



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Rúbia Oliveira do Nascimento

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO ETE AURENY E ETE NORTE NO MUNICÍPIO DE PALMAS-
TOCANTINS**

Palmas – TO
2021

Rúbia Oliveira do Nascimento

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE
ESGOTO ETE AURENY E ETE NORTE NO MUNICÍPIO DE PALMAS-
TOCANTINS**

A Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Ambiental para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e aprovada em sua forma final pelo Orientador pela Banca Examinadora.

Orientador: Sérgio Carlos Bernardo Queiroz

Palmas - TO

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

N244a Nascimento, Rúbia Oliveira.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO ETE AURENY E ETE NORTE NO MUNICÍPIO DE PALMASTOCANTINS. / Rúbia Oliveira Nascimento. – Palmas, TO, 2022.
56 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Ambiental, 2022.

Orientador: Sérgio Carlos Bernardo Queiroz

1. Eficiência das Estações de Tratamento. 2. Parâmetros. 3. Tratamento de Efluentes. 4. Monitoramento das Estações de Tratamento. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9 610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

“Não importa o que aconteça, continue a nadar”.
(Walters, Graham Procurando Nemo, 2003)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado força e coragem para segurar firme na batalha até aqui, por ter me sustentado nos momentos mais difíceis.

A minha mãe que é o meu maior exemplo, que se reiventou para conseguir me ajudar em todas as etapas, desde sempre esteve ao meu lado, e sempre foi por ela todo meu esforço e dedicação, ela que se privou de muita coisa para dar para mim e aos meus irmãos, mulher forte e guerreira, todo meu sucesso é reflexo do que você fez por mim.

Ao meu pai, que mesmo na sua simplicidade contribuiu de forma significativa durante esses 5 anos, que me enriqueceu com seus valores e princípios.

A minha irmã Núbia, que é minha segunda mãe, que durante a minha graduação me amparou e contribuiu de diversas formas, meu irmão Rubens que sempre esteve presente, vibrando com as minhas conquistas, a toda minha família que sempre estiveram ao meu lado, que não mediram esforços para me ajudar, Tia Nilde, Tio Edimar, Milena, Karina, Josélia, agradeço pelo carinho e pela torcida.

As minhas amigas Vanessa, Vitória, Valéria e Verônica, que são minhas irmãs de alma e coração, foram e são meu lar fora de casa, meu alicerce em todos os momentos longe da minha família, a vida é mais alegre e colorida por ter vocês ao meu lado.

Aos meus grandes amigos Mayhara, Giovanna e Bruno, que são minha maior inspiração de força e perseverança, que me apoiam e me incentivaram sempre, Bruno meu amigo de infância que me levou para fazer a matrícula na Universidade, e hoje está aqui comemorando essa grande vitória, Gio, foi o meu presente dentro da graduação, sempre trazendo alegria e me motivando a ser melhor a cada dia, Mayhara que é minha irmã, minha pessoa favorita no mundo, que mesmo longe sempre esteve presente, se faz presente em todos os momentos da minha vida.

Agradecimento especial ao meu orientador, Sérgio Bernado Queiroz, pelo apoio em me orientar e por toda atenção e auxílio do desenvolver desse trabalho.

Agradeço a Fundação Municipal de Meio Ambiente, pela oportunidade de trabalhar durante dois anos e poder utilizar os dados obtidos para realização deste trabalho.

Dedico este parágrafo ao meu namorado Rerison, que desde que entrou na minha vida veio somando e me apoiando, me fazendo enxergar em mim além do que eu mesma via, me fez descobrir que eu poderia ser muito melhor.

Muito obrigada!

RESUMO

NASCIMENTO, R. O. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO ETE AURENY E ETE NORTE NO MUNICÍPIO

DE PALMAS-TOCANTINS. 2021 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO.

Com a aplicação de redes de coleta e tratamento de esgoto, novos desafios surgem, nesse caso, o lançamento de efluentes em rios, lagos, mananciais, dentre outros, quando não tratados corretamente, causam uma rede de problemas para a saúde pública e o meio ambiente. Sendo assim, o presente trabalho busca avaliar por meio dos parâmetros físicos, químicos e biológicos a eficiência das Estações de Tratamento de Esgoto de Palmas, Tocantins, sendo elas, ETE Aureny e ETE Norte, por meio dos resultados dos parâmetros fornecidos pela Fundação Municipal de Meio Ambiente, obtidos através do laboratório da Empresa Concessionária BRK Ambiental|Saneatins durante os anos 2017, 2018 e 2019, os resultados foram avaliados com base nos valores permitidos pela legislação reguladora a CONAMA 430\2011. De forma geral as estações de tratamento de esgoto apresentam remoção de matéria, nas frações de sólidos totais e suspensos, sendo uma média de 42,8% para sólidos totais à 88,6% para sólidos suspensos totais, na ETE Aureny e de 53,4% para sólidos totais à 96,01% para sólidos suspensos totais na ETE Norte, as ETEs apresentaram boa remoção de matéria orgânica, sendo uma média de 99,9762% na ETE Aureny e 97,0039% na ETE Norte, assim como boa remoção de coliformes termotolerante. As ETEs estão eficientes para a remoção de boa parte dos parâmetros, contudo, alguns parâmetros como nitrogênio amoniacal e fósforo, estão em desconformidade com a legislação, a CONAMA 430\2011, tendo baixa eficiência na remoção dos mesmos.

Palavras-chaves: ETE. Tratamento de Efluentes. Parâmetros.

ABSTRACT

NASCIMENTO, R. O. EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF SEWAGE TREATMENT PLANTS ETE AURENY AND ETE NORTE IN THE MUNICIPALITY OF PALMAS-TOCANTINS.2021, 56 p. Course Conclusion Paper (Bachelor's Degree in Environmental Engineering). Federal University of Tocantins, Palmas, TO.

With the application of sewage collection and treatment networks, new challenges arise, in this case, the release of effluents into rivers, lakes, springs, among others, when not treated properly, cause a network of problems to health and the environment. Therefore, the present work aims to evaluate, through physical, chemical and biological parameters, the efficiency of the Sewage Treatment Plants of Palmas, Tocantins, namely, ETE Aureny and ETE Norte, through the results of the parameters provided by the Municipal Foundation of Meio Environment, through the laboratory of the BRK Ambiental Concessionaire | Saneatins during the years 2017, 2018 and 2019, the results obtained based on historical values by regulatory legislation in CONAMA. In general, sewage treatment plants present removal of organic matter, in the fractions of total and suspended solids, with an average of 42.8% for total solids to 88.6% for total suspended solids, at ETE Aureny and 53.4 % for total solids. 96.01% for total suspended solids in ETE North, as dissipation of ETES with good removal of organic matter, as well as good removal of Thermotolerant Coliforms, with an average of 99.9762% in ETE Aureny and 97.0039% in ETE North. As ETES are efficient for the removal of most parameters, however, some parameters such as Nitrogen Ammonia and Phosphorus are not in compliance with the CONAMA 430 legislation, having low efficiency in their removal.

Keywords: ETE. Wastewater Treatment. Parameters.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Mapa de Localização da ETE – Aurenny..... | 31 |
| Figura 2 – Fluxograma do Sistema de Tratamento ETE Aurenny..... | 31 |
| Figura 3 – Mapa de Localização da ETE – Norte | 32 |
| Figura 4 – Fluxograma do Sistema de Tratamento ETE Norte | 32 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Operações e processos de tratamento de esgotos sanitário | 18 |
|---|----|

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Principais funções dos principais tipos de lagoas..... | 24 |
| Tabela 2 – Índices de Atendimento de Água e Esgoto..... | 30 |
| Tabela 3 – Investimentos Realizados..... | 30 |
| Tabela 4 – Parâmetros e métodos utilizados nas análises de amostras..... | 33 |
| Tabela 5 – Resumo dos dados para DBO das ETEs Aureny e Norte..... | 36 |
| Tabela 6 – Resumo dos dados para DQO das ETEs Aureny e Norte..... | 39 |
| Tabela 7 – Resumo dos dados para Sólidos Totais das ETEs Aureny e Norte..... | 41 |
| Tabela 8 – Resumo dos dados para Sólidos Suspensos Totais das ETEs Aureny e Norte | 43 |
| Tabela 9 – Resumo dos dados para Sólidos Suspensos Totais das ETEs Aureny e Norte | 46 |
| Tabela 10 – Resumo dos dados para Fósforo Total das ETEs Aureny e Norte..... | 50 |
| Tabela 11 – Resumo dos dados para Coliformes Termotolerantes das ETEs Aureny e Norte..... | 52 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Concentração de DBO nas etapas do sistema de entrada e saída da ETEAureny..... | 34 |
| Gráfico 2 – Concentração de DBO nas etapas do sistema de entrada e saída da ETENorte..... | 35 |
| Gráfico 3 – Percentual de remoção de DBO da ETE Aureny e ETE Norte | 36 |
| Gráfico 4 – Concentração de DQO nas etapas do sistema de entrada e saída da ETEAureny..... | 37 |
| Gráfico 5 – Concentração de DQO nas etapas do sistema de entrada e saída da ETENorte..... | 38 |
| Gráfico 6 – Percentual de remoção de DQO da ETE Aureny e ETE Norte..... | 38 |
| Gráfico 7 – Concentração de Sólidos Totais nas etapas do sistema de entrada e saída daETE Aureny..... | 40 |
| Gráfico 8 – Concentração de Sólidos Totais nas etapas do sistema de entrada e saída daETE Norte..... | 40 |
| Gráfico 9 - Percentual de remoção de Sólidos Totais das ETES Aureny e Norte..... | 41 |
| Gráfico 10 – Concentração de Sólidos Suspensos Totais nas etapas do sistema de entradae saída da ETE Aureny..... | 42 |
| Gráfico 11 – Concentração de Sólidos Totais nas etapas do sistema de entrada e saída daETE Norte..... | 43 |
| Gráfico 12 - Percentual de remoção de Sólidos Totais das ETES Aureny e Norte..... | 43 |
| Gráfico 13 – Concentração de Nitrogênio Amoniacal Total nas etapas do sistema deentrada e saída da ETE Aureny | 45 |
| Gráfico 14 – Concentração de Nitrogênio Amoniacal Total nas etapas do sistema deentrada e saída da ETE Norte | 45 |
| Gráfico 15 - Percentual de remoção de Nitrogenio Amoniacal das ETES Aureny e Norte..... | 46 |
| Gráfico 16 – Concentração de Fósforo Total nas etapas do sistema de entrada e saída daETE Aureny..... | 48 |
| Gráfico 17 – Concentração de Fósforo Total nas etapas do sistema de entrada e saída daETE Norte..... | 49 |
| Gráfico 18 - Percentual de remoção de Fósforo Total das ETES Aureny e Norte..... | 49 |
| Gráfico 19 – Concentração de Coliformes Termotolerantes nas etapas do sistema deentrada e saída da ETE Aureny | 51 |
| Gráfico 20 – Concentração de Coliformes Termotolerantes nas etapas do sistema deentrada e saída da ETE Norte | 51 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|------------------------------------|---|
| CH₄ | Metano |
| CO₂ | Dióxido de carbono |
| CONAM | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química Oxigênio |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgotos |
| H₂O | Água |
| H₂S | Sulfeto de hidrogênio |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| NH₃ | Hidróxido de amônia |
| NO₃⁻ | Nitrato |
| OD | Oxigênio Dissolvido |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| POC | Processos oxidativos convencionais |
| POA | Processos oxidativos avançados |
| RAFA | Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente |
| SO₄⁻² | Sulfatos |
| SST | Sólidos Suspensos Totais |
| SSF | Sólidos Suspensos Fixos |
| SSV | Sólidos Suspensos Voláteis |
| UASB | Upflow Anaerobic Sludge Blanket |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 2 | OBJETIVOS | 17 |
| | 2.1 Objetivo Geral | 17 |
| | 2.2 Objetivos Específicos | 17 |
| 3 | REVISÃO DE LITERATURA | 18 |
| | 3.1 Sistemas de esgotamento sanitário | 18 |
| | 3.2 Tratamentos de efluentes | 19 |
| | 3.3 Etapas do tratamento de efluentes | 19 |
| | 3.3.1 Tratamento Preliminar em Estação de Tratamento de Esgoto ... | 20 |
| | 3.3.2 Tratamento Primário | 20 |
| | 3.3.3 Tratamento secundário | 20 |
| | 3.3.4 Tratamento terciário | 20 |
| | 3.4 Lagoas de Estabilização | 22 |
| | 3.5 Lagoas Anaeróbias | 23 |
| | 3.6 Lagoas Facultativas | 23 |
| | 3.6.1 Processos anaeróbio | 24 |
| | 3.6.2 Processos aeróbio | 25 |
| | 3.7 Lagoas de Maturação | 27 |
| | 3.8 Reator UASB | 27 |
| | 3.9 Condições do Esgoto em Palmas – Tocantins | 28 |
| 4 | MATERIAIS E MÉTODOS | 30 |
| | 4.1 Localizações da área de estudo | 30 |
| | 4.1.1. ETE Aurenny | 30 |
| | 4.1.2. ETE Norte | 31 |
| | 4.2 Monitoramento das Estações de Tratamento | 32 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 33 |
| | 5.1 Dados Referentes a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO | 33 |
| | 5.2 Dados Referentes a Demanda Química de Oxigênio – DQO | 36 |
| | 5.3 Dados Referentes aos Sólidos | 38 |
| | 5.3.1. Sólidos Totais – ST | 38 |
| | 5.3.2. Sólidos Suspensos Totais – SST | 40 |
| | 5.4 Dados Referentes a Nitrogênio Amoniacal | 43 |
| | 5.5 Dados Referentes a Fósforo Total | 46 |

| | |
|---|----|
| 5.6. Dados referentes a Coliformes Termotolerantes..... | 48 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 51 |
| 7 REFERENCIAS..... | 52 |

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas ambientais enfrentados pelos brasileiros tem sido o esgoto doméstico sem tratamento. O lançamento de esgoto não tratado no solo pode causar poluição das águas, o que pode levar a sérios problemas de saúde pública como cólera, hepatite, vermes, diarreia, etc. Devido à falta de políticas públicas de conscientização e investimento governamental, a população de baixa renda e rural são os grupos mais afetados por este problema. Segundo o IBGE (2007), no Brasil 47,2% da população não possui rede de esgoto ou mesmo fossa séptica. Isso significa que quase 100 milhões de moradores não contam com serviços de saneamento básico.

