

## AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REVESTIMENTO À BASE DE PEAD APLICADO PARA PROTEÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

### EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF HDPE-BASED COATING IN THE PROTECTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN A SANITARY SEWAGE TREATMENT PLANT

Maykon Williann Mota<sup>a</sup>, Laís de Oliveira Paulo<sup>b</sup>, Euclides Antônio Pereira de Lima<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidade de Uberaba – UNIUBE, <sup>b</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro

[maykonwilliann@hotmail.com](mailto:maykonwilliann@hotmail.com), [laisoliverpaulo@gmail.com](mailto:laisoliverpaulo@gmail.com), [euclides.lima@uniube.br](mailto:euclides.lima@uniube.br)

Submissão: 10 de fevereiro de 2023

Aceitação: 19 de junho de 2023

#### Resumo

A degradação do concreto é um fenômeno comum que está condicionado ao meio que as estruturas estão inseridas e ao tempo de exposição, o que pode acelerar tal desgaste. Os efluentes domésticos são compostos de elementos que podem criar ambientes altamente agressivos que causam uma rápida degradação das estruturas de concreto. Características físico-químicas do esgoto doméstico como temperatura, DBO, DQO, ácidos voláteis e turbidez podem interferir na durabilidade das estruturas de concreto. Sendo assim, são necessários produtos e tecnologias que proporcionem a proteção do concreto em ambientes altamente agressivos. Este estudo objetivou testar um revestimento anticorrosivo à base de PEAD como alternativa de proteção das estruturas de concreto das caixas de passagem de uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário. Para isso, foi realizado o levantamento das patologias existentes nas caixas de passagem na saída dos reatores anaeróbios, a caracterização físico-química do esgoto sanitário e a aplicação da Metodologia de Estimativa do Grau de danos (GDE-UnB) como forma de identificar e quantificar o dano causado pelo esgoto sanitário nas placas anticorrosivas. As patologias encontradas nas caixas de passagem foram a desagregação, eflorescências, fissuras, manchas e deslocamento. O esgoto sanitário possui características físico-químicas com similaridades aos estudos comparativos utilizados neste trabalho. O Grau do Dano estimado foi considerado pequeno, comprovando a eficiência das placas anticorrosivas na contenção das ações físicas, químicas e biológicas causadas pelo ambiente de uma Estação de Tratamento de Esgotos.

**Palavras-chave:** Concreto; Estação de Tratamento de Esgoto; Grau de deterioração; Manifestação Patológica.

#### Abstract:

Concrete degradation is a common phenomenon that is conditioned by the environment in which the structures are inserted and the exposure time, which can accelerate such wear. Domestic effluents are composed of elements that can create highly aggressive environments that cause rapid degradation of concrete structures. Physical-chemical characteristics of domestic sewage such as temperature, BOD, COD, volatile acids and turbidity can interfere with the durability of concrete structures. Therefore, products and technologies are needed to protect concrete in highly aggressive environments. This study aimed to test an anticorrosive coating based on HDPE as an alternative to protect the concrete structures of the passage boxes of a Sanitary Sewage Treatment Plant. For this, a survey was carried out of existing pathologies in the passage boxes at the exit of the anaerobic reactors, the physicochemical characterization of the sewage and the application of the Methodology for Estimating the Degree of Damage (GDE-UnB) as a way of identifying and quantifying the damage caused by sewage to the anti-corrosion plates. The pathologies found in the passage boxes were disaggregation, efflorescence, cracks, stains, and displacement. Sanitary sewage has physical-chemical characteristics like the comparative studies used in this work. The estimated degree of damage was considered small, proving the efficiency of anticorrosive plates in containing the physical, chemical and biological actions caused by the environment of a Sanitary Sewage Treatment Plant.

**Keywords:** Concrete; Sanitary Sewage Treatment Station; Deterioration degree; Pathological Manifestation.

## 1 INTRODUÇÃO

A degradação do concreto é um fenômeno que está condicionado ao meio ao qual as estruturas de concreto estão inseridas e ao tempo de exposição, o que pode acelerar esse desgaste. A acidez presente no ambiente, por exemplo, é um fator impactante na vida útil do concreto, desencadeando a redução de sua durabilidade. Todavia, ações como a minimização da permeabilidade ou aplicação de camadas de proteção podem auxiliar no controle da ação desses fatores externos (DIAS, 2018).

Diversos estudos apontam a água com contaminantes como sendo um agente nocivo ao concreto, por provocar degradação física e química do material (MEHTA E MONTEIRO, 1994). Sendo assim, os efluentes domésticos se encaixam nesse grupo de líquidos que podem proporcionar ambientes altamente agressivos que causam uma rápida degradação dessas estruturas. Isso se deve à quantidade expressiva de areia que chega junto com o esgoto doméstico, além de produtos químicos e sulfetos decorrente das atividades de microrganismos (DIAS, 2018).

Segundo Von Sperling (2014), características físicas do esgoto doméstico como temperatura, cor, odor e turbidez podem interferir na durabilidade das estruturas de concreto. Constituintes químicos como nitrogênio, cloretos, alcalinidade e pH também possuem o mesmo efeito degradante. Além disso, a presença de vírus, bactérias, protozoários e fungos contribuem para a instalação de um ambiente agressivo para o material em que se fixam esses microrganismos.

Sendo assim, são necessários produtos e tecnologias que objetivem a proteção do concreto em ambientes altamente agressivos. Dessa forma, algumas técnicas são difundidas e aplicadas a depender do local onde se encontram as estruturas, os tipos de patologias e o grau de degradação. Entre essas tecnologias estão a proteção catódica de estruturas, a substituição da armadura de ferro por aço inoxidável ou aço ao cromo de baixo carbono, no caso do concreto armado, a interposição de uma barreira com revestimento orgânico na superfície do concreto ou envolvendo a própria armadura, por exemplo a pintura epoxídica, e alteração do substrato por meio de adição de inibidor de corrosão na mistura, sendo este o procedimento mais empregado no Brasil.

Neste estudo, um revestimento à base de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) foi escolhido como opção de proteção das estruturas de concreto das caixas de passagem de uma Estação de Tratamento de Esgoto, onde será avaliada sua eficiência em prevenir o desenvolvimento de patologias. O estudo se justifica diante da importância do desenvolvimento de estudos técnicos direcionados à aplicação de novas tecnologias que permitam a prevenção da deterioração de estruturas de concreto armado, evitando assim sua deformação e consequentemente seu reparo. Desse modo, o revestimento à base de PEAD se apresenta como uma opção técnica viável para este tipo de proteção, de forma a proteger o substrato de concreto, acarretando o aumento da durabilidade das estruturas.

## 2 METODOLOGIA

Nesta sessão estão especificados a área e qualificação do estudo, a caracterização do efluente sanitário da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Uberaba- MG, bem como os métodos de análise a serem aplicados.

### 2.1 Área e qualificação do estudo

A área de estudo está situada na cidade de Uberaba, que abrange 4.530 km<sup>2</sup>, localizada no interior do estado de Minas Gerais. O município possui população estimada de 333.783 habitantes em 2019 e densidade demográfica de 65,43 hab/km<sup>2</sup>, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Está situado na microrregião do Triângulo Mineiro, sendo os municípios limítrofes a Uberaba: Água Comprida, Conceição das Alagoas, Conquista, Delta, Indianópolis, Nova Ponte, Sacramento, Uberlândia e Veríssimo.

Especificamente, os experimentos foram conduzidos em uma Estação de Tratamento de Esgoto do referido município, que possui capacidade de tratamento do esgoto sanitário de 40.176 m<sup>3</sup>/d (465 L/s) de vazão média, valores descritos no estudo sua construção em 2009 e confirmados mensalmente por relatórios gerados internamente na Estação de Tratamento, sendo estimado o atendimento de uma população de 254.665 habitantes. O processo de tratamento é composto das unidades básicas descritas a seguir:

tratamento preliminar (grades, peneiras e desarenadores); reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB's); lagoas aeradas de mistura completa (LAMC); lagoas aeradas facultativas em série (LAF); lagoa de lodo; desidratação mecânica do lodo; galpão de lodo e administração, laboratório de análises e oficina.

