: Aspectos físicos e políticos | Prefeitura de Francisco Beltrão (franciscobeltrao.pr.gov.br)
FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. *Novas técnicas para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas*. Química Nova. 23 (4). 2000.
GEHRA, R.; WAGNERA, M.; VEERASUBRAMANIANA, P.; PAYMENT, P.; *Water Research*. 37, 4573, 2003.
GONÇALVES, R. F. *Desinfecção de Efluentes Sanitários,* PROSAB 3, Rio de Janeiro, ABES, p. 438, 2003.
KATSUMATA, C. P. *Degradação de Fármacos em Meio Aquoso por Meio de Fotólise e Peroxidação fotoassistida*. São Paulo. 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 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* - UTFPR. Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais - Medianeira, 2015.
MENDONÇA, L. F. *Tratamento de esgoto em reator anaeróbio híbrido (UAHB) submetido a variação de matéria orgânica e do tempo de detenção hidráulica (TDH)*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2019.
METCALF, L.; EDDY, H. *Engenharia de Efluentes: Tratamento e Reúso*. 4 ed. Revisado por George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel. Nova Iorque: McGraw -Hill Education, 2003.
METCALF, L.; EDDY, H. *Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos*. 5 ed. Tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. Porto Alegre: AMGH, 2016.
NOGUEIRA, Raquel FP; JARDIM, Wilson F. *A fotocatálise heterogênea e sua aplicação ambiental*. Química nova, v. 21, p. 69-72, 1998.
POLEZI, M. *Aplicação de Processo Oxidativo Avançado (H2O2/UV) no Efluente de uma ETE para fins de reuso*; UNICAMP - Dissertação de Mestrado - Campinas, SP, 2003.
SALEH, I. A.; ZOUARI, N.; AL-GHOUTI, M. A. *Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches.* Environmental Technology & Innovation, p. 101026, 2020.
SILVA, L. F. A. *Tratamento de Efluentes Líquidos e Geração de Biogás*. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
SOUZA, B. M. *Avaliação de processos oxidativos avançados acoplados com carvão ativado granulado com biofilme para reuso de efluentes de refinaria de petróleo* – COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro. 2010.
SPERLING, M. V. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Editora UFMG, 2005.
SPERLING, M. V. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização*; Minas Gerais: ABES, 1996.