O crescimento populacional, a melhoria dos indicadores de saúde pública e de qualidade de vida têm como consequência o aumento nas cobranças para que haja avanço contínuo na qualidade dos recursos naturais, sobretudo relacionados à água potável. A água é imprescindível à vida e ao desenvolvimento econômico, sendo seu uso consciente e sustentável uma condição fundamental ao futuro da sociedade. Além disso, a água tratada inadequadamente é um problema para saúde pública, uma vez que eleva o quantitativo de infecções gastrointestinais e doenças causadas por bactérias e protozoários. Dessa forma, estratégias devem prever sua conservação, a redução do consumo e o seu reúso. Com o aumento da demanda de água para consumo doméstico e industrial, temos a geração consequente e crescente de águas residuárias (METCALF; EDDY, 2003; MAYER et al., 2021).

A população brasileira é predominantemente urbana, com um percentual de 80% das pessoas vivendo nas cidades. Devido a essa grande concentração populacional nas zonas urbanas, problemas relacionados à água são constantes, tais como falta de água em algumas regiões, poluição de mananciais, doenças devido à contaminação da água, entre outros que afetam a saúde da população e do meio ambiente. Esses problemas são agravados devido à precariedade da infraestrutura destinada ao abastecimento de água e tratamento de efluentes (TUCCI et al., 2000).

A falta de tratamento de esgoto, ou o tratamento inadequado/insuficiente pode acarretar a contaminação da água, implicando em uma série de problemas relacionados à saúde humana. No esgoto sanitário encontram-se grandes quantidades de bactérias, vírus entéricos e parasitas intestinais (protozoários e helmintos) que podem contaminar seres humanos acarretando danos a sua saúde (GONÇALVES, 2003).

Esgotos domésticos ou também chamados de sanitários contêm aproximadamente 99,9% de água e 0,1% de sólidos, e é devido a essa pequena fração de sólidos que se faz necessário o tratamento dessas águas a fim de evitar a poluição. Cada região apresenta características diferentes em seu esgoto e essas características variam conforme o clima, hábitos da população da região e sua situação econômica (BARROS et al., 1995). O esgotodoméstico compreende a água utilizada para as diversas atividades do dia a dia, como higiene pessoal, limpeza, preparo de alimentos entre outras. Esses esgotos são oriundos de residências, comércio em geral, clubes, hotéis, etc. São caracterizados por conter água contaminada basicamente por restos de alimentos, sabões e fezes, podendo gerar a contaminação da água por bactérias ou por substâncias orgânicas de difícil degradação (ARCHELA et al., 2003).

Os sistemas de tratamento e sua disposição são determinados através das condições estabelecidas para o efluente bem como para a qualidade da água dos corpos receptores, dependendo também das características físico-químicas e biológicas do efluente. Essaremoção de componentes poluentes que objetiva o adequamento do lançamento à qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente relaciona-se ao nível de tratamento e ao nível de eficiência do mesmo (VON SPERLING, 2005).

A qualidade do efluente obtido será proporcional ao nível de tratamento alcançado e a manutenção de uma elevada eficiência média global do sistema (BARROS et al., 1995). Em sua maioria os sistemas de tratamento de esgotos são biológicos aeróbios ou anaeróbios, sendo também comum o uso de processos mistos (aeróbios/anaeróbios) sequenciais (SCHLUSAZ, 2014).

A quantidade e a qualidade do efluente tratado ao longo destes processos necessitam de avaliação e monitoramento constantes. O objetivo do monitoramento é avaliar a efetividade do tratamento, o atendimento aos padrões normativos e indicar possíveis ajustes ou modificações na operação, sendo as informações geradas ao longo do tempo cruciais para a tomada de decisões técnico-administrativas (LAY-EKUAKILLE et al., 2019).

A destinação de esgotos e efluentes tratados em cursos hídricos deve atender aos padrões do seu corpo receptor, determinados pelas legislações vigentes (MMA, 2013). O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) determina, em suas Resoluções no 357/2005 e nº 430/2011, a classificação dos corpos de água, as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, e as condições e padrões de lançamento de efluentes em âmbito nacional.

Desde a implantação do Estado do Tocantins, a gestão básica da saúde no estado a cidade de Palmas e outros municípios já passaram por diversas empresas, O município Palmas, como os demais municípios do norte do estado de Goiás, era abastecido pela Companhia de

Saneamento de Goiás. Após a criação do Estado, e o consequente desmembramento da Companhia de Saneamento de Goiás – SANEAGO, foi criada a SANEATINS - Companhia de Saneamento do Tocantins, de domínio do estado, porém como objetivo de desenvolver os serviços de saneamento no novo Estado, em 1998 o Governo do Tocantins buscou uma parceria societária estratégica com a iniciativa privada, tornandoa Saneatins uma empresa com gestão privada, de acordo com (BRASIL P. M., 2017, p.61).

Quanto ao destino do efluente tratado, a maior parte das vezes são cursos naturais de água, o oceano ou até mesmo, a disposição no solo. A reutilização da água é uma tendência mundial, na qual o Brasil aos poucos incorpora. O emprego da água de reuso na agricultura pode ser uma estratégia bastante eficaz para preservar os recursos hídricos e diminuir sua utilização indiscriminada, haja vista que essa atividade econômica é a que mais emprega água em seu processo produtivo, com cerca de 70% de todo o consumo realizado no mundo(PENA, 2015).

Neste sentido, o presente trabalho pretende avaliar eficiência das Estações de Tratamento de Esgoto do município de Palmas, Tocantins, sendo elas: ETE Aurenny e ETE Norte, por meio dos parâmetros físicos, químico e biológicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- O trabalho teve como objetivo geral avaliar a eficiência de tratamento dos esgotosdomésticos coletados no município de Palmas - TO.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos o nível do tratamento das ETEs Aurenny e Norte, operadas pela concessionária de água e esgoto de Palmas;
- Tratar e analisar os dados obtidos pela Fundação Municipal de Meio Ambiente, órgão fiscalizador, nos anos 2017, 2018 e 2019.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sistemas de esgotamento sanitário

A poluição das águas decorrente de um sistema deficiente de coleta e tratamento de águas residuárias urbanas tornou-se um problema crucial que vem comprometendo a qualidade de vida, os avanços em saúde e o desenvolvimento econômico, especialmente nas grandes áreas metropolitanas (PEGORINI et al., 2005).

Existem, basicamente, dois tipos de sistemas de coleta pública: sistema separador e sistema combinado. A maioria das cidades brasileiras adota o “sistema separador” de esgotamento sanitário, ou seja, as águas pluviais são coletadas independentemente pelas galerias pluviais e levadas para descargas diretas em corpos de água. Nas Estações de Tratamento de Esgotos - ETEs devem chegar apenas os esgotos coletados das residências (NETO, 2011). Alguns países adotam o “sistema combinado” que misturam água da chuva com esgotos e são transportados conjuntamente pelo mesmo sistema, sendo que nesse caso a ETE deverá ser dimensionada levando-se em consideração a parcela correspondente às águas pluviais (VON SPERLING, 2005).

Os sistemas de coleta e tratamento de esgotos urbanos projetados como sistemas separadores absolutos são destinados a coletar e transportar o esgoto separadamente das águas pluviais. Sendo assim, tanto o projeto do sistema de coleta e transporte quanto o projeto das Estações de Tratamento de Esgotos não levam em consideração o aumento de vazão advindo das águas de chuva ou de fugas de drenagem de águas pluviais quando ocorrem fortes chuvas (DEZOTTI, 2008);

Na ocorrência de chuvas torrenciais, as vazões que chegam as ETEs são significativamente alteradas em função das ligações clandestinas no sistema de coleta, alterando as características e qualidade da água que chega às estações de tratamento (SANTOS, 2013).

A definição do sistema de tratamento de esgotos deve ser feita de forma a adequar o lançamento do efluente a uma qualidade desejada ou ao limite de padrão de qualidade imposto pela legislação vigente. A remoção dos poluentes está associada aos conceitos de níveis de tratamento e eficiência do tratamento (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Quadro 1 - Operações e processos de tratamento de esgotos sanitários

| Poluente | Operação, processo ou sistema de tratamento |
|---------------------------------------|---|
| Sólidos em suspensão | Gradeamento, remoção de areia, sedimentação e disposição no solo. |
| Matéria orgânica biodegradável | Lagoas de estabilização e variações, lodos Ativados e variações, reatores aeróbicos com Biofilmes, tratamento anaeróbio e disposição no solo. |
| Organismos patogênicos | Lagoas de maturação, disposição no solo, desinfecção com produtos químicos, desinfecção com radiação ultravioleta e membranas. |
| Nitrogênio | Nitrificação e desnitrificação biológica, lagoas de maturação e de alta taxa, disposição no solo e processos físico-químicos |
| Fósforo | Remoção biológica, lagoas de maturação de alta taxa e processos físico-químicos. |

Fonte: Operações, processos e sistemas de tratamento utilizados para remoção de poluentes (VON SPERLING, 2005).

As características das ETEs dependem de algumas condições prévias, que devem ser atendidas: a classe do rio, estabelecida pelo enquadramento, que receberá o efluente final; as exigências legais de disposição e qualidade; as condições e capacidade de depuração do corpo receptor, além da definição da eficiência necessária para o tratamento (BASSANI, 2005).

Entre as cidades brasileiras, apenas 55% das cidades possuem rede coletora de esgoto e apenas 28% tratam o esgoto coletado. Em relação ao tipo de tratamento de esgoto coletado, apenas. Segundo dados do IBGE (2016), 16,28% possuíam ensino médio e 2,66% ensino superior. Segundo o IBGE (2011), no Atlas da Saúde 2011, com base na PNSB em 2008, esgoto doméstico ainda tem um longo caminho a percorrer Brasil para melhorar a qualidade de vida e a sustentabilidade das pessoas de Meio Ambiente.

3.2 Tratamentos de efluentes

O tratamento de efluentes compreende o tratamento de águas residuárias que na sua grande maioria apresenta matéria orgânica poluente que necessitará de algum tipo de tratamento seja ele químico, biológico ou até mesmo natural. O tratamento de efluentes é extremamente necessário, pois o mesmo está ligado diretamente à poluição ambiental de recursos hídricos que são utilizados para a captação de águas para consumo humano e de animais, degradação visual do meio ambiente, inundações devido ao assoreamento dos rios e córregos em cidades que estão próximas a estas fontes além de inúmeras doenças causadas pela ingestão ou contato com águas contaminadas como, por exemplo, cólera, hepatite A, esquistossomose, leptospirose, diarreia entre outras (IBGE, 2011).

3.3 Etapas do tratamento de efluentes

O tratamento de esgoto doméstico, por conter mais matéria orgânica e microrganismos patogênicos do que a água bruta a ser tratada para consumo humano, requer, portanto, mais operações e processos unitários, dependendo das características do esgoto a ser tratado. O tratamento é dividido em quatro etapas: preliminar, primária, secundária e terciária.

3.4.1 Tratamento Preliminar em Estação de Tratamento de Esgoto

O tratamento preliminar consiste na remoção de sólidos grosseiros, areia e gordura, mediante operações físicas de gradeamento, peneiramento, sedimentação e retenção; na degradação de óleos, graxas, e sólidos flutuantes (escuma) pelo tratamento biológico (reator de degradação de gordura); e no tratamento adequado dos gases produzidos nessas unidades (BORGES, 2014).