## 2.2 Caracterização do efluente da estação de tratamento de esgoto

Diversas são as análises físico-químicas realizadas diariamente que permitem a caracterização do efluente que escoar por entre as caixas de passagem, que são objeto deste estudo. Logo, os parâmetros de pH, turbidez, DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), alcalinidade, ácidos voláteis, sólidos sedimentáveis, sólidos totais e temperatura do efluente bruto e do efluente na saída dos reatores anaeróbios foram monitorados diariamente nos anos de 2020 e 2021. As análises foram realizadas pelo laboratório de análises físico-químicas próprio da Estação de Tratamento de Esgoto.

## 2.3 Metodologia para a realização dos experimentos

Os experimentos de estudo foram realizados em diferentes etapas, estando elas descritas a seguir.

### 2.3.1 Levantamento e análise das patologias existentes nas caixas de passagem

Um levantamento minucioso das patologias como fissuração, desgaste superficial, escamamento, dissolução, decomposição química e expansão, existentes nas caixas de passagem de efluente sanitário se fez necessário com o objetivo de criação de uma base de dados e de informações a respeito das condições dessas estruturas que estão constantemente em contato com o efluente sanitário. Com base nas informações obtidas nesse levantamento foi possível detectar os pontos principais de ocorrência sistêmica de patologias. Características como o tipo da patologia, a extensão de atuação, a intensidade e outras observações peculiares de cada caixa estrutural vistoriada também estão descritas. Posteriormente, foi realizado um levantamento financeiro para a execução da recuperação física das caixas de passagem,

visando a restauração das superfícies de concreto para posterior instalação das placas anticorrosivas caso seja evidenciado sua eficiência na proteção dessas estruturas.

### 2.3.2 Instalação das placas de revestimento anticorrosivo Ultra Grip, monitoramento e coleta de dados

Inicialmente foram imersas seis placas do revestimento anticorrosivo Ultra-Grip, sendo uma em cada caixa de passagem do efluente sanitário, conforme Figura 1. Importante ressaltar que as placas devem ser fixadas às superfícies de concreto para a obtenção da proteção dessas estruturas. Neste trabalho, devido à necessidade de realização das análises e monitoramento dos efeitos do efluente sanitário nas placas anticorrosivas, estas estavam submersas no meio líquido e não fixadas, uma vez que se fossem fixas, a análise visual seria o principal parâmetro de verificação e avaliação destes efeitos.

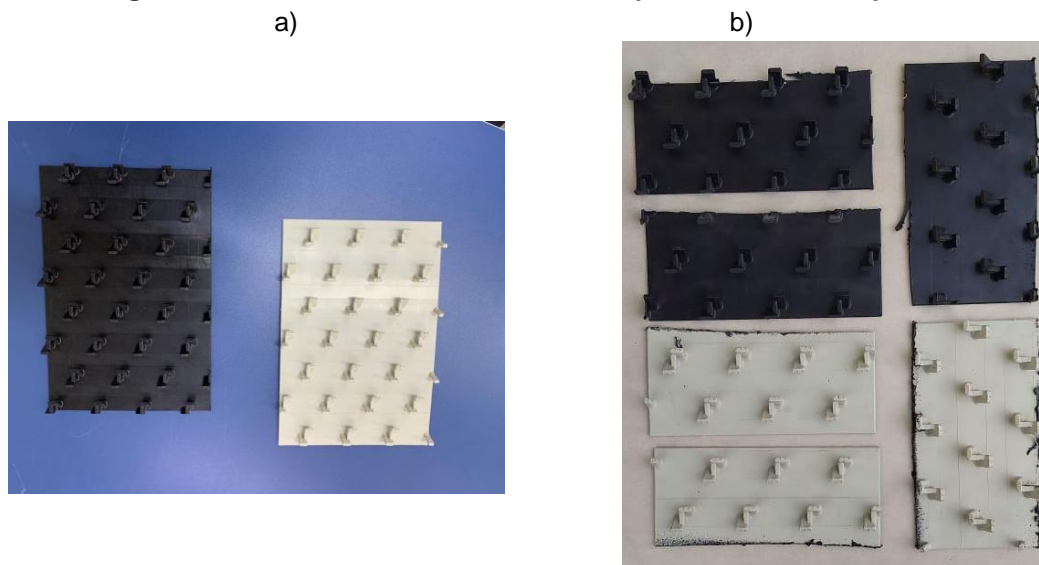
As dimensões das seis placas e suas respectivas massas, bem como as caixas em que cada uma foi posicionada estão demonstradas na Tabela 1.

Uma vez instaladas, estas placas foram monitoradas duas vezes na semana, durante 16 semanas, para elaboração de um banco de dados para posterior tratamento. As manifestações patológicas ou danos a serem avaliados foram adaptados da metodologia GDE/UnB: estimativa dos graus de danos em estruturas de concreto, onde foi calculado o Grau do dano causado pelo contato direto com o efluente sanitário nas placas do revestimento anticorrosivo.

O fluxograma de trabalho definido está ilustrado na Figura 2. Partindo do princípio de que o material de análise é o mesmo (placas de revestimento anticorrosivo), será considerado uma única família de elementos. A seguir será necessário determinar o fator de ponderação ( $F_p$ ) que varia numa escala de 1 a 5, pré-determinado de acordo com a família do elemento, onde é definida a importância que determinada manifestação patológica exerce, de acordo com as consequências que pode acarretar para a estrutura. Dessa forma, será adotado um valor mediano (3) uma vez que é considerada apenas uma família de elementos neste estudo.

Logo após, o fator de intensidade do dano ( $F_i$ ) é aplicado, classificando de 1 a 4 a gravidade da manifestação patológica, demonstrando qual a evolução de acordo com o Quadro 1.

**Figura 1: Placas de revestimento Ultra-Grip utilizadas nos experimentos**



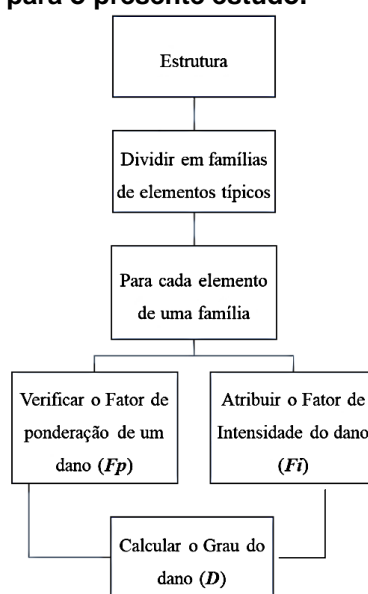
a) placas inteiras e b) placas fracionadas para instalação.  
 Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

**Tabela 1: Dimensões das placas de revestimento instaladas na ETE em Uberaba.**

Placa	Massa (gramas)	Altura (cm)	Largura (cm)	Espessura (mm)	Caixa de passagem
1	64,29	20,5	9,0	3,0	1
2	66,65	20,5	9,0	3,0	2
3	84,67	20,5	11,0	3,0	3
4	78,93	21,0	10,0	3,0	4
5	88,41	21,0	11,2	3,0	5
6	75,13	21,0	9,5	3,0	6

Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

**Figura 2: Fluxograma Metodologia GDE/UnB adaptado para o presente estudo.**



Fonte: Adaptado de Boldo (2002).

**Quadro 1: – Fator de Intensidade do dano x Tipo de Manifestações.**

Manifestação patológica ou dano	Fator de Intensidade do dano - Tipos de manifestação	Ensaio
Desagregação	1 – sem indícios visíveis de manifestação; 2 - início de manifestação; 3 - manifestações leves, início de estofamento do material; 4 - por perda acentuada de seção e esfrelamento do material.	Observação visual
Eflorescências	1 - sem indícios ou início de manifestações; 2 - manchas de pequenas dimensões; 3 - manchas acentuadas, em grandes extensões; 4 - grandes formações de crostas de carbonato de cálcio (estalactites).	Observação visual
Fissuras	1 - sem indícios ou aberturas menores; 2 - aberturas médias estabilizadas; 3 - aberturas excessivas; estabilizadas; 4 - aberturas excessivas; não estabilizadas.	Observação visual
Desplacamento	1 - sem indícios de perda de material; 2 - pequenas escamações do material; 3 - lascamento de grandes proporções 4 - lascamento acentuado com perda relevante de material	Observação visual
Manchas	1 - sem indícios de manchas aparentes 2 - manchas escuras de pouca extensão, porém significativas (<50% da área visível do elemento material); 3 - manchas escuras de grande extensão (>50%); 4 - manchas escuras em todo elemento material (100%).	Observação visual

Fonte: Adaptado de Fonseca (2007).

Por fim, o Grau do dano ( $D$ ) de cada elemento foi calculado de acordo com o seu respectivo fator de ponderação e intensidade ( $F_p$  e  $F_i$ ) por meio da utilização da Equação 1 ou 2, dependendo da intensidade do dano. Essas equações, propostas nas pesquisas do método GDE/UnB, de acordo com Fonseca (2007), além de estarem baseadas no modelo de vida útil para corrosão das armaduras, pode ser aplicado às demais manifestações patológicas, como no caso deste trabalho, ponderando que estas ocorrem em duas fases: iniciação, onde os danos não comprometem a vida útil da estrutura por serem brandos, e propagação, que devido ao estágio avançado dos danos podem comprometer a segurança e funcionalidade das estruturas.

$$D = 0,8 \cdot F_i \cdot F_p \quad \text{para } F_i \leq 2 \quad (1)$$

$$D = (12 \cdot F_i - 28) \cdot F_p \quad \text{para } F_i \geq 2 \quad (2)$$

Onde:  $F_p$ : é fator de ponderação;  $F_i$ : é fator de intensidade do dano;  $D$ : é Grau do Dano.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análises físico-químicas do efluente sanitário

Na Figura 3 estão representados graficamente os valores das vazões de entrada mensais na Estação de Tratamento de Esgoto durante os anos de 2020 e 2021. Foram calculadas as médias mensais com os dados diários visando possibilitar uma análise comparativa e identificar possíveis interferências da vazão em relação às patologias identificadas no concreto.

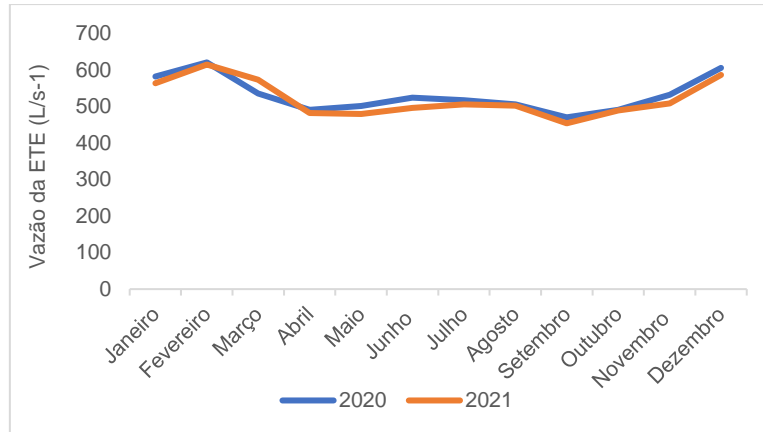
Dias (2018) afirma que a vazão de uma Estação de Tratamento de Esgoto pode influenciar indiretamente no surgimento de patologias em estruturas de concreto, uma vez que o volume maior de efluente sanitário chegando para o tratamento resulta em um significativo aumento da carga potencial de agentes agressivos, como a areia por exemplo.

Da mesma forma, em decorrência da variação do volume de efluente nas estruturas de concreto, sejam elas caixas de passagens,

tanques de retenção de sólidos ou lagoas anaeróbias e aeróbias, o concreto fica exposto a períodos secos e molhados, resultando em danos às suas paredes, em detrimento das regiões que

permanecem inundadas. Isso ocorre devido à dificuldade que o líquido confere aos gases de entrar nos poros do concreto, bloqueando a ação de deterioração (DIAS, 2018).

**Figura 3: Representação gráfica da vazão média mensal (L/s<sup>-1</sup>) de efluente sanitário de entrada na ETE em Uberaba.**



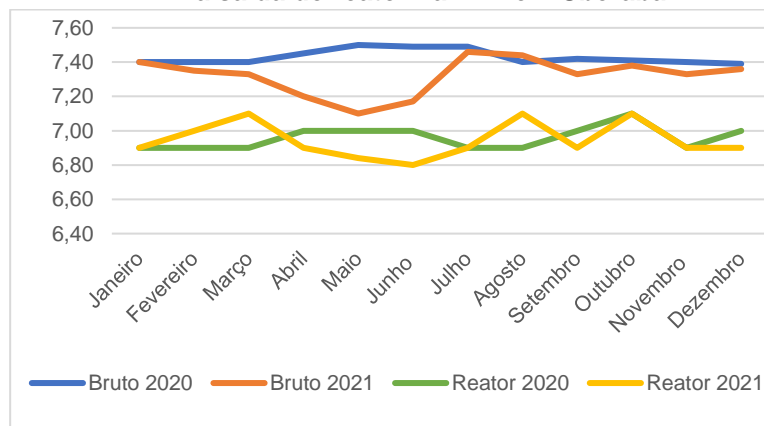
Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

Estudos demonstram os diferentes impactos que os ciclos de molhagem e secagem causam nas estruturas de concreto. Kim e Lee (2009), por exemplo, constataram a redução em 50% da resistência à compressão em amostras expostas à variabilidade de umidade do que naquelas que em sua totalidade estavam submersas no efluente sanitário. Bond et al., (2014) demonstraram que o grau de desagregação do concreto foi mais elevado nas superfícies expostas a níveis variantes do efluente sanitário. Resultado semelhante foi relatado por Mori et al., (1992), que

incluem como consequência da inconstância do nível do efluente sanitário a desagregação intensa das superfícies ao redor desse local e justificam que isso ocorre devido à disponibilidade de nutrientes que alimentam as bactérias acidófilas presentes no efluente sanitário, que aceleram a degradação.

Na Figura 4, estão representados os valores das médias mensais de pH do efluente bruto, bem como da saída dos reatores anaeróbicos na ETE em Uberaba.

**Figura 4: Média mensal de pH de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE em Uberaba.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

O parâmetro indicador de acidez ou basicidade de uma solução é o pH (Potencial

Hydrogeniônico). A Resolução CONAMA nº 430 de 2011 determina como limites aceitáveis de pH para

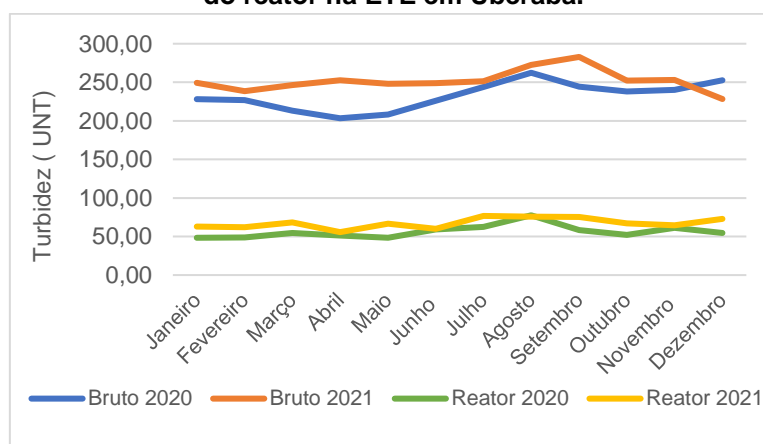
esgotos sanitários os valores de 5 a 9. De acordo com Michalake et al., (2016) o controle do pH no tratamento do esgoto é um dos fatores mais importantes a ser mantido para se obter uma boa eficiência do processo. Os autores obtiveram valores de pH entre 6 e 7,2 em seus estudos, estando próximo ao resultado obtido neste trabalho.

Collaço e Roston (2006) apresentaram valores de pH de um esgoto sanitário próximos ao neutro (7), satisfazendo os padrões de lançamento exigidos na legislação ambiental. O trabalho realizado na Estação-Piloto de Tratamento de

Esgoto (EPTE), localizada em Viçosa, Minas Gerais também apresentou o pH próximo à 9, confirmando a eficiência do tratamento do esgoto sanitário (BATISTA et al., 2008).

A turbidez define o grau de atenuação da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar uma amostra de um líquido, por exemplo. No caso dos esgotos sanitários os sólidos em suspensão como a areia e alguns detritos como algas e bactérias podem elevar os valores de turbidez. Na Figura 5 são apresentados os valores mensais de turbidez nos anos de 2020 e 2021.