Este tipo de tratamento tem a função de eliminar sólidos grosseiros do sistema e é constituído unicamente por processos físicos. Nesta etapa, é feita a remoção dos materiais em suspensão, através da utilização de grelhas e de crivos grossos (gradeamento), e a separação da água residual das areias a partir da utilização de canais de areia (desarenação). O principal objetivo deste tratamento está principalmente na proteção dos dispositivos de transporte (bombas e tubulações), proteção das unidades de tratamento subsequentes e proteção dos corpos receptores (BAIRD, 2002; VON SPERLING, 1995).

Na etapa de desarenação ocorre a remoção da areia por sedimentação na caixa de areia, onde grãos de areia com maiores dimensões e densidade vão para o fundo do tanque, enquanto que a matéria orgânica, de sedimentação lenta continua em suspensão e é tratada posteriormente nos próximos níveis (SANEPAR, 2005).

3.4.2 Tratamento Primário

Esta etapa de tratamento visa remover sólidos sedimentáveis presentes e por consequência a remoção parcial da matéria orgânica. O tratamento primário é composto por mecanismos físicos de remoção, podendo compreender atividades de sedimentação, decantação, flotação e digestão de sólidos (VON SPERLING, 1995).

Os sólidos sedimentáveis são retirados através de tanques sedimentadores ou decantadores. O esgoto flui vagarosamente pelos decantadores, fazendo com que sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradativamente no fundo, tendo assim a formação do lodo primário bruto. Já os de menor densidade como graxas e óleos, são tidos como materiais flutuantes e removidos na superfície. A eficiência de remoção desta etapa na remoção de sólidos grosseiros gira em torno de 60 a 70 % e a de DBO em torno de 25 e 35% (BAIRD, 2002; PELEGRIN, 2004; VON SPERLING, 2005).

3.4.3 Tratamento secundário

O tratamento secundário consiste na oxidação da matéria orgânica complexa, tais como carboidratos, óleos, graxas, lipídios e proteínas, em compostos mais simples e menos poluentes, como CO₂, NH₃, H₂O, H₂S, CH₄ e etc., através da comunidade de microrganismos

presentes no lodo (bactérias, vírus, fungos, algas e etc.) que a utilizam como fonte de energia para o crescimento e manutenção das suas necessidades energéticas. Esta oxidação pode ser conduzida em ambiente onde há a presença de oxigênio (processo aeróbico) ou ser conduzido em ambiente desprovido de oxigênio (processo anaeróbico) (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

O tratamento secundário visa remover sólidos, matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel), matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa) do efluente e nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (F), esta etapa é constituída por mecanismo puramente biológico, realizada por reações bioquímicas dos microrganismos (BAIRD, 2002).

Um conjunto de microrganismos fazem parte do processo, sendo eles: bactérias, protozoários, fungos, dentre outros. Quanto ao fundamento deste processo biológico, ele se dá através do contato efetivo entre esses microrganismos e a matéria orgânica presente do esgoto, de forma que essa matéria serve de alimento aos microrganismos, onde estes convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular, responsável pelo crescimento e reprodução dos microrganismos na presença de oxigênio, já na produção anaeróbica tem-se a formação do gás metano (VON SPERLING, 2005).

3.4.4 Tratamento terciário

O tratamento terciário é utilizado para a remoção de componentes específicos que não são eliminados nos tratamentos primário e secundário, como, por exemplo, os microrganismos patogênicos e os compostos orgânicos que não são removidos por técnicas físico-químicas tradicionais utilizadas nos tratamentos primários (TEIXEIRA, 2002).

O tratamento terciário mais comum é a desinfecção por cloro, seja ele da forma de gás cloro, dióxido de cloro ou hipoclorito, segundo FUKUSHIMA *et al.* (2014). A desinfecção tem como objetivo a eliminação parcial ou total de um grupo de microrganismos que podem causar doenças. O processo é utilizado por ser extremamente barato, facilmente disponível e eficiente para a destruição da maioria dos microrganismos patogênicos, porém possui a desvantagem de poder formar compostos tóxicos para os seres humanos como, por exemplo, os organoclorados (RICHTER, 2011).

Os processos oxidativos convencionais (POC) são técnicas utilizadas para a mineralização de poluentes orgânicos através de processos físicos, químicos e biológicos (RODRIGUES-SILVA *et al.*, 2014). As técnicas mais utilizadas são a incineração e o tratamento biológico. A incineração é o POC mais conhecido e antigo e, por este motivo, é o mais utilizado, porém tem a desvantagem de gerar compostos altamente tóxicos em certas condições de tratamento e requerer alta carga energética. Os processos que utilizam tratamento biológico possuem uma grande eficiência de remoção de diversos compostos orgânicos poluentes,

porém apresentam as desvantagens de gerar uma grande quantidade de biomassa, serem muito sensíveis as condições ambientais e demandarem um longo tempo de tratamento (TEIXEIRA, JARDIM, 2004).

Em contraponto às desvantagens descritas para os processos oxidativos convencionais novas técnicas foram desenvolvidas para minimizar estes problemas e obter os mesmos resultados. Os processos oxidativos avançados (POA) são técnicas utilizadas para a mineralização química de poluentes orgânicos altamente estáveis em dióxido de carbono, água e ânions com uma toxicidade geralmente menor e que podem ser tratados com processos tradicionais (RODRIGUES-SILVA *et al.*, 2014). Estas técnicas utilizam compostos químicos altamente oxidantes como, por exemplo, radical hidroxila, oxigênio atômico, ozônio, peróxido de hidrogênio, entre outros, podendo utilizar radiação ou não. Estes processos possuem a vantagem de ser extremamente baratos e gerar menos compostos tóxicos em relação aos POC (TEIXEIRA JARDIM, 2004).

3.4 Lagoas de Estabilização

Lagoas de estabilização é um sistema de tratamento de esgoto cujo objetivo é a remoção da matéria carbonácea, através da atividade interativa de bactérias e algas (VONSPERLING, 2002). Elas se constituem de grandes reservatórios de pequena profundidade geralmente delimitados por diques de terra, paredes de alvenaria ou escavados no próprio terreno (SILVA S. A., 1982 e MARA, 1976). Vários autores apontam tal método de tratamento como mais adequado aos países em desenvolvimento de regiões tropicais e subtropicais, pois há disponibilidade de área próxima às cidades e a ação natural do calor da luz solar aceleram o crescimento de microrganismos, favorecendo a degradação biológica da matéria orgânica. (MARA, 1976; SILVA, 1982; ARTHUR, 1983; MARA & PEARSON, 1986; PEARSON, 1987 e DE OLIVEIRA, 1990).

As lagoas de estabilização são classificadas em anaeróbias, facultativas e de maturação, de acordo com os processos predominantes de biodegradação da matéria orgânica, a oxidação aeróbia e a digestão anaeróbia (Arthur, 1983), que as definem pela faixa de cargas orgânicas a que estão submetidas (Parker, 1979; de Oliveira, 1990).

Tabela 1: Principais funções dos principais tipos de lagoas

| TIPO DE LAGOA | PROFUNDIDADE | TEMPO DE RETENÇÃO (DIAS) | PAPEL PRINCIPAL | EFICIÊNCIA (%) |
|--------------------|--------------|--------------------------|---|--|
| ANAERÓBIA | 2-5 | 3-5 | Sedimentação de sólidos; remoção de DBO e helmintos, etc. | DBO: 40-60% Helmintos: 70% |
| FACULTATIVA | 1-2 | 4-6 | Remoção DBO | DBO: 50-70% e aumento de SS devido à floração de algas |
| MATURAÇÃO | 1-2 | 12-18 | Remoção de patógenos e nutrientes. | DBO: 30-90% SS: 20-40% Nitrogênio: 40-60% Helmintos: 100% |

Fonte: Adaptação de HORAN (1989)

3.5 Lagoas Anaeróbias

Para as lagoas anaeróbias, segundo JORDÃO e PESSOA (1995), a estabilização ocorre pelos fenômenos de digestão ácida e fermentação metanogênica. Inicialmente, os microrganismos facultativos, na ausência de oxigênio dissolvido, transformam compostos orgânicos complexos em substâncias e compostos mais simples, principalmente ácidos orgânicos. Verifica-se, nesta fase, a produção de material celular (síntese) e compostos intermediários (gás sulfídrico e mercaptanas) e o pH reduz para valores entre 5 e 6.

HORAN (1989) ressalta que, a base para uma lagoa anaeróbia é determinar a carga orgânica volumétrica. Baseado em estudo empírico utilizam-se valores já calculados para a carga orgânica volumétrica (λv), de acordo com a temperatura, ou seja, para temperatura abaixo de 10°C, o valor para λv é de 100 g/m³ d, e para temperaturas acima de 20°C, é usado 300 g/m³ d.

O tempo de detenção, a profundidade e a aplicação da carga orgânica também são requisitos importantes para evitar odores e reduzir a concentração orgânica.

3.6 Lagoas Facultativas

Essas lagoas são divididas nas zonas: aeróbia, na camada superior, anaeróbia, na parte inferior, no meio, também chamada de facultativa. Eles são projetados para operar como uma unidade, ou em sequência em lagoas anaeróbias e aeróbias, ou mesmo após outra unidade. Nesses lagos, a matéria orgânica é estabilizada por meio de oxidação aeróbia, redução fotossintética e fermentação anaeróbia, mas os processos prevalecentes são reações biológicas, incluindo: oxidação de bactérias de substâncias carbonáceas;

nitrificação de substâncias nitrogenadas; fotossíntese através de algas e anaeróbicos do fundo do lago. Bactérias reduzem a matéria orgânica e oxidar a camada superior.

STERRIT e LESTER (1988) descrevem como um tratamento combinado entre oxidação aeróbia, fotossíntese e digestão anaeróbia e que, com a profundidade variando entre 1 e 1,5m, apresenta duas zonas principais para atividade microbiológica.

A alternância das condições anaeróbia/aeróbia sugere nitrificação seguida de desnitrificação e, em condições anaeróbias e pH alto, ocorre a conversão de amônio para amônia, que é liberado para atmosfera pelo fenômeno conhecido por volatilização. (HORAN, 1989).

3.7.1 Processos anaeróbios

A degradação da matéria orgânica complexa por parte dos microrganismos ocorre em um ambiente anóxico, ou seja, sem a presença de oxigênio, de forma muito mais complexa do que se o tratamento fosse aeróbio, adaptada de Campos (1999).

Hidrólise: nesta etapa a matéria orgânica complexa é convertida em compostos mais simples e solúveis de menor massa molar por bactérias fermentativas. As proteínas são convertidas a aminoácidos, os carboidratos são convertidos em açúcares solúveis, principalmente mono e dissacarídeos, os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa, entre 15 à 17 carbonos. Esta etapa, em muitos casos, é a etapa limitante de todo o tratamento anaeróbio.

Acidogênese: os compostos mais simples gerados na hidrólise são absorvidos pelas bactérias fermentativas anaeróbias obrigatórias, que apenas sobrevivem em ambientes isentos de oxigênio, e são excretados como substâncias mais simples. Os ácidos graxos de cadeia longa são convertidos em ácidos graxos voláteis de cadeia curta, os açúcares solúveis são convertidos em álcoois e ácido lático e compostos minerais simples.

Acetogênese: nesta fase ocorre a transformação dos produtos que serão o substrato para a formação do metano na etapa de metanogênese. Estes produtos são o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono.

Metanogênese: ocorre a redução do ácido acético por parte das bactérias acetotróficas ou a redução do dióxido de carbono por parte das bactérias hidrogenotróficas formando metano como produto final.

O tratamento anaeróbio possui vantagens em relação ao tratamento aeróbio, pois gera um volume de lodo 30% menor do que o aeróbio diminuindo o custo de tratamento, transporte e disposição deste lodo gerado (CAMPOS, 1999). Porém, possui a desvantagem de ser mais sensível as condições climáticas e gerar produtos com odor desagradável o que dificulta sua

implementação em zonas centrais de cidades (SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

No tratamento anaeróbio pode ocorrer também a oxidação da matéria orgânica por outros oxidantes alternativos, como, por exemplo, o NO_3^- e o sulfato (SO_4^{2-}). Nesta forma de tratamento, temos a formação de produtos como o nitrogênio molecular no processo chamado de desnitrificação (SANT'ANNA JUNIOR, 2010) e o ácido sulfídrico, ou gás sulfídrico, um composto com odor desagradável, corrosivo e venenoso para as bactérias produtoras de metano na etapa de metanogênese (CAMPOS, 1999).

Lagoas anaeróbias e os decanto-digestores são exemplos de tratamento anaeróbio clássicos. Inúmeras pesquisas para o desenvolvimento de diferentes tecnologias foram desenvolvidas para o tratamento anaeróbio, nas quais podemos citar os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e mantado, chamados de UASB, (LI et al., 2014), e os biorreatores associados a membranas, chamados BRM (RAMOS et al., 2014).

3.7.2 Processos aeróbios

No processo aeróbio para o tratamento de efluentes a comunidade microbiana utiliza a matéria orgânica como doadora de elétrons e o oxigênio gasoso como receptor de elétrons ocorrendo, assim, a oxidação da matéria orgânica inicial complexa e poluente em compostos químicos mais simples e menos poluentes, tais como o CO_2 , H_2O e NH_3 . Este processo é muito mais simples que o processo anaeróbio, mais rápido e com um aproveitamento energético muito maior por parte da comunidade microbiana. Porém, este maior aproveitamento tem como desvantagem uma maior geração de biomassa no sistema necessitando etapas adicionais para tratar esta biomassa gerada (METCALF e EDDY, 2004; SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

No processo aeróbio o sistema causa um estresse nas bactérias que realizam a conversão dos poluentes, através da pouca disponibilidade de nutrientes, variações locais bruscas de pH e temperatura, propiciando um ambiente competitivo e predatório destas bactérias com a comunidade microbiana. Devido a estas adversidades, as bactérias produzem camadas de polímeros ou cápsulas que facilitam a adesão em flocos formando a biomassa (SANT'ANNA JUNIOR, 2010; VAN HANDEEL, MARAIS, 1999).

Estes flocos possuem diferentes capacidades de adesão, podendo o sistema ser fixo ou em suspensão. Para o sistema com biomassa fixa tem-se como exemplos o leito expandido (VILLEMUR et al., 2015) e o air lift (GUO et al., 2014) e para o sistema com biomassa em suspensão tem-se as lagoas aeradas agitadas, poços profundos e o tanque agitado com reciclo de biomassa, chamado de lodos ativados, sendo o tratamento mais comum (OLIVEIRA, 2014).

No tratamento por lodos ativados, conforme mencionado, a biomassa permanece em suspensão através do movimento provocado pela aeração do tanque por difusores de ar localizados no fundo do tanque, ou através de aeradores mecânicos localizados na superfície. Ocorre também, um reciclo da biomassa decantada no decantador secundário localizado ao lado do tanque de aeração. O decantador é um equipamento com paredes inclinadas que promove a separação das fases líquida e sólida (METCALF e EDDY, 2004), ocasionando um aumento da concentração da biomassa e diminuindo o tempo do tratamento, pois esta biomassa não apresentara, desta forma, a fase lag da curva de crescimento dos microrganismos, localizada no apêndice A. A parte de lodo que não é recirculada para o sistema é enviada para digestores de lodo de excesso (VANHAANDEL, MARAIS, 1999; SANT'ANNA JUNIOR, 2010).

A oxidação da matéria complexa e poluente em compostos mais simples dependa da transferência de oxigênio da fase gasosa para a fase líquida. O oxigênio dissolvido é necessário para a oxidação dos poluentes e, também, para a respiração endógena por parte dos microrganismos, que representa o consumo de oxigênio necessário para a oxidação das reservas energéticas dos microrganismos quando ocorre uma diminuição na concentração de nutrientes no meio (SANT'ANNA JUNIOR, 2010; OLIVEIRA, 2014).

A oxidação da matéria carbonácea é realizada principalmente por bactérias em um sistema complexo, que apresenta ainda alguns organismos predadores como, por exemplo, protozoários (amebas (Sarcodina), flagelados (Mastigophora) e ciliados (Ciliophora)) que promovem a predação de flocos pequenos que não sedimentam rapidamente assegurando um efluente clarificado. Neste sistema, há a predominância de bactérias heterotróficas, que utilizam fontes de carbono orgânico como substrato e possuem alta taxa de reprodução, garantindo ao sistema robustez frente a variações de concentrações. O processo ocorre em uma grande faixa de temperatura (10 – 40°C), pH entre 7,5 a 8,5 e faixa de oxigênio dissolvido maior que 2,0 mg/L (SANT'ANNA JUNIOR, 2010; VON SPERLING, 2012).

A oxidação da matéria nitrogenada, um dos macronutrientes presentes em efluentes, é um processo mais lento do que a oxidação da matéria carbonácea e necessita um tempo maior de contato, tempo de residência do efluente de aproximadamente 10 dias, entre a biomassa e o efluente, pois as bactérias nitrificantes, como, por exemplo, as Nitrossomonas que convertem a amônia em nitrito e as Nitrobacter que convertem nitrito em nitrato, e as bactérias desnitrificantes que realizam a conversão do nitrato em nitrogênio atmosférico, apenas conseguem se desenvolver quando a taxa de crescimento das bactérias que realizam a oxidação da matéria carbonácea estiver em um patamar de estabilização. Quando esta fase é atingida pode ocorrer a oxidação da matéria nitrogenada, porém necessitamos de temperaturas acima de 10°C

para o início da oxidação (BASTOS, VON SPERLING, 2009).

O fósforo, o outro macronutriente presente em efluentes, provém de fosfatos, derivados de produtos de limpeza como, por exemplo, detergentes, e de fósforos ligados a certos aminoácidos, chamados de fósforo orgânico. O processo de remoção do fósforo é altamente complexo e pouco eficiente para processos convencionais de tratamento, principalmente para lodos ativados. No processo convencional segundo Bastos, Von Sperling (2009) tem-se que praticamente todo o fósforo orgânico é mineralizado para a forma de fosfato e este é removido no lodo de excesso que é gerado no sistema, porém apenas 2,5% do fosfato são efetivamente removidos, sendo que os outros 97,5% permanecem na fase líquida e são despejados no meio ambiente. Uma alternativa para aumentar a concentração de fosfato no lodo de excesso é utilizar um tempo de residência de lodo médio, entre 8 a 12 dias.

3.7 Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação, de acordo JORDÃO e PESSOA (1995), são usadas ao final de um sistema clássico de lagoas de estabilização, e através delas almeja-se a melhoria da qualidade do efluente anteriormente tratado, pela redução de organismos patogênicos e particularmente coliformes fecais, visando reduzir as doenças de veiculação hídrica, ou seja, visa à proteção da saúde pública. Os autores ainda destacam que, as lagoas de maturação (3 em série com detenção >25d) atingem, 99,9% de redução dos organismos patógenos quando comparadas com outros tratamentos como, sedimentação, filtro biológico, lodos ativados ou fossa séptica.

Reatores RAFA (UASB)

Constitui-se na mais eficiente unidade anaeróbia desenvolvida para tratamento de efluentes e consiste em unidade de crescimento suspenso e fluxo ascendente em que a velocidade ascensional mantém o lodo em suspensão, contrabalançando a força gravitacional, de modo que, a água residuária atravessa a lâmina de lodo, mantendo um contato íntimo com a microbiota anaeróbia (FLECK, 2003).

3.8 Reator UASB

O reator UASB tem sido amplamente estudado devido à sua vantagem de combinar construção e operação simplificada com capacidade de acomodar altas cargas orgânicas e hidráulicas (Lettinga et al., 1980).

A configuração do reator UASB consiste basicamente no regime hidráulico de fluxo ascendente e na incorporação de um dispositivo interno de separação sólidos/gás/líquido,

dispensando o uso de um meio suporte para crescimento da biomassa. Isto favorece o desenvolvimento e retenção de uma biomassa concentrada e altamente ativa na zona de digestão, na forma de flocos densos ou lodo granulado. Conseqüentemente, o reator opera com tempos de retenção celular (TRC) muito altos, mesmo quando submetido a um TDH muito baixo (Foresti e Oliveira, 1995).

O processo de funcionamento do reator UASB consiste em se ter um fluxo ascendente de águas residuárias através de um leito de lodo denso de elevada atividade. O perfil de sólidos no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação, próximas ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo) (Chernicharo, 2007).

O reator UASB é capaz de suportar altas taxas de carga orgânica e a grande diferença em comparação com outros reatores é a simplicidade construtiva e os baixos custos operacionais. Os princípios mais importantes que governam a operação de um reator UASB são os seguintes (Foresti et al., 1999):

- As características do fluxo ascendente devem assegurar o máximo contato entre biomassa e o substrato;
- Os curto-circuitos devem ser evitados, de forma a garantir tempo suficiente para degradação da matéria orgânica;
- O sistema deve ter um dispositivo de separação de fases bem projetado, capaz de separar de forma adequada o biogás, o líquido e os sólidos, liberando os dois primeiros e permitindo a retenção do último;
- O lodo na região da manta deve ser bem adaptado, com alta atividade metanogênica específica (AME) e excelente sedimentabilidade. Em relação a sedimentabilidade, o lodo granulado apresenta características bem melhores que a do lodo floculento.

3.9 Condições do Esgoto em Palmas – Tocantins

Palmas foi fundada em 20 de maio de 1989, um ano após a criação do estado Tocantins, com a promulgação da Constituição de 1988. A capital do Tocantins é a mais nova capital do país criado especificamente para a capital foi desenvolvido de forma planejada. O Plano de Instalações de Saneamento Básico da Cidade de Palmas, a primeira revisão indica que o percentual de abastecimento de água e esgoto é superior à cobertura Abastecimento de água relacionado ao esgoto. Confirmado pela Tabela 1 abaixo, 99% da população palmense tem abastecimento de água, sendo que 68% do abastecimento de água em áreas adequadas é Participar da coleta e tratamento de esgoto.

Tabela 2 - Índices de Atendimento de Água e Esgoto

| Índices de Atendimento de Água e Esgoto | | |
|---|------------------------------------|---------------------------------------|
| Localidade | Índice de Atendimento com Água (%) | Índice de Atendimento com Esgotos (%) |
| Palmas | 99% | 72% |
| Araguaína | 99% | 21% |
| Gurupi | 99% | 24% |
| Porto Nacional | 99% | 61% |
| Paraíso do Tocantins | 99% | 19% |
| Colinas do Tocantins | 99% | 50% |
| Guaraí | 99% | 56% |
| Tocantinópolis | 99% | 37% |

Fonte: Plano municipal de saneamento básico de Palmas -TO

Em geral, é necessário investir nos serviços de tratamento de esgoto em Palmas e em todo o estado Tocantins. Esforços para iniciar os serviços de abastecimento de água e esgoto na região. Em 1999 a capital, Companhia de Saneamento do Tocantins, ganhou a franquia do serviço. De acordo com os dados fornecidos pela franqueadora, o valor investido em Palmas desde 1999 é de R\$ 346.021.578,58. Veja a tabela 2 abaixo Extraído de "A primeira revisão do planejamento municipal de abastecimento de água e drenagem" (PMAE), cerca de 30% investidos em sistemas de abastecimento de água, 65% investidos em sistemas de esgoto, 5% em outros investimentos.

Tabela 3 - Investimentos Realizados

| Investimentos Realizados (R\$ x 1.000) | | | | |
|--|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Períodos em Anos | Sist. Água | Sist. Esgoto | Outros | Total |
| 1999-2001 | 3.855,20 | 4.375,20 | 135,58 | 8.365,98 |
| 2002-2006 | 11.203,88 | 10.587,80 | 1.811,70 | 23.603,38 |
| 2007-2011 | 12.692,76 | 39.116,33 | 3.255,98 | 55.065,08 |
| 2012-2016 | 73.130,02 | 167.185,22 | 10.749,44 | 251.064,68 |
| 2017 | 4.403,00 | 3.380,98 | 138,48 | 7.922,46 |
| Total | 105.284,87 | 224.645,53 | 16.091,18 | 346.021,58 |

Fonte: Plano municipal de saneamento básico de Palmas –TO

A capital do Tocantins possui uma rede coletora de aproximadamente 1.130 quilômetros de instalação, diversificada nos mais diversos materiais e diâmetros. De acordo com a tabela 4 abaixo, fornecido pelo franqueado em setembro de 2017.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

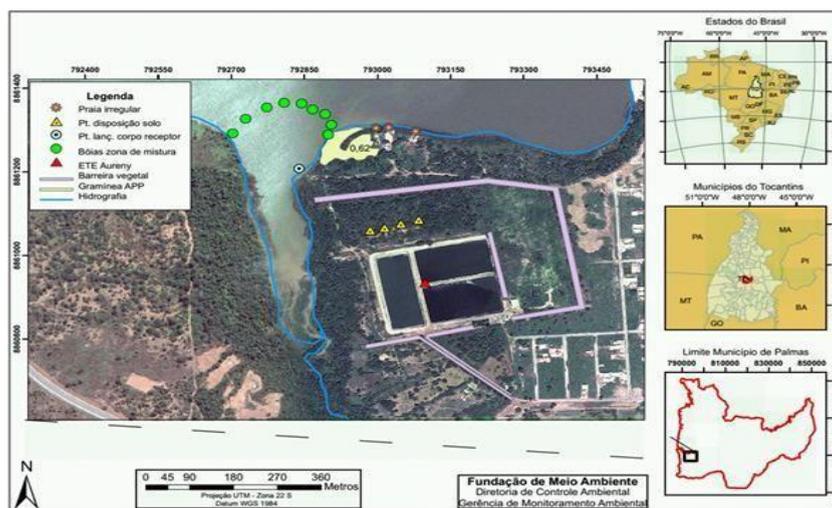
4.1 Localizações da área de estudo

O presente trabalho foi realizado na cidade de Palmas – TO, em parceria com a Fundação Municipal de Meio Ambiente, com base nos dados dos relatórios de monitoramento das Estações de Tratamento Aurenly e Norte, realizados pela concessionária de abastecimento de água BRK Ambiental|Saneatins.