**Figura 5: Média mensal da turbidez de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE em Uberaba.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

Ariano (2009) descreve em seus estudos os valores de turbidez do efluente bruto no limite máximo de 204 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez), obtendo uma redução de aproximadamente 56% para o efluente na saída dos reatores UASB, com valores mínimos de 89 UNT. Neste trabalho, a redução da turbidez está na média de 80% do efluente bruto para a o efluente da saída dos reatores anaeróbios. Colares e Sandri (2013) em seus estudos com um sistema de tratamento de esgoto composto por tanques sépticos compartimentados seguidos de leitos cultivados apresentaram 82,54% de redução para turbidez do esgoto bruto para o tratado. Neste sentido, um sistema de membranas filtrantes mostrou maior eficiência na remoção do parâmetro da turbidez, alcançando a remoção máxima de 99,34%, segundo Ferraz, Porto e Rocha (2019).

A Figura 6 demonstra os valores médios mensais da Demanda Química de Oxigênio do esgoto sanitário bruto e na saída dos reatores anaeróbios nos anos de 2020 e 2021.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) representa a quantidade de oxigênio necessário para oxidar o material orgânico presente no esgoto sanitário (VON SPERLING (2014). Neste trabalho, a média de redução do DQO do efluente bruto para o efluente na saída dos reatores anaeróbios é de 38%. É relevante destacar que essa porcentagem tende a se elevar, uma vez que ainda existem as etapas posteriores de tratamento do efluente sanitário, responsáveis pelo polimento deste efluente.

Abreu e Zaiat (2008) avaliaram o desempenho de um reator anaeróbio-aeróbio, para tratamento de esgoto sanitário. Os resultados da redução da DQO foram de aproximadamente 35%, onde o efluente bruto apresentou uma DQO de  $389 \pm 70$  mg/L para  $137 \pm 16$  mg/L do efluente tratado. Em Estações Compactas de Tratamento de Efluentes (ECTEs), que são sistemas descentralizados de tratamento de esgoto doméstico, os valores da redução são ainda mais satisfatórios, estando entre 80 e 85 % de

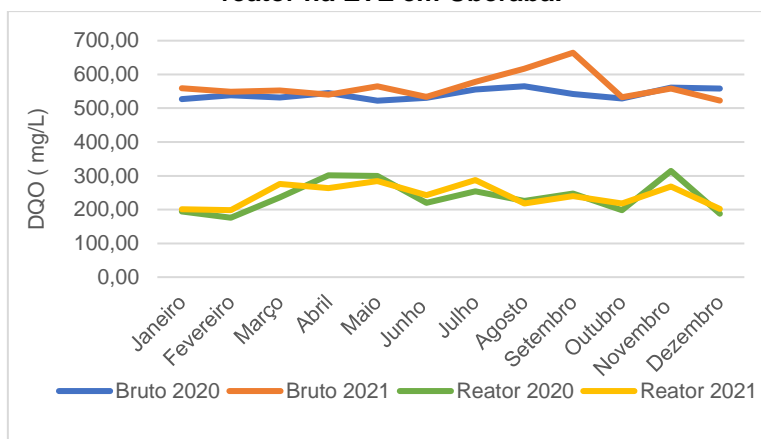
eficiência, de acordo com Ribeiro e Silva (2018).

Colares e Sandri (2013) em seu trabalho alcançaram a eficiência de remoção de DQO de 65,40%. Collaço e Roston (2006) realizaram o comparativo entre pneus e brita como meio suporte de leitos cultivado para o tratamento de esgoto sanitário. Como resultados, as taxas de

remoção de DQO para o leito com brita foi de 71,4 % e para o leito com o pneu 57,5%.

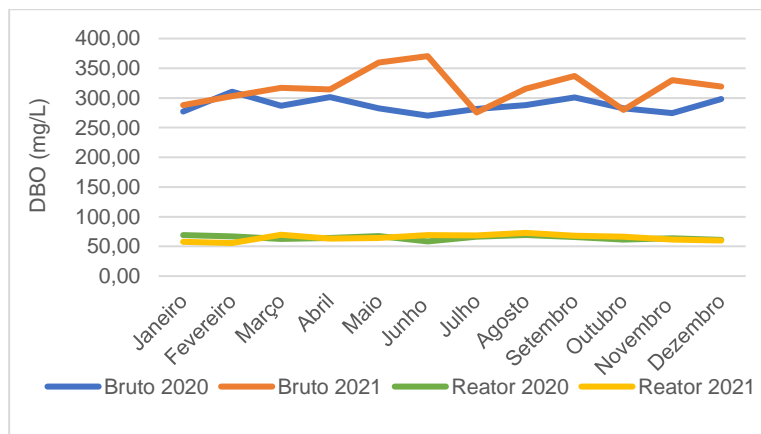
Os valores médios mensais da Demanda Bioquímica de Oxigênio do esgoto sanitário bruto e na saída dos reatores anaeróbios nos anos de 2020 e 2021 está representado na Figura 7.

**Figura 6: Média mensal da DQO de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE em Uberaba.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

**Figura 7: Média mensal da DBO de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE em Uberaba.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio representa o consumo total de oxigênio, ao final de vários dias, requerida pelos micro-organismos para a estabilização bioquímica da matéria orgânica (VON SPERLING (2014). A Resolução CONAMA nº 430 de 2011 determina como limite máximo aceitável o valor de 120 mg/L de DBO no efluente tratado ou eficiência de remoção mínima de 60% no sistema de tratamento.

Neste estudo a média de eficiência na remoção de DBO foi de aproximadamente 83%, o

que corrobora com os resultados de Michalake et al., (2016), onde as reduções do esgoto bruto para o tratado nos anos estudados foram da ordem de 89,70 e 92,95%. Ribeiro e Silva (2018) obtiveram valores na média de 91% de redução de DBO e para Colares e Sandri (2013) a porcentagem foi de 79,01%.

Sendo assim, a redução do parâmetro DBO depende da eficiência do tratamento biológico em uma ETE, uma vez que a remoção da matéria orgânica do esgoto sanitário depende de ações

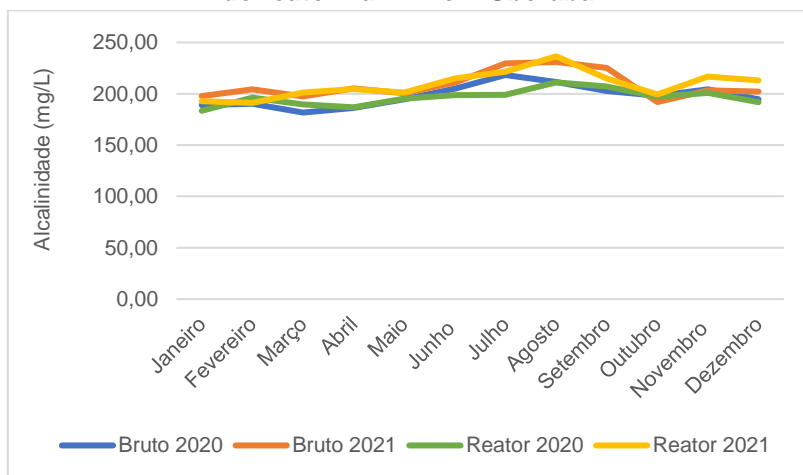


como o fornecimento de oxigênio, controle de vazão e recirculação de sólidos decantados, estando os parâmetros de temperatura, pH, sólidos totais e toxicidade significativamente atrelados à DBO.

De acordo com Von Sperling (2014) a alcalinidade é um parâmetro de grande relevância no monitoramento de sistemas de tratamento de

esgoto, uma vez corresponde à capacidade de tamponamento, em outras palavras, tem a função de resistir a queda brusca de pH. Os valores médios mensais de alcalinidade do esgoto sanitário bruto e na saída dos reatores anaeróbios nos anos de 2020 e 2021 estão representados na Figura 8.

**Figura 8: Média mensal de alcalinidade de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE em Uberaba.**



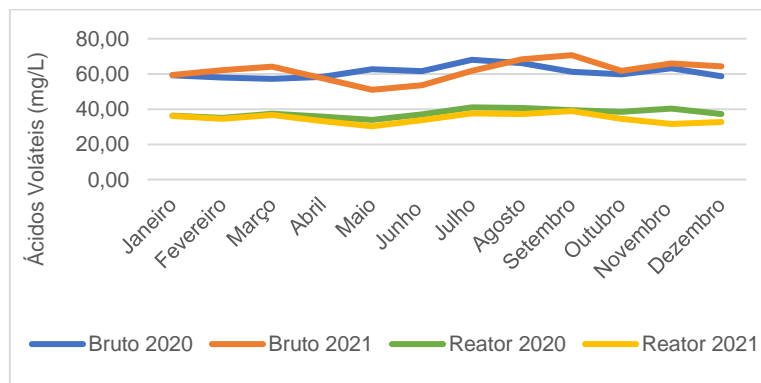
Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

Peixoto et al., (2012) afirma que para a alcalinidade, a faixa de 100 a 250 mg/L é a comum em esgotos predominantemente domésticos. Em seus estudos, o parâmetro alcalinidade apresentou uma média de 364,75 mg/L, sendo considerado adequado para manutenção de um sistema biológico de tratamento de esgoto. Ferreira e Daniel (2004) em seus estudos para desinfecção de esgoto sanitário secundário, descreveram resultados de alcalinidade com valores entre 128 e 260 mg/L. Neste estudo, a faixa de variação dos valores de alcalinidade foi de

200 a 250 mg/L em média, estando próximo aos demais trabalhos descritos na literatura.