4.1.1 ETE Aurenly

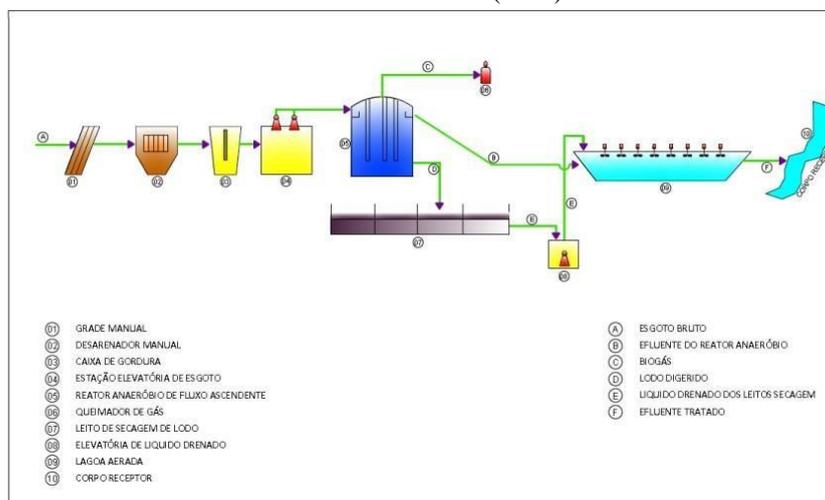
A estação de tratamento de esgoto Aurenly está localizado nas proximidades da ponte da bacia do Ribeirão Taquaruçu, essa ETE recebe o esgoto de partes da região Sul, e possui o seguinte processo de tratamento de esgoto: sistema de lagoas de estabilização em série, composto por uma lagoa anaeróbia seguida por uma lagoa facultativa e uma lagoa de maturação. A figura 1 apresenta a localização da Estação de Tratamento de Esgoto Aurenly e a figura 2 apresenta o fluxograma do Sistema de Tratamento da ETE Aurenly.

Figura 1 - Mapa de Localização da ETE – Aurenly



Fonte: Fundação de Meio Ambiente, adaptado de (GOOGLE EARTH)

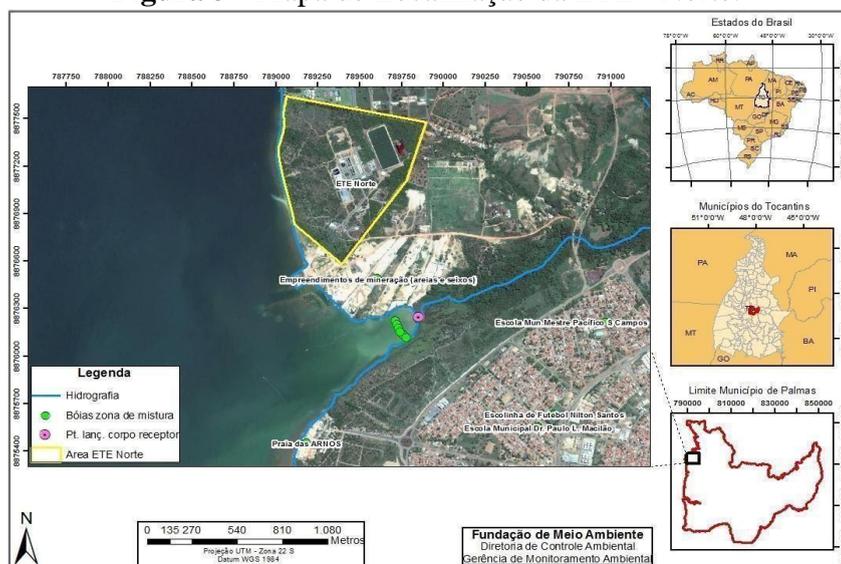
Figura 2 - Fluxograma do Sistema de Tratamento ETE Aurenly
 Fonte: PMSB Palmas (2014)



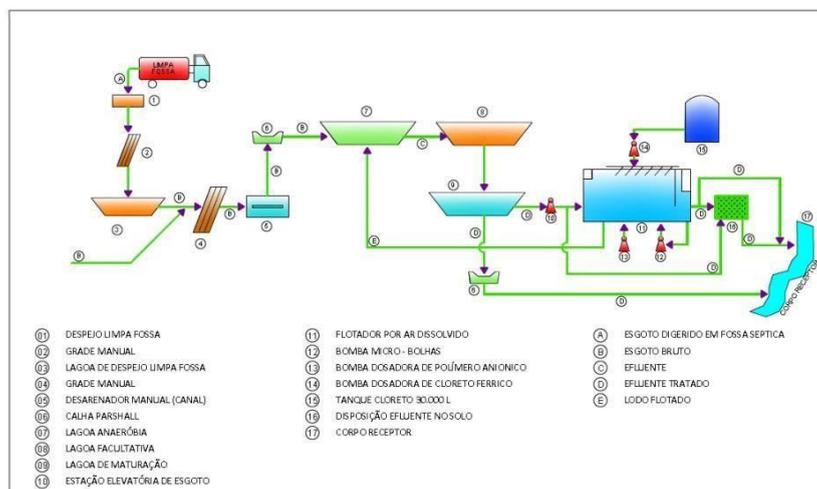
4.1.2 ETE Norte

A ETE Norte está localizada na parte norte da cidade de Palmas-TO, o seu processo de tratamento, baseia-se em uma associação entre reatores UASB e o sistema de Lodos Ativados com remoção biológica de nutrientes. A tecnologia utilizada no tratamento de efluentes da dessa ETE, é realizada em dois módulos compostos respectivamente por reator UASB, reator de lodos ativados e decantador secundário enterrados. A figura 3 apresenta a localização da Estação de Tratamento de Esgoto Norte e a figura 4 apresenta o fluxograma do sistema de tratamento da ETE Norte.

Figura 3 - Mapa de Localização da ETE - Norte.



Fonte: Fundação de Meio Ambiente, adaptado de (GOOGLE EARTH)

Figura 4 - Fluxograma do Sistema de Tratamento ETE NORTE

Fonte: PMSB Palmas (2014)

4.2 Monitoramento das Estações de Tratamento

Cumprindo o objetivo do trabalho, foram tratados os dados referentes ao período de janeiro a dezembro dos anos 2017, 2018 e 2019. Durante esse período amostras mensais foram coletadas do esgoto bruto e do efluente final, e enviadas à Fundação Municipal de Meio Ambiente.

As amostras foram analisadas no laboratório de efluentes da concessionária de abastecimento de água BRK Ambiental|Saneatins, localizado na Estação de Tratamento de Esgoto Norte, em Palmas.

A qualidade do efluente das unidades componentes do sistema de tratamento da ETE Aurenny e Norte, bem como a eficiência de remoção, foram avaliadas e comparadas com valores encontrados na literatura e na legislação federal, assim como estadual, como é o caso da SEMACE e a COPAM/CERH. No estudo foram avaliados os parâmetros listados na tabela abaixo.

Tabela 4: Parâmetros e métodos utilizados nas análises de amostras

| Parâmetros | Frequência | Unidade |
|---------------------------------------|------------|----------|
| DBO | Mensal | mg/L |
| DQO | Mensal | mg/L |
| Sólidos Totais (ST) | Mensal | mg/L |
| Sólidos Suspensos Totais (SST) | Mensal | mg/L |
| Nitrogênio Amoniacal | Mensal | mg/L |
| Fósforo Total | Mensal | mg/L |
| Coliformes Termotolerante | Mensal | un/100mL |

Fonte: Fundação de Meio Ambiente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo do trabalho apresenta uma síntese dos resultados dos parâmetros analíticos de dados obtidos pela Fundação Municipal de Meio Ambiente durante o monitoramento das Estações de Tratamento ETE Aurenly e ETE Norte realizado entre janeiro de 2017 a dezembro de 2019, totalizando trinta e seis meses de análise.

Avaliando os resultados das análises laboratoriais do esgoto tratado nas ETEs, a empresa BRK Ambiental|Saneatins vem apresentando os relatórios de monitoramento dos efluentes e do corpo receptor à Fundação Municipal de Meio Ambiente.

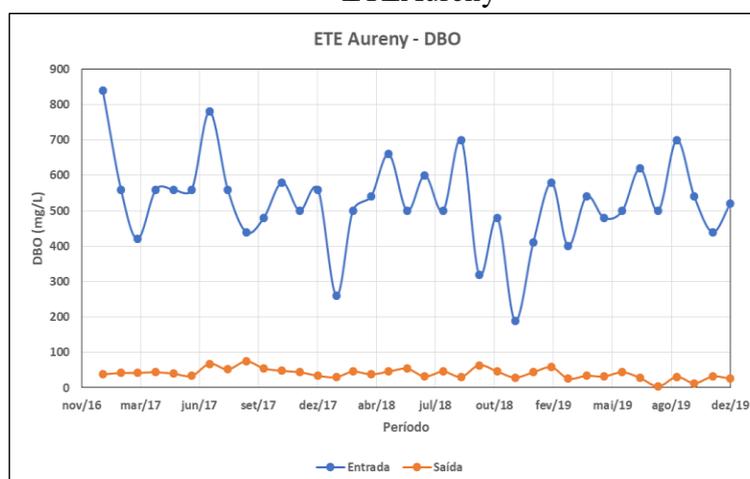
Para que seja possível um entendimento dos dados, serão apresentados separadamente os dados obtidos para os parâmetros.

5.1 Dados Referentes a Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

De acordo com Von Sperling (2005), a DBO a 20°C, chamada simplesmente de DBO, varia no esgoto doméstico bruto em concentrações de 200 a 500mg/L. Conforme a Resolução CONAMA No 430 de 2011, a DBO do efluente para lançamento no corpo receptor deve ser de no máximo 120mg/L.

O gráfico 1 apresenta os valores da relação DBO do efluente bruto de entrada e o efluente tratados pela ETE Aurenly lançado no corpo receptor, no período de janeiro de 2017 a dezembro de 2019.

Gráfico 1 – Concentração de DBO nas etapas do sistema de entrada e saída da ETEAurenly

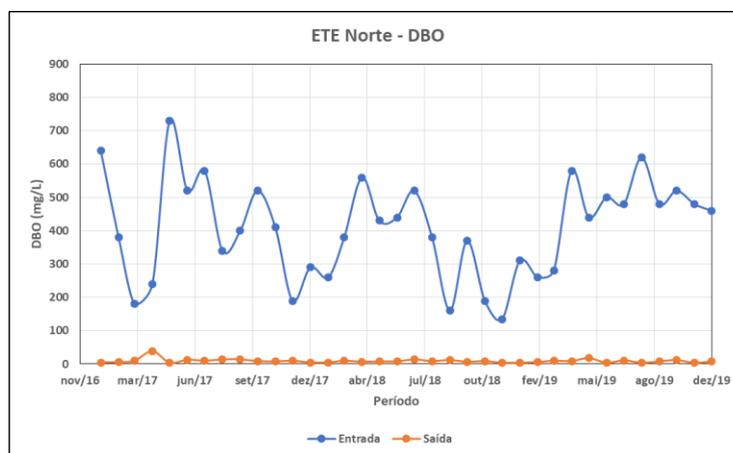


Fonte: Acervo do autor

Analisando o gráfico 1, observa-se que os valores de BDO no afluyente não são constantes na ETE Aurenly. Os valores oscilaram entre um valor máximo de 840 mg/L em janeiro de 2017 e um valor mínimo de 190 mg/L em dezembro de 2018. No efluente os valores tendem a ser constantes, tendo um máximo de 75 mg/L em setembro de 2017 e um valor mínimo

de 4 mg/l no mês de agosto de 2019. Isso demonstra que os valores de DBO estão mais constantes e estabilizados na saída do efluente, ou seja, o material orgânico foi degradado, essa degradação é o fator que ocasionou a redução do material orgânico. O material de entrada estava mais biodegradável, e passou a ser menos biodegradável para esse parâmetro na saída do efluente. Com isso, pode-se definir que a saída de efluente mais estabilizada se torna um benefício para o corpo hídrico.

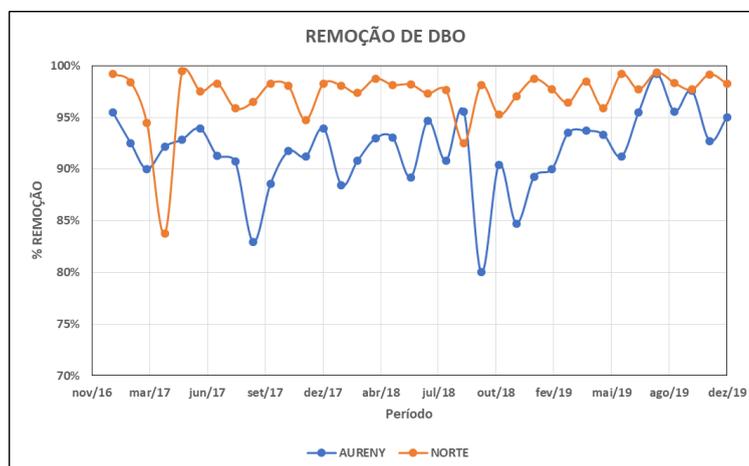
Gráfico 2 – Concentração de DBO nas etapas do sistema de entrada e saída da ETENorte



Fonte: Acervo do autor

Observando o gráfico 2, referente a concentração de DBO para ETE Norte, pode-se observar que há, assim como na ETE Aurenny, uma oscilação no efluente bruto de entrada, mas quando é observado a saída do efluente tratado, tem-se que os valores do efluente são menores, comparado com a ETE Aurenny.

Comparando-se os anos de 2018 e 2019, destacando-se as concentrações no efluente dos parâmetros analisados, a DBO apresentou valores de 135 mg/L a 560 mg/L em 2018 e de 260 mg/L a 620 mg/L em 2019, caracterizando-se em um efluente mais orgânico devido a esse aumento no último ano. Sendo a DBO, a quantificação indireta da matéria orgânica, definida pela quantidade de oxigênio requerida pelos microrganismos para degradarem a matéria orgânica presente no efluente.

Gráfico 3 – Percentual de remoção de DBO da ETE Aurenly e ETE Norte.

Fonte: Acervo do autor

Considerando a eficiência geral dos dois sistemas no gráfico 3, conforme os gráficos 1 e 2 demonstram, os sistemas obtiveram excelente efeito de remoção de DBO, pois durante todo o período de estudo, a concentração mais próxima do valor máximo (120 mg / L) especificado na Resolução CONAMA 430/2011 foi de 75 mg / L em setembro de 2017 para o sistema de tratamento adotado na ETE Aurenly, conforme mostrado no gráfico 1.

Para ETE Norte a concentração mais próxima do valor especificado na resolução CONAMA 430/11 foi de 39 mg/L em abril de 2017, conforme o gráfico 2.

A ETE Norte tem uma remoção maior de DBO, pois conta com um sistema de lodos ativados, onde o mesmo tende a ter uma remoção maior de matéria orgânica, o sistema de lodos ativados é mais eficiente que o sistema de lagoas, para a remoção de sólidos totais.

Tabela 5: Resumo dos dados para DBO das ETEs Aurenly e Norte

| RESUMO DOS DADOS PARA DBO | | | | |
|---------------------------|-------------|------------|-------------|-----------|
| VALORES | ETE AURENLY | | ETE NORTE | |
| | ENTRADA | SAÍDA | ENTRADA | SAÍDA |
| VALOR MÁXIMO | 840 mg/L | 75 mg/L | 730 mg/L | 39 mg/L |
| VALOR MÍNIMO | 190 mg/L | 4 mg/L | 135 mg/L | 4 mg/L |
| VALOR MÉDIO | 524,44 mg/L | 40,28 mg/L | 407,08 mg/L | 9,38 mg/L |
| DESVIO PADRÃO | 126,61 | 14,15 | 148,09 | 6,15 |

Fonte: Acervo do autor

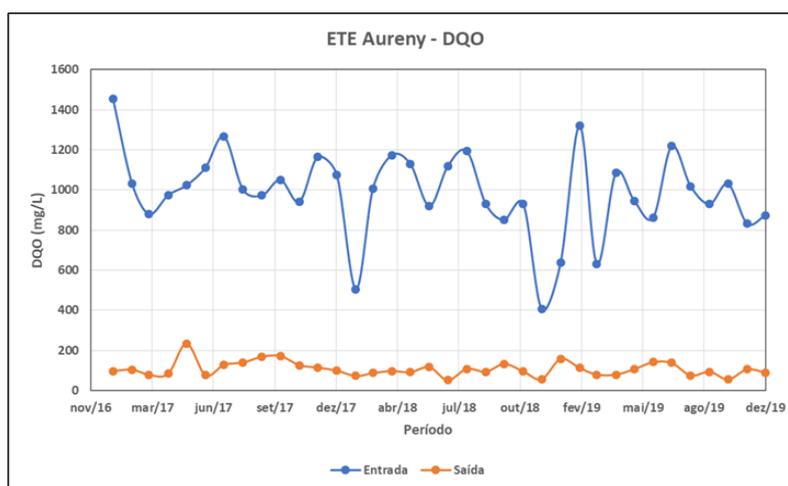
Conforme mostra a tabela 5, foram encontrados valores máximos, médio e mínimo para as estações de tratamento com relação ao parâmetro de DBO. Os dados obtidos nos 36 (trinta e seis) meses de estudo foram analisados, onde a ETE Aurenly teve um valor máximo de 840 mg/L, um valor médio de 524,44 mg/L e um valor mínimo de 190 mg/L na entrada do afluentes na estação de tratamento. Tratando-se de efluentes, tivemos 75 mg/L sendo valor máximo, 4 mg/L o valor mínimo e 40,27 mg/L o valor médio. Para ETE Norte foi feita a mesma relação de

valores, em que na entrada do afluyente da ETE tivemos 730 mg\L sendo o valor máximo, 135 mg\L, o valor mínimo e o valor médio de 407,08 mg\L. Para o efluente tivemos 39 mg\L sendo o valor máximo, 4mg\L o valor mínimo e 9,38 mg\L o valor médio.

5.2 Dados Referentes a Demanda Química de Oxigênio – DQO

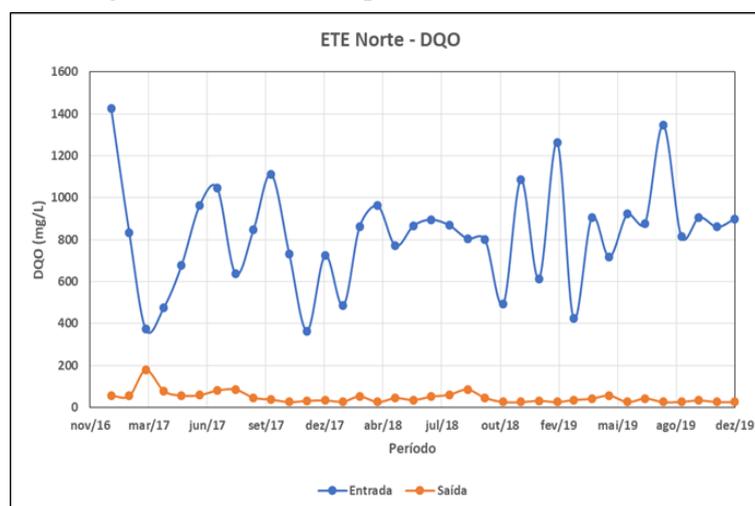
Embora a resolução CONAMA 357/05 não faça referência ao parâmetro DQO na classificação dos corpos d'água e nos padrões de lançamento de efluentes líquidos, algumas legislações ambientais estabelecem limites máximos para este parâmetro em seus padrões de lançamento, como a SEMACE nº 154/2002 que estabelece limite de 200mg\L para o efluente de lançamento. A SEMACE é uma autarquia vinculada à Secretariado Meio Ambiente (Sema), que tem a responsabilidade de executar a Política Ambiental do Estado do Ceará, e integra, como órgão seccional, o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e a COPAM/CERH de Minas Gerais, em que o valor permitido de lançamento de efluentes para DQO é de 180 mg/L ou 55% de eficiência de remoção.

Gráfico 4 – Concentração de DQO nas etapas do sistema de entrada e saída da ETEAureny



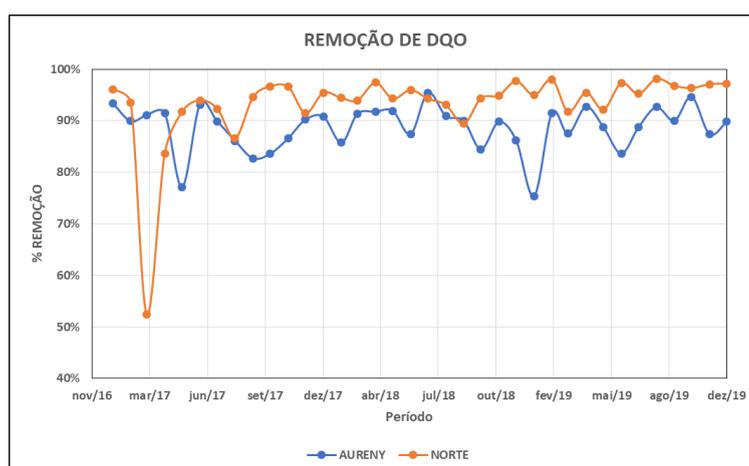
Fonte: Acervo do autor

Podemos observar no gráfico 4, que os dados de entrada do efluente oscilam bastante, enquanto os dados da saída do efluente mantêm uma certa constância, sem oscilações abruptas.

Gráfico 5 – Concentração de DQO nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Norte

Fonte: Acervo do autor

Observa-se no gráfico 5, nos resultados apresentados, que o sistema de tratamentoda ETE Norte tem dados de saída do efluente mais baixos, consequentemente produzindoum efluente tratado com baixa biodegradabilidade, ou seja, um efluente mais inorgânico.

Gráfico 6 – Percentual de remoção de DQO da ETE Aurenly e ETE Norte

Fonte: Acervo do autor

Considerando a eficiência geral, os sistemas obtiveram excelente efeito de remoção de DQO conforme mostra o gráfico 6, pois durante todo o período do estudo, a concentração mais próxima do valor máximo (210 mg / L) abordada pela Semace e de (180 mg\L) abordada pela COPAM/CERH, conforme mostrado no gráfico 4 para ETE Aurenly em março de 2017 foi de 172,00 mg\L e de 85,00 mg\L para ETE Norte em setembro de 2018, conforme o gráfico 5. Os resultados, se comparados com os valores para SEMACE e a COPAM/CERH, estariam dentro dos padrões em ambos os casos.

Tabela 6: Resumo dos dados para DQO das ETEs Aurenly e Norte

| RESUMO DOS DADOS PARA DQO | | | | |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| VALORES | ETE AURENLY | | ETE NORTE | |
| | ENTRADA | SAÍDA | ENTRADA | SAÍDA |
| VALOR MÁXIMO | 1456 mg\L | 234 mg\L | 1424 mg\L | 177 mg\L |
| VALOR MÍNIMO | 405 mg\L | 51 mg\L | 364 mg\L | 25 mg\L |
| VALOR MÉDIO | 986,00 mg\L | 106,75 mg\L | 823,22 mg\L | 46,64 mg\L |
| DESVIO PADRÃO | 212,07 | 36,91 | 248,70 | 28,39 |

Fonte: Acervo do autor

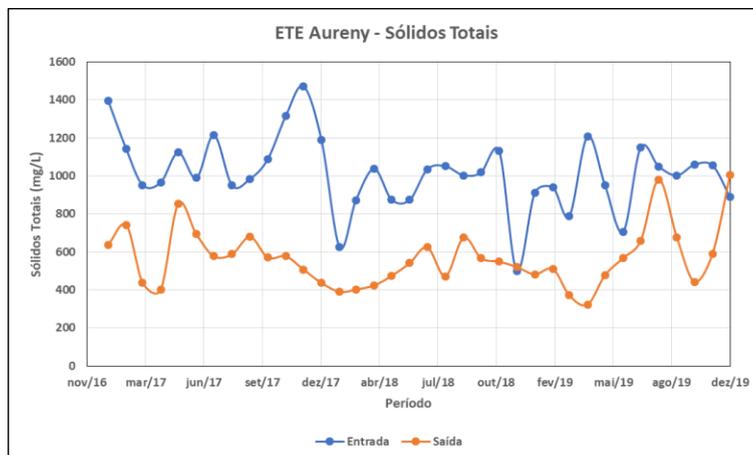
Conforme mostra a tabela 6, foram encontrados valores máximos, médio e mínimo, assim como o desvio padrão para as estações de tratamento com relação ao parâmetro de DQO. Os dados obtidos nos 36 (trinta e seis) meses de estudo foram analisados, onde a ETE Aurenly teve um valor máximo de 1456 mg\L, um valor médio de 986,00 mg\L e um valor mínimo de 405 mg\L na entrada do afluente na estação de tratamento. Tratando-se de efluentes, tivemos 234 mg\L sendo valor máximo, 51 mg\L o valor mínimo e 106,75 mg\L o valor médio. Para ETE Norte foi feita a mesma relação de valores, em que na entrada do afluente da ETE tivemos 1424 mg\L sendo o valor máximo, 364 mg\L, o valor mínimo e o valor médio de 823,22 mg\L. Para o efluente tivemos 177 mg\L sendo o valor máximo, 25 mg\L o valor mínimo e 46,64 mg\L o valor médio.