A Figura 9 ilustra os valores médios mensais de ácidos voláteis de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE nos anos de 2020 e 2021. A identificação de valores expressivos de ácidos voláteis no esgoto sanitário é uma indicação do desbalanceamento entre as diferentes velocidades de consumo de matéria orgânica necessários por cada tipo de bactéria presente no processo do tratamento anaeróbio (VON SPERLING (2014).

**Figura 9: Média mensal de ácidos voláteis de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE em Uberaba.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

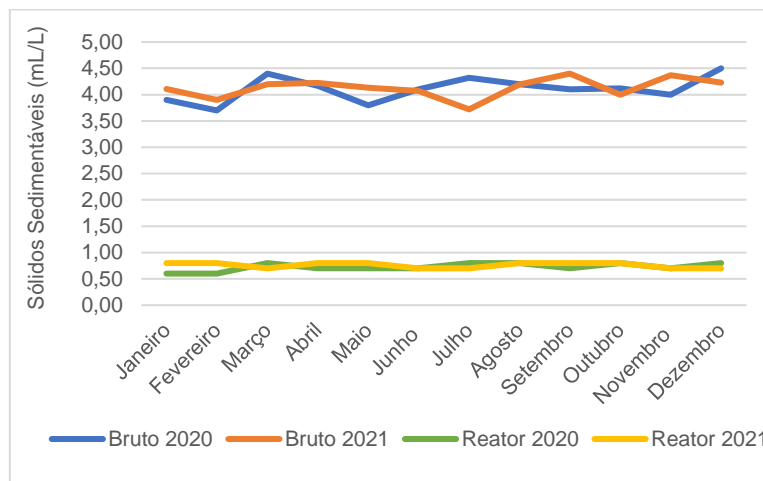
Vela (2006) afirma que a variação de parâmetros como a alcalinidade e ácidos voláteis podem indicar a predominância da fermentação ácida sobre a fermentação metanogênica. Os valores de ácidos voláteis descritos pelo autor em seu estudo estiveram entre 26 e 31 mg/L, o que indica que o processo metanogênico foi estabelecido. Neste estudo, a variabilidade dos valores para o mesmo parâmetro foi de 30 a 70 mg/L.

Caseiro, Piveli e Sobrinho (2006) descreveram valores de ácidos voláteis de 13 a 27 mg/L no estudo sobre a avaliação de desempenho de um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB) tratando esgotos sanitários e digerindo lodo aeróbio excedente de um sistema de lodo ativado. Para os autores, a estabilidade dos reatores foi mantida, pois os valores de ácidos voláteis permaneceram abaixo de 200mg/L.

Quando a concentração de ácidos voláteis ultrapassa cerca de 500 mg/L não há mais efeito tampão devido à ausência de alcalinidade a bicarbonato, podendo ocorrer sérios problemas no tratamento devido à redução do pH.

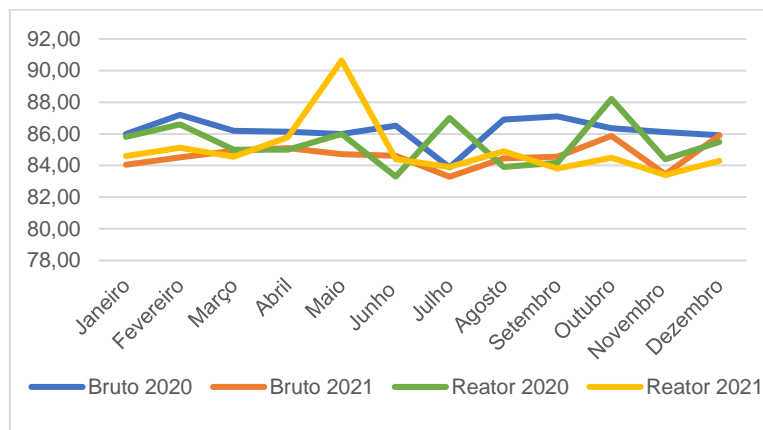
Os sólidos totais, bem como os sólidos sedimentáveis são importantes indicadores para o correto dimensionamento e controle das unidades de tratamento de esgoto. Os sólidos totais correspondem à soma das frações de sólidos sedimentáveis e dissolvidos presentes numa amostra. Os sólidos sedimentáveis indicam a capacidade de sedimentação da matéria orgânica particulada de uma amostra de esgoto sanitário, por exemplo (SEZERINO; BENTO, 2005). Nas Figuras 10 e 11 estão representados os valores médios mensais de sólidos totais e sedimentáveis de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE nos anos de 2020 e 2021.

**Figura 10: Média mensal de sólidos sedimentáveis de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE em Uberaba.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

**Figura 11: Média mensal de sólidos totais de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE em Uberaba.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

Os valores de sólidos sedimentáveis neste trabalho variaram de 3,5 a 4,5 mL/L no efluente sanitário bruto nos anos de 2020 e 2021 e de 0,5 a 1,0 mL/L na saída do tratamento anaeróbio. Oga (2020) obteve uma média de 3,1mL/L como resultados para os sólidos sedimentáveis no efluente bruto e 1,6 mL/L para o efluente após o tratamento anaeróbio, em um controle estatístico do processo de tratamento de efluentes domésticos em ETE com linhas de tratamento anaeróbio e aeróbio.

Almeida et al., (2018) realizaram um trabalho com reatores UASB no tratamento de esgoto sanitário onde estes apresentaram elevadas concentrações de sólidos sedimentáveis no efluente, com medianas variando entre 2 e 3 mL/L. Os autores destacaram que quando os reatores são operados corretamente, sem excesso de lodo, as concentrações de sólidos sedimentáveis são abaixo de 1 mL/L, o que corrobora com os resultados deste trabalho.

Os valores de sólidos totais encontrados na literatura quando comparados ao obtido neste trabalho apresentam certa divergência. Ferreira et al., (2022), por exemplo, descrevem que o efluente bruto, após análise, apresentou um valor de 779,2 mL/L para sólidos totais e o tratado de 505,7 mL/L. Neste trabalho, o valor no esgoto bruto foi de 85 até 90 mL/L em média e após o tratamento anaeróbio, foi de 84 mL/L em média.

Esse fato se deve, em princípio, à presença de um tratamento preliminar na ETE de Uberaba, onde uma parcela significativa de sólidos é retida em um equipamento de gradeamento e, posteriormente, os sólidos que permanecem junto ao líquido, são direcionados ao tratamento

biológico, onde ocorre também a redução expressiva de sólidos devido à decomposição da matéria orgânica.

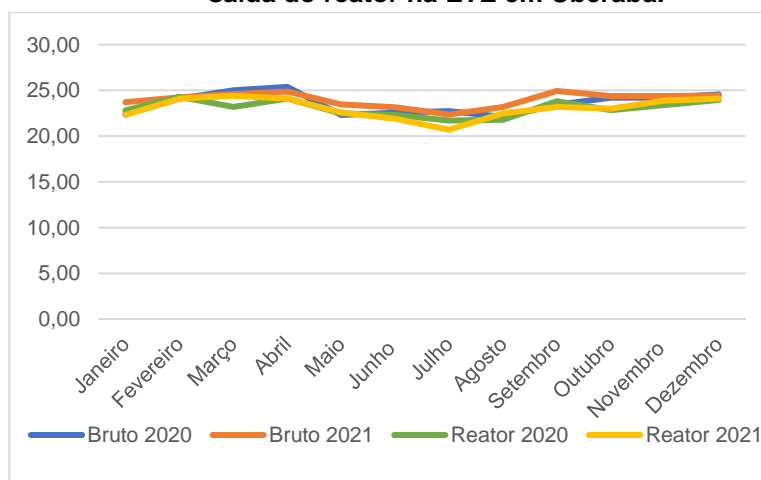
Com relação à temperatura, de acordo com Silva, Silva e Sarti (2017) os esgotos sanitários variam usualmente entre e 20° e 30°C. Sezerino e Bento (2005) afirmam que este é um parâmetro relevante no tratamento de esgotos, uma vez que está relacionado à diminuição da solubilidade dos gases, ao aumento da taxa de transferência dos gases e à velocidade em que se processam as reações bioquímicas.

Oga (2020) descreve a ocorrência do comprometimento da digestão anaeróbia devido ao processo de inativação das bactérias metanogênicas em situações em que a temperatura do efluente sanitário se encontrava inferior à 15°C. Ainda segundo a autora, temperaturas elevadas favorecem o processo de sedimentação devido a redução da viscosidade do fluido. Neste trabalho, a temperatura do esgoto sanitário em ambas as etapas de tratamento esteve no intervalo de 20 e 25°C, conforme ilustrado na Figura 12.

### 3.2 Patologias no concreto das caixas de passagem da ETE

Objetivando a melhor visualização dos resultados obtidos após o levantamento das patologias existentes nas caixas de passagem do efluente sanitário, os dados foram organizados na Tabela 2, sendo cada uma das manifestações patológicas classificadas nos níveis alto, médio e baixo, de acordo com o nível de degradação encontrada no concreto.

**Figura 12: Média mensal de temperatura de efluente sanitário bruto e na saída do reator na ETE em Uberaba.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

**Tabela 2: Resultados das manifestações patológicas observadas nas caixas de passagem na ETE em Uberaba.**

Caixa de passagem	Desagregação	Eflorescências	Fissuras	Manchas	Desplacamento
1	médio	alto	baixo	alto	médio
2	alto	alto	baixo	alto	baixo
3	médio	alto	baixo	alto	alto
4	alto	alto	médio	alto	médio
5	alto	alto	médio	alto	médio
6	médio	alto	baixo	alto	baixo

Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

Na Figura 13 estão ilustradas as vistas superior e lateral da caixa de passagem do efluente sanitário no Reator 1. Foi identificado patologias como incrustação de material sólido sobre a superfície, nível médio de desagregação de massa e deslocamento, altos níveis de eflorescências e manchas e poucas fissuras.

O Reator 2 (Figura 14) apresentou incrustação de material sólido sobre a superfície, relativa porosidade superficial e ocorrência de perda de massa dando margem ao entendimento como produto da ação dos sulfatos. Além disso foi constatada a presença de eflorescências e manchas nas superfícies.

**Figura 13: Caixa de passagem do efluente sanitário do Reator 1, sendo: a) vista superior; b) vista lateral.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

**Figura 14: Caixa de passagem do efluente sanitário do Reator 2, sendo: a) vista superior; b) vista lateral.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

A formação de eflorescências, perda de massa de concreto e o deslocamento foram as patologias mais evidentes no Reator 3, ilustrado na Figura 15. Essas degradações são resultantes de ações físicas, como o escoamento do efluente e as variações de níveis de vazão e de ações químicas, anteriormente identificadas no Reator 2.

Na Figura 16, o Reator 4 demonstra um alto grau de dissolução e decomposição química, bem como evidente perda de massa do concreto devido a ações físicas de erosão e químicas resultantes de reações de troca entre um fluido agressivo e componentes da pasta de cimento endurecida

**Figura 15: Caixa de passagem do efluente sanitário do Reator 3, sendo: a) vista superior; b) vista lateral.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

**Figura 16: Caixa de passagem do efluente sanitário do Reator 4, sendo: a) vista superior; b) vista lateral.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

No Reator 5 (Figura 17) também foi identificada uma grande perda de massa de concreto resultante das ações físicas, como a cavitação e químicas como a dissolução de hidróxido de cálcio da microestrutura do concreto, além do deslocamento de superfícies, ocorrência de trincas estruturais, além de formação de eflorescências, interferindo na durabilidade estrutural, permitindo o acesso de gases e outros químicos nocivos no interior do concreto.

A presença de manchas, trincas estruturais e

decomposição química do concreto, principalmente nas áreas onde ocorrem períodos secos e alagados intercalados são características marcantes no Reator 6 (Figura 18).

Após as classificações dos tipos de patologias encontradas em cada reator e dos níveis de degradação de cada um, é notório os efeitos nocivos ao concreto decorrente do ambiente agressivo em que as caixas de passagem estão inseridas. Um resultado semelhante foi publicado por Hoppe Filho et al., (2014), onde os autores

afirmam que o conjunto de elementos que propiciam a proliferação das bactérias oxidantes, como a disponibilidade de nutrientes e água em

uma Estação de Tratamento de Esgoto corroboram para uma maior taxa de degradação do concreto.

**Figura 17: Caixa de passagem do efluente sanitário do Reator 5, sendo: a) vista superior; b) vista lateral.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

**Figura 18: Caixa de passagem do efluente sanitário do Reator 6, sendo: a) vista superior; b) vista lateral.**



Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

Domiciano e Barbosa (2020) realizaram um trabalho semelhante, onde analisaram a durabilidade da estrutura de concreto armado de uma calha Parshall em uma Estação de Tratamento de Esgoto em Goiânia- GO. O concreto do local apresentou porosidade elevada, o que promoveu a percolação do efluente sanitário, que reagindo com o hidróxido de cálcio (componente do concreto) formou sais solúveis que poderiam ser lixiviados e posteriormente criar incrustações de material nas superfícies da caixa de passagem. Os autores também citaram como patologias observadas a ação acentuada do fenômeno de cavitação, e conseqüentemente a perda significativa de massa de concreto, justificada pela presença de sulfatos na água.

Kudlanvec Junior et al., (2018) fundamentam a presença de sulfatos como sendo a junção de materiais que compõem o concreto com íons deste agente presente no efluente sanitário, formando um produto expansivo, que provoca a fissuração e desagregação do concreto. Neste sentido, Collazzi (2019) expõe a contribuição do biogás, composto de Metano (CH<sub>4</sub>), Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases em menores quantidades, como Ácido Sulfídrico (H<sub>2</sub>S), Monóxido de Carbono (CO), Amônia (NH<sub>3</sub>) e Hidrogênio (H), que são produzidos em uma ETE e potencializam a degradação das estruturas de concreto, causando também o estufamento, desagregação e deslocamento do concreto.

Dias (2018) evidenciou em seu estudo a

presença de fissuras em tanques de transição de efluente, bem como em outros elementos estruturais da uma ETE do Estado de Goiás, sendo estas características de cisalhamento. Segundo a autora, as fissuras são inerentes às estruturas de concreto, sendo importante encontrar as causas de seu surgimento, uma vez que são pontos suscetíveis ao início de corrosão da armadura. De acordo com Fusco (2012), as fissuras são patologias extremamente preocupantes e que devem ser tratadas logo no seu surgimento, uma vez que representam uma porta de entrada para elementos externos de agressão, como o oxigênio do ar e o efluente no interior da massa de concreto.

As eflorescências são patologias comumente encontradas nas estruturas de concreto dispostas em ambientes com condições agressivas. Assim como neste estudo, Muller (2015) destacou a presença de eflorescências em tanques de aeração de uma ETE em Porto Alegre- RS. Segundo ele, mesmo em tanques que não estão em operação, a água de precipitação e o efluente sanitário são agentes desencadeadores, além da umidade proveniente da proximidade com o solo. Gobbi, Luz, Freitas e Silva (2021) encontraram indícios de que em parte do desarenador de uma ETE em Curitiba-PR ocorreu a dissolução de hidróxido de cálcio da estrutura do concreto, acarretando o surgimento de eflorescências.

Chaves et al., (2016) realizaram seus estudos em duas Estações de Tratamento de Esgoto da Região Metropolitana do Recife, onde identificaram manchas de umidade e bolor, além de pontos de corrosão, fissuras, eflorescência, deslocamento e erosões no concreto. As manchas são causadas por microrganismos, como fungos e bactérias, que possuem grande capacidade de proliferação quando em condições favoráveis de umidade, iluminação e alimentação disponível, como é o caso das superfícies de concreto em contato com o efluente sanitário. A manifestação da presença desses microrganismos se dá esteticamente, podendo ser as manchas de tonalidade preta, marrom e verde, ou ocasionalmente, manchas claras esbranquiçadas ou amarelas (DYER, 2015).