5.3 Dados Referentes aos Sólidos

5.3.1 Sólidos Totais – ST

Segundo Jordão e Pessoa (2005), sólidos totais (ST) são, por definição, a matéria orgânica que permanece como resíduo após evaporação a temperatura de 103 °C. Ainda, segundo Jordão e Pessoa (2005) e Von Sperling (2005), os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e estado (sólidos em suspensão ou dissolvidos), características químicas (sólidos fixos ou voláteis) e pela sedimentabilidade (em suspensão sedimentáveis e não sedimentáveis).

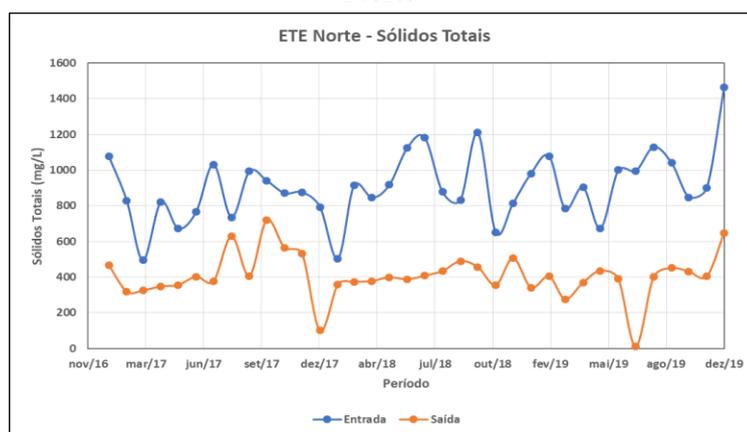
Gráfico 7 – Concentração de Sólidos Totais nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Aurenny.



Fonte: Acervo do autor

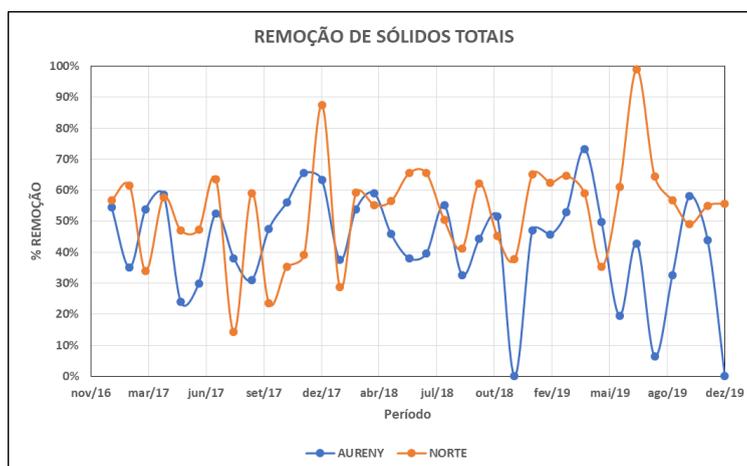
Analisando os dados do gráfico 7, a ETE Aurenny teve uma média de entrada de 1014,22 mg/L e 567,41 mg/L de saída nos anos de estudo, os valores oscilam tanto na entrada, quanto na saída do efluente, não tendo valores próximos constantes. A sazonalidade da concentração de DQO no afluente e no efluente à ETE também pode ser verificada por meio do gráfico 7.

Gráfico 8 – Concentração de Sólidos Totais nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Norte.



Fonte: Acervo do autor

Analisando o gráfico 8, as concentrações de sólidos totais nos efluentes de saída são mais baixas na ETE Norte, isso porque o sistema conta com sistema de reator UASB, esse sistema faz a separação dos sólidos, sendo assim, mais eficiente que a ETE Aurenny se comparados os gráficos 7 e 8, assim como no gráfico 9, que mostra maior remoção na ETE Norte dentre as duas ETES.

Gráfico 9 - Percentual de remoção de Sólidos Totais das ETEs Aurenly e Norte

Fonte: Acervo do autor

Observa-se no gráfico 9, que os sistemas de tratamento da ETE Aurenly e ETE Norte apresentaram taxas de remoção próximo a 100% em apenas alguns meses, sendo em abril de 2019, chegou a 73,3% para ETE Aurenly e 98,9% em julho de 2019 na ETE Norte.

Tabela 7: Resumo dos dados para Sólidos Totais das ETEs Aurenly e Norte

| RESUMO DOS DADOS PARA SÓLIDOS TOTAIS | | | | |
|--------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| VALORES | ETE AURENLY | | ETE NORTE | |
| | ENTRADA | SAÍDA | ENTRADA | SAÍDA |
| VALOR MÁXIMO | 1472 mg/L | 1007 mg/L | 1463 mg/L | 720 mg/L |
| VALOR MÍNIMO | 499 mg/L | 323 mg/L | 494 mg/L | 11 mg/L |
| VALOR MÉDIO | 1014,22 mg/L | 567,41 mg/L | 904,61 mg/L | 407,36 mg/L |
| DESVIO PADRÃO | 192,63 | 155,23 | 194,32 | 128,25 |

Fonte: Acervo do autor

Conforme mostra a tabela 7, foram encontrados valores máximos, médio emínimo e o desvio padrão para as estações de tratamento com relação ao parâmetro de sólidos totais. Os dados obtidos nos 36 (trinta e seis) meses de estudo foram analisados, onde a ETE Aurenly teve um valor máximo de 1472 mg/L, um valor médio de 1014,22 mg/L e um valor mínimo de 499 mg/L na entrada do afluyente na estação de tratamento. Tratando-se de efluentes, tivemos 1007 mg/L sendo valor máximo, 323 mg/L o valor mínimo e 567,41 mg/L o valor médio. Para ETE Norte foi feita a mesma relação de valores, em quena entrada do afluyente da ETE tivemos 1463 mg/L sendo o valor máximo, 4994 mg/L, ovalor mínimo e o valor médio de 904,61 mg/L. Para o efluyente tivemos 720 mg/L sendo o valor máximo, 11 mg/L o valor mínimo e 407,36 mg/L o valor médio.

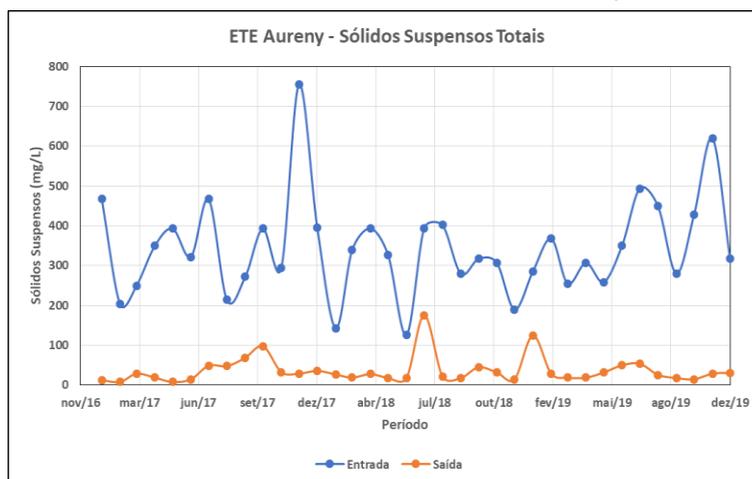
5.3.2 Sólidos Suspensos Totais - SST

Pinheiro et al. (2013) afirmam que, de maneira geral não existe uma metodologia ideal para a mensuração da concentração de sólidos suspensos, porém há métodos que estimam a concentração indiretamente através da turbidez, estes ganharam aceitação dentre os vários

métodos de monitoramento, por causa, principalmente, das dificuldades de se obter medidas diretas em um rápido espaço de tempo.

A Resolução CONAMA nº 430 de 2011, exige uma remoção mínima de 20% após a desaeração, o gráfico 10 apresenta os sólidos suspensos do efluente da ETE Aurenly do esgoto bruto e tratado.

Gráfico 10 – Concentração de Sólidos Suspensos Totais nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Aurenly.

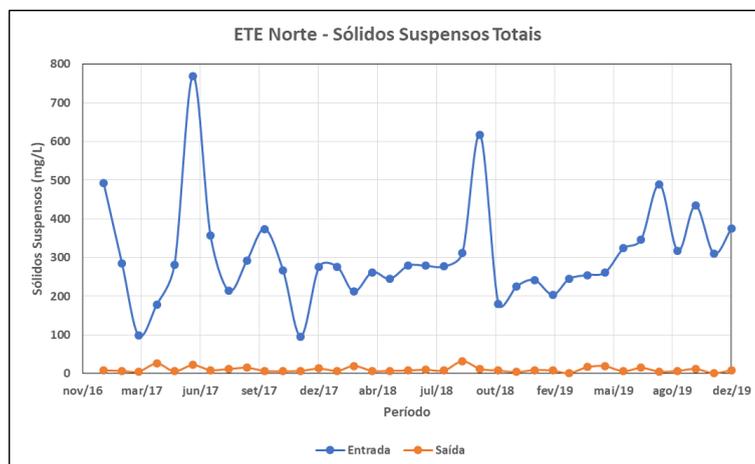


Fonte: Acervo do autor

ETE Aurenly, possui um sistema de lagoas, como a de sedimentação, as lagoas de sedimentação também conhecidas como lagoas de decantação, permitem a sedimentação dos sólidos contidos no efluente que já passou pela lagoa aerada, armazenando-o por longos períodos até ser removido (BRITO, DA SILVA, DA SILVA, & DE LIMA, 2015). Essas lagoas necessitam de um sistema que facilite a remoção do lodo acumulado, pois ele deve ser retirado em períodos de poucos anos (VON SPERLING, 2002).

A faixa de valores típicos de concentração de sólidos em suspensão totais no esgoto bruto é 100 a 450 mg/L (METCALF & EDDY, 2014; VON SPERLING, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2014; LEME, 2014). Na ETE Aurenly, a faixa de variação desse foi de 755 mg/L a 126 mg/L na entrada do afluente e de 176 mg/L a 8 mg/L na saída do efluente, conforme gráfico 10, ou seja, encontrou-se dentro dos limites da literatura. A mediana desse parâmetro (344,61 mg/L de entrada e 36,63 mg/L de saída) indica a presença de esgoto de média concentração.

Gráfico 11 – Concentração de Sólidos Totais nas etapas do sistema de entrada e saída ETE Norte.

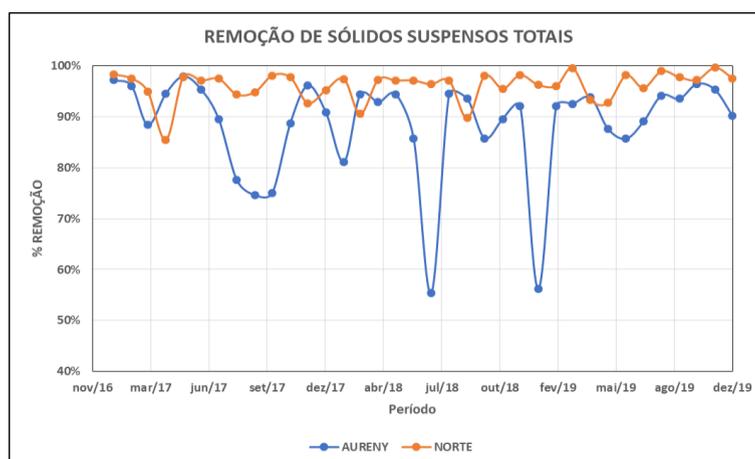


Fonte: Acervo do autor

A ETE Norte conta com processo de lodos ativados, estes sólidos ou partículas presentes no efluente podem ser removidas por adsorção, sedimentação ou adesão ao leito do lodo para então sofrerem hidrólise, cabe ressaltar a importância do tamanho das partículas nestes processos. A granulação do lodo pode sofrer influência pela presença e composição de polímeros extracelulares, como carboidratos e proteínas, que modificam a agregação e a estabilidade do lodo anaeróbio (CHERNICHARO et al., 2009; PONTES, 2009).