### 3.3 Monitoramento das placas anticorrosivas dentro das caixas de passagem

As placas foram instaladas de maneira aleatória nas 6 caixas de passagem, conforme Figura 19.

O monitoramento aconteceu duas vezes por semana, durante 16 semanas, sendo iniciados os experimentos no dia 16/09/2022 e finalizados no dia 06/01/2023, conforme descrito na Tabela 3. Semanalmente as placas eram retiradas de cada caixa de passagem para realização de uma análise visual com a finalidade de detectar possíveis deformações e diminuição de massa e medidas físicas. As medições eram realizadas in loco.

Para a aferição das medidas como altura, largura e espessura foi utilizada uma trena da marca Stanley-Global Plus 5m 30-615. Para determinar a massa de cada placa foi utilizada uma balança digital de alta precisão (1 g a 10 kg) da marca Clink.

É relevante ressaltar que antes de realizar a medição de massa e medidas as placas eram parcialmente limpas, sendo retiradas as incrustações de sólidos presentes nelas, minimizando a interferência destes resíduos nos valores coletados. Ao final da 16ª semana, foi realizada uma limpeza profunda e total nas placas a fim de garantir a não interferência de sólidos aderidos às placas nas massas e medidas finais.

### 3.4 Aplicação da Metodologia de Estimativa do Grau de danos (GDE-UnB)

O Grau do dano (*D*) de cada elemento foi calculado de acordo com o seu respectivo fator de ponderação e intensidade (*F<sub>p</sub>* e *F<sub>i</sub>*). Para cada manifestação patológica em cada uma das 6 placas foi atribuído um Fator de intensidade variável de 1 a 4. Em todas as placas o Fator de ponderação foi definido como sendo o valor 3. Sendo assim, na Tabela 4 estão organizados estes dados.

Pode ser observado que nas 6 placas de revestimento anticorrosivo as manifestações patológicas apresentaram o Fator de Intensidade no valor 1, ou seja, não houve degradação do material ou estas foram imperceptíveis, quando em contato com o esgoto sanitário no tempo em que foram realizados os experimentos.

Este resultado está em concordância com os dados técnicos fornecidos pelo fabricante das placas, uma vez que existem aplicações deste material em ambientes industriais no setor de mineração, farmacêutico, fornecimento de gás e água, além de revestimento de túneis e em sistemas de drenagem, o que demonstra a capacidade de resistência do produto.

**Figura 19: Instalação das placas anticorrosivas nas 6 caixas de passagem do efluente sanitário.**



a) Reator 1; b) Reator 2; c) Reator 3; d) Reator 4, e) Reator 5 e f) Reator 6.  
 Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).



**Tabela 3: Resultados do monitoramento físico das placas 1 instalada nas caixas de passagens.**

Placas	Semana	Massa (gramas)	Altura (cm)	Largura (cm)	Espessura (mm)
1	1	64,29	20,5	9,0	3,0
	16	64,30	20,5	9,0	3,0
2	1	66,65	20,5	9,0	3,0
	16	66,67	20,5	9,0	3,0
3	1	84,67	20,5	9,0	3,0
	16	84,66	20,5	9,0	3,0
4	1	78,93	20,5	9,0	3,0
	16	78,94	20,5	9,0	3,0
5	1	88,41	20,5	9,0	3,0
	16	88,42	20,5	9,0	3,0
6	1	75,13	20,5	9,0	3,0
	16	75,11	20,5	9,0	3,0

Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

**Tabela 4: Fator de intensidade das manifestações patológicas em cada placa anticorrosiva.**

Placa	Desagregação	Eflorescências	Fissuras	Desplacamento	Manchas	Fp
1	1	1	1	1	1	3
2	1	1	1	1	1	3
3	1	1	1	1	1	3
4	1	1	1	1	1	3
5	1	1	1	1	1	3
6	1	1	1	1	1	3

Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

Com os resultados dos Fatores de Ponderação e Intensidade foram calculados o Grau de Dano das manifestações patológicas nas

seis placas testadas através da Equação 1, uma vez que os Fatores de Intensidade estão abaixo de dois. Os resultados estão descritos na Tabela 5.

**Tabela 5: Grau de dano das manifestações patológicas em cada placa anticorrosiva.**

Placa	$F_i$ (Fator de Intensidade)	$F_p$ (Fator de Ponderação)	D (Grau do Dano)	Classificação do dano
1	1	3	2,4	Baixo
2	1	3	2,4	Baixo
3	1	3	2,4	Baixo
4	1	3	2,4	Baixo
5	1	3	2,4	Baixo
6	1	3	2,4	Baixo

Fonte: Elaborado pelo autor, (2022).

O Grau do Dano nas 6 placas foi considerado baixo, em uma classificação onde: baixo o **D** varia de 0 a 15; médio de 15 a 70 e alto de 70 a 190. Sendo assim, as placas anticorrosivas podem ser consideradas eficientes na contenção e minimização de manifestações patológicas como desagregação, eflorescências, fissuras, deslocamento e manchas. É notória a necessidade de testes aprofundados para análise de diferentes patologias.

#### 4 CONCLUSÃO

A degradação das estruturas de concreto em ambientes com características agressivas como geração de gases e agentes corrosivos são uma realidade nas Estações de Tratamento de Esgoto.

Neste estudo, patologias como desagregação, eflorescências, fissuras, manchas e deslocamento foram identificadas nas caixas de passagem do esgoto sanitário na saída dos reatores anaeróbios de uma ETE no município de Uberaba. As patologias nas caixas têm sua origem no contato direto do concreto com as substâncias presentes no esgoto sanitário, como sulfatos e ácidos, que ao interagirem, iniciam o processo de desapropriação da matéria. Gases como Metano, Dióxido de Carbono, Ácido Sulfídrico, Monóxido de Carbono e Amônia, gerados através da ação de decomposição da matéria orgânica são também contribuintes nesse desgaste do concreto.

As características físico-químicas do efluente sanitário, como pH, DBO, DQO, Alcalinidade, Ácidos Voláteis, Sólidos Totais e Sedimentáveis apresentaram resultados em conformidade com o descrito na literatura.

A aplicação da metodologia GDE/UnB: estimativa dos graus de danos em estruturas de concreto foi utilizada com a finalidade de verificar a eficiência das placas anticorrosivas de PEAD como proteção para as superfícies das caixas de passagem. O Grau de Dano calculado foi considerado baixo, ou seja, as placas de PEAD testadas resistiram ao contato constante com o esgoto sanitário, podendo ser consideradas eficientes na proteção às superfícies de concreto.

Para estudos futuros, sugere-se a realização de análises aprofundadas das demais caixas de passagem e outras estruturas de concreto presentes na ETE, com o intuito de identificar patologias internas na estrutura e sugerir soluções a longo prazo. Além disso, faz-se necessário um levantamento financeiro e de demais recursos a

fim de se implantar as placas anticorrosivas de PEAD diretamente nas superfícies de concreto para proteção.

#### REFERÊNCIAS

- 1- ABREU, Sérgio Brasil; ZAIAT, Marcelo. Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 181-188, jun. 2008. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s14134152200800020008>.
- 2- ALMEIDA, Paulo Gustavo Sertório de; RIBEIRO, Thiago Bressani; SILVA, Bruno Sidnei da; AZEVEDO, Lariza dos Santos; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 6: qualidade do efluente. *Revista DAE*, [S.L.], v. 66, n. 214, p. 90-108, 2018. **Revista DAE**. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2018.043>.
- 3- ARIANO, Gustavo Carneiro. **Coagulação, floculação e flotação do efluente de reatores anaeróbios, tratando de esgoto, com de diferentes dosagens de coagulante em função da longa duração da turbidez do esgoto afluente ao dia da aplicação**. 2009. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- 4- BATISTA, Rafael Oliveira; SOARES, Antônio Alves; SOUZA, José Antônio Rodrigues de; BATISTA, Raquel Oliveira. Modelos empíricos da irrigação localizada com esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 3, p. 369-377, set. 2008. Trimestral.
- 5- BOLDO, Plínio. **Avaliação quantitativa de estruturas de concreto armado de edificações no âmbito do Exército Brasileiro**. 2002. 312 p. Dissertação (Mestrado - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2002.
- 6- BOND, Philip; KELLER, Jurg; JIANG, Guangming. Determining the long-term effects of H<sub>2</sub>S concentration, relative humidity, and air

temperature on concrete sewer corrosion. **Water Research**, v. 65, 157-169. DOI: 10.1016/j.watres.2014.07.026, 2014.

7- CASEIRO, Adriana Hélia; PIVELI, Roque Passos; SOBRINHO, Pedro Alem. Reator UASB tratando esgoto sanitário e digerindo lodo aeróbio excedente. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 30., 2006, Punta del Este, Uruguay. **Anais XXX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**. Punta del Este, Uruguay: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS, 2006. p. 01-08.

8- CHAVES, Pryscylla; SOUZA, Evando de; BERENQUER, Romildo; BARRETO, Lydia; NASCIMENTO, Elivelthon. Estudo das anomalias observadas em obras de Estação de Tratamento de Esgoto (E.T.E.). In: SEMINÁRIO DE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL-SEMIPAR, 1., 2016, Recife. **Anais Seminário de Patologia e recuperação estrutural- Semipar**. Recife: UPE, 2016. p. 01-12.

9- COLARES, Carla Joviana Gomes; SANDRI, Delvio. Efficiency of sewage treatment with septic tanks followed by constructed wetlands with different support materials. **Ambiente e Água - an interdisciplinary Journal of Applied Science**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 172-185, 30 abr. 2013. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1047>.

10- COLLAÇO, Andréia de Barros; ROSTON, Denis Miguel. O uso de pneus picados como meio suporte de leitos cultivados para o tratamento de esgoto sanitário. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 3, n. 1, p. 21-31, mar. 2006. Semestral.

11- COLLAZZI, Rafaella Colombo. **Patologias construtivas em uma Estação de Tratamento de Esgoto: causa, recuperação e prevenção em reatores UASB'S**. 2019. 114 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - Campus Florianópolis, Florianópolis, 2019.

12- CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA; “Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA”; publicada no Diário Oficial da União em 16/05/2011; Brasília, DF.

13- COUTINHO, Joana de Sousa. **Durabilidade: ataque por sulfatos**. Apostila da disciplina. Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto (Portugal), 2001.

14- DIAS, Nayara Gracyelle. **Avaliação da deterioração das estruturas de concreto de Estações de Tratamento de Esgoto**. 2018. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

15- DOMICIANO, Luma Lopes de Souza; BARBOSA, Thaís Rodrigues. **Estudo de durabilidade da estrutura de concreto armado em uma Estação de Tratamento de Esgoto – Caso de estudo na ETE Parque Atheneu**. 2020. 12 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2020.

16- DYER, Thomas. **Durabilidade do concreto**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2015. 536 p.

17- FERRAZ, Eida Karoline Videres; PORTO, Camila de Almeida; ROCHA, Elisângela Maria Rodrigues. Membranas de ultrafiltração no pós-tratamento de esgoto doméstico: análise da redução de cor e turbidez. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 10., 2019, Fortaleza, CE. **Anais Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. Fortaleza, CE: Universidade Federal da Paraíba, 2019. p. 01-07.

18- FERREIRA, Ivete Vasconcelos Lopes; DANIEL, Luiz Antônio. Fotocatálise heterogênea com TiO<sub>2</sub> aplicada ao tratamento de esgoto sanitário secundário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 335-342, dez. 2004. Fap UNIFESP (SciELO).

<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522004000400011>.

19- FERREIRA, Gabriela Oliveira; CAMPOS, Karina Bicalho Ervilha do Nascimento; CAMBRAIA NETO, Arnaldo Jose; PRAXEDES, Déborah Neide de Magalhães. Monitoramento da qualidade do esgoto bruto e do efluente tratado na ETE do IFMG – Campus Governador Valadares. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFMG, 10., 2022, Governador Valadares. **Anais Seminário de Iniciação Científica do IFMG**. [S.L.]: Ifmg-Campus Governador Valadares, 2022. p. 1-7.

20- FONSECA, Régis Pamponet da. **A estrutura do Instituto Central de Ciências: Aspectos históricos, científicos e tecnológicos de projeto, execução, intervenções e proposta de manutenção**. 2007. 231 p. Dissertação (Mestrado – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Distrito Federal, 2007.

21- FUSCO, Pércles Brasiliense. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012. 200 p.

22- GOBBI, Andressa; LUZ, Bruna Caroline de Paixão da; FREITAS, Cleverson Carraro de; SILVA, Gilmar Boeira da. Estudo comparativo das manifestações patológicas no concreto armado em ambientes de alta agressividade. **Novas Dinâmicas das Engenharias: atualidades e perspectivas**, [S.L.], p. 6-19, 2021. Editora In Vivo. <http://dx.doi.org/10.47242/978-65-995500-5-8-1>.

23- HOPPE FILHO, Juarez; RHEINHEIMER, B.; KHOE, Ss; ARTIGAS, Laila Valduga; AF, Saco; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de. Degradação do concreto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por ácido sulfúrico biogênico. **Revista de La Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de La Construcción**, [S. L.], v. 4, n. 2, p. 84-96, ago. 2014.

24- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do censo demográfico de 2010**. Uberaba 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=31&dados=8>. Acesso em: 04 jan. 2022.

25- KIM, Seong Soo.; LEE, Seung Tae. Microstructural Observations on the Deterioration of Concrete structure for sewage water treatment. **KSCE Journal of Civil Engineering**, vol. 14(5), p. 753-758, 2010.

26- KUDLANVEC JUNIOR, Vitor Lorival; CANALLE, Rafael; NUNES, Tuane K. Laia; RESENDE, Elaine C. R. C.; SILVA, Melissa Dione S. Correia. Levantamento de manifestações patológicas em estação de tratamento de esgoto: estudo de caso em reator UASB. **Simpósio Paranaense de Patologia das Construções**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 103-115, maio 2018. UFPR - Grupo de Pesquisa em Patologia e Reabilitação das Construções. <http://dx.doi.org/10.4322/2526-7248.010>.

27- MEHTA, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

28- MICHALAKE, Audrey Elis; SILVA, Cristiane Rosa da; SILVA, Frederico Fonseca da. Análise dos parâmetros físico-químicos do esgoto tratado de Curitiba (pr) - Estação Belém. **Ciência e Natura**, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 1560, 28 set. 2016. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x22180>.

29- MORI, Tadahiro; NONAKA, Tsuguhiro; TAZAKI, Kazue; KOGA, Minako; HIKOSAKA, Yasuo; NODA, Shuji. Interactions of nutrients, moisture, and pH on microbial corrosion of concrete sewer pipes. **Water Research**, V. 26, No. 1, p. 29-37, 1992.

30- MULLER, Yves Pereira. **Vistoria e avaliação das condições estruturais dos tanques de aeração da Estação de Tratamento de Esgoto Rubem Berta**. 2015. 21 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Patologia nas Obras Civas, Unidade Acadêmica de Educação Continuada, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2015.

31- OGA, Letícia de Carvalho. **Controle estatístico do processo de tratamento de efluentes domésticos em ETE com linhas de tratamento anaeróbio e aeróbio**. 2020. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental,

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2020.

32- PEIXOTO, Francisca Socorro; LIMA, Bruna Gomes de; BARROS, Antônio Ricardo Mendes; SILVA FILHO, Heraldo Antunes; SANTOS, Elivânia Vasconcelos Moraes dos. Importância da caracterização de esgotos gerados em instituições de ensino – Estudo de Caso – IFCE, Campus Limoeiro do Norte. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 07., 2012, Palmas, TO.

**Anais Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação.** Palmas, TO: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO, 2012. p. 01-09.

33- RIBEIRO, Jaqueline Cardoso; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro da. Acompanhamento operacional e avaliação de uma estação compacta de tratamento de esgoto sanitário: reator UASB seguido de filtro aerado submerso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 27-31, fev. 2018. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018164458>.

34- SEZERINO, Pablo Heleno; BENTO, Alessandra Pillizzaro. **Saneamento Básico II:**

parâmetros de caracterização dos esgotos domésticos. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 123 p.

35- SILVA, Julliana Alves da; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro da; SARTI, Arnaldo. Tratamento de esgoto sanitário de baixa carga utilizando reator compartimentado anaeróbio/aeróbio em escala piloto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 22, n. 3, p. 539-549, maio 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016144668>.

36- VELA, Francisco José. **Tratamento de esgoto sanitário em reator anaeróbio operado em bateladas sequenciais e periodicamente aerado.** 2006. 159 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia (Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

37- VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 4.Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014