Analisando o gráfico 11, na ETE Norte, a faixa de variação desse foi de 770 mg/L a 96 mg/L na entrada do afluente e de 32 mg/L a 1 mg/L na saída do efluente, conforme gráfico 10, ou seja, encontrou-se dentro dos limites da literatura. A mediana desse parâmetro (129,89 mg/L de entrada e 6,68 mg/L) indica a presença de esgoto de baixa concentração.

Gráfico 12 - Percentual de remoção de Sólidos Totais das ETEs Aurenly e Norte



Fonte: Acervo do autor

De acordo com a Resolução Conama 430/2011, a remoção de sólidos suspensos totais após a desaeração deve ser de no mínimo 20%, ou seja, analisando a eficiência global da ETE, observamos que a remoção de SST se manteve em ótimos níveis, para os valores encontrados, estão de acordo com o estabelecido, pois, em nenhum dos meses foi encontrado remoção inferior a descrita, para a ETE Aurenny uma média de remoção de 88,6% e para ETE Norte, uma média de 96,1%, conforme o gráfico 12.

Tabela 8: Resumo dos dados para Sólidos Suspensos Totais das ETEs Aurenny e Norte

| RESUMO DOS DADOS PARA SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS | | | | |
|--|-------------|------------|-------------|------------|
| VALORES | ETE AURENRY | | ETE NORTE | |
| | ENTRADA | SAÍDA | ENTRADA | SAÍDA |
| VALOR MÁXIMO | 755 mg/L | 176 mg/L | 770 mg/L | 32 mg/L |
| VALOR MÍNIMO | 126 mg/L | 8 mg/L | 96 mg/L | 1 mg/L |
| VALOR MÉDIO | 344,61 mg/L | 36,63 mg/L | 304,36 mg/L | 10,41 mg/L |
| DESVIO PADRÃO | 122,92 | 33,78 | 129,83 | 6,68 |

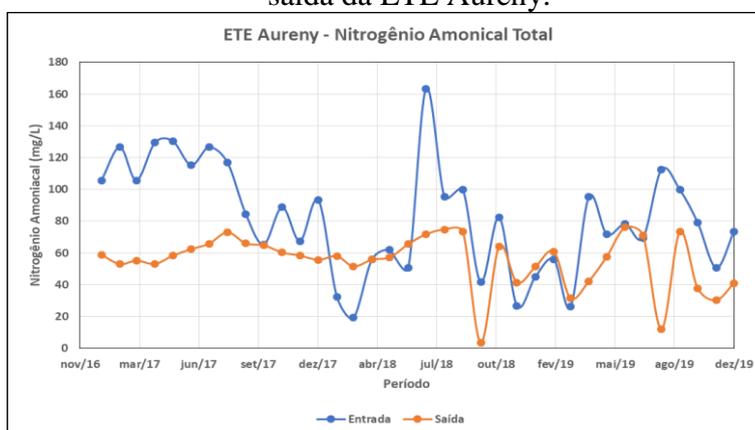
Fonte: Acervo do autor

Conforme mostra a tabela 8, foram encontrados valores máximos, médio, mínimo e o desvio padrão para as estações de tratamento com relação ao parâmetro de Sólidos Suspensos Totais. Os dados obtidos nos 36 (trinta e seis) meses de estudo foram analisados, onde a ETE Aurenny teve um valor máximo de 755 mg/L, um valor médio de 344,61 mg/L e um valor mínimo de 126 mg/L na entrada do afluyente na estação de tratamento. Tratando-se de efluentes, tivemos 176 mg/L sendo valor máximo, 8 mg/L o valor mínimo e 36,63 mg/L o valor médio. Para ETE Norte foi feita a mesma relação de valores, em que na entrada do afluyente da ETE tivemos 770 mg/L sendo o valor máximo, 96 mg/L, o valor mínimo e o valor médio de 304,36 mg/L. Para o efluyente tivemos 32 mg/L sendo o valor máximo, 1 mg/L o valor mínimo e 10,41 mg/L o valor médio

5.4 Dados Referentes a Nitrogênio Amoniacal

O padrão de lançamento de nitrogênio amoniacal total na Resolução CONAMA 430/11 é de 20,0 mg/L N para qualquer fonte poluidora lançada diretamente no corpo receptor. A Resolução CONAMA nº 397/2008, que veio a estabelecer em seu art. 1º, § 5º os padrões de lançamento para efluentes, incluindo, especificamente, o valor de 20 mg/L para o parâmetro nitrogênio amoniacal total. No entanto, no § 7º, deste mesmo artigo, consta que o parâmetro nitrogênio amoniacal total não será aplicável em sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

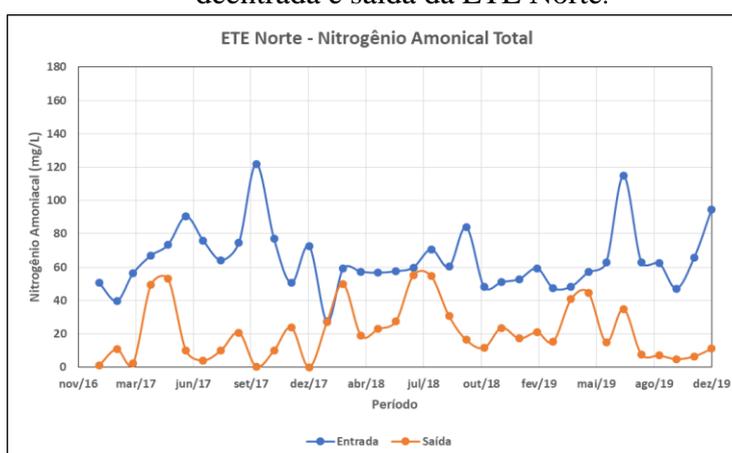
Gráfico 13 – Concentração de Nitrogênio Amoniacal Total nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Aurenny.



Fonte: Acervo do autor

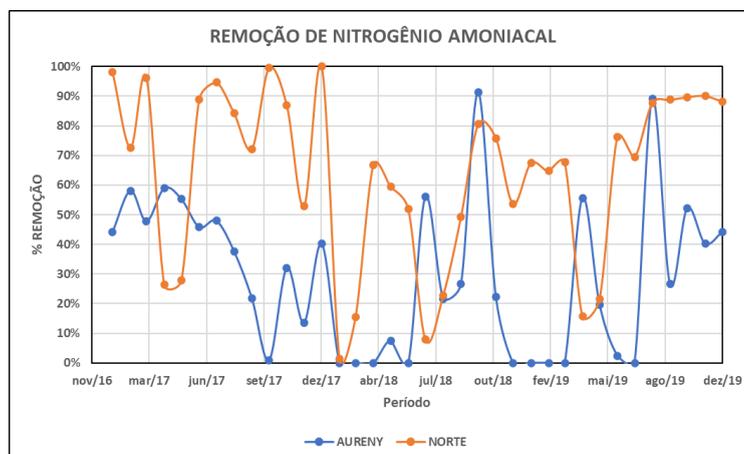
Conforme o gráfico 13 demonstra, a ETE Aurenny não está sendo eficiente no tratamento para de nitrogênio amoniacal, a CONAMA 397\2008 permite 20 mg\L N, analisando os valores obtidos durante todos os meses de estudo, a ETE lançou efluentes com concentrações em média de 55,22 mg\L, variando de 76,301 a 3,592 mg\L N.

Gráfico 14 – Concentração de Nitrogênio Amoniacal Total nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Norte.



Fonte: Acervo do autor

Na Estação de Tratamento ETE Norte houve uma oscilação dos valores de lançamento, sendo de 59,04 mg\L em julho de 2018 valor alto, se comparado a CONAMA 430\11 que estabelece 20mg\L, e um valor de 0,001 mg\L em janeiro de 2017, que estaria dentro do permitido, segundo a legislação, conforme mostra o gráfico 14.

Gráfico 15 - Percentual de remoção de Nitrogenio Amoniacal das ETEs Aurenly e Norte

Fonte: Acervo do autor

Pode-se visualizar no gráfico 15, com relação a remoção de nitrogênio amoniacal total, a ETE Aurenly teve uma média de remoção relativamente baixa, chegando a não ocorrer nos meses de fevereiro, março e abril de 2018 consecutivamente e nos meses iniciais de 2019, janeiro, fevereiro e março, em que a entrada de efluente possui maior concentração do que a saída. Isto pode ser reafirmado com o gráfico 15.

Nos 36 (trinta e seis) meses de estudo a ETE Aurenly teve uma média de remoção de 29,4%, a ETE Norte tem uma remoção mais alta, tendo uma média de 64,3% nos anos estudados, pois conta com um sistema com lodos ativados, onde ocorre o processo de nitrificação.

O aumento da eficiência na remoção do nitrogênio amoniacal também pode ser conseguido mediante aumento do tempo de detenção (Tchobanoglous 1991, Brix 1993, Sikora et al. 1995, Dias et al. 2002, Solano et al. 2004), o que implica no aumento da área, ou, do volume do leito de tratamento. Outra opção seria a utilização de plantas mais eficientes (Gersberg et al. 1986) ou a utilização de sistemas múltiplos com reciclagem do efluente para desnitrificação (Sikora et al. 1995, Dias et al. 2002).

Tabela 09: Resumo dos dados para Nitrogênio Amoniacal das ETEs Aurenly e Norte

| RESUMO DOS DADOS PARA NITROGÊNIO AMONIACAL | | | | |
|--|-------------|------------|-------------|------------|
| VALORES | ETE AURENLY | | ETE NORTE | |
| | ENTRADA | SAÍDA | ENTRADA | SAÍDA |
| VALOR MÁXIMO | 163,44 mg/L | 76,30 mg/L | 121,96 mg/L | 55,09 mg/L |
| VALOR MÍNIMO | 19,23 mg/L | 3,59 mg/L | 27,42 mg/L | 0,001 mg/L |
| VALOR MÉDIO | 81,77 mg/L | 55,22 mg/L | 64,50 mg/L | 21,10 mg/L |
| DESVIO PADRÃO | 34,17 | 16,56 | 18,95 | 16,74 |

Fonte: Acervo do autor

Conforme mostra a tabela 9, foram encontrados valores máximos, médio, mínimo e o desvio padrão para as estações de tratamento com relação ao parâmetro de Nitrogênio

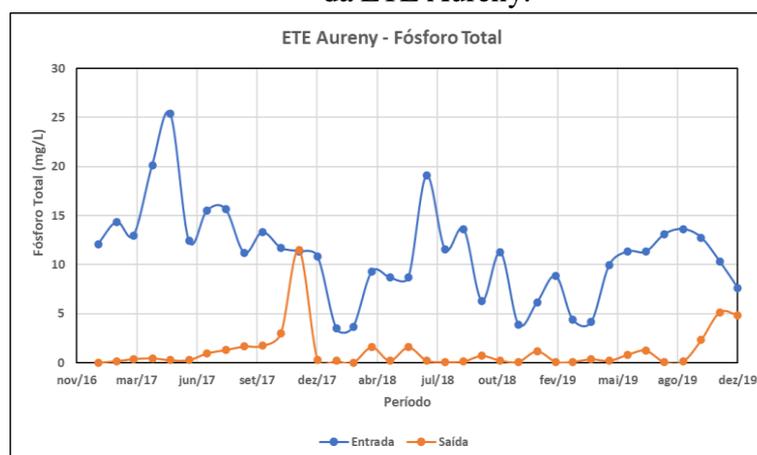
Amoniacal. Os dados obtidos nos 36 (trinta e seis) meses de estudo foram analisados, onde a ETE Aurenly teve um valor máximo de 163,44 mg\L, um valor médio de 81,77 mg\L e um valor mínimo de 19,23 mg\L na entrada do afluyente na estação de tratamento. Tratando-se de efluentes, tivemos 76,30 mg\L sendo valor máximo, 27,42 mg\L o valor mínimo e 64,50 mg\L o valor médio. Para ETE Norte foi feita a mesma relação de valores, em que na entrada do afluyente da ETE tivemos 121,96 mg\L sendo o valor máximo, 27,42 mg\L, o valor mínimo e o valor médio de 64,50 mg\L. Para o efluente tivemos 55,09 mg\L sendo o valor máximo, 0,001 mg\L o valor mínimo e 21,10mg\L o valor médio.

5.5 Dados Referentes a Fósforo Total

De acordo com SPERLING (2005), o fósforo é um importante fator limitante para populações de corpos d'água, podendo causar a trofia dos mesmos em grandes quantidades. Por isso é necessário que o seu controle seja realizado ao se despejar o efluente tratado. Caso esteja em altas concentrações, será necessária adicionar medidas de controle, como um tratamento extra para remoção de fósforo. Neste ecossistema, o fósforo é indicado como o maior responsável pela eutrofização (ESTEVES, 1998, citadopor RIMERA, 2003).

Para fósforo total, a resolução CONAMA 430 que trata sobre padrões de lançamento de efluentes não dispõe valores para fósforo, então adota-se a CONAMA 357\2005, que classifica as características que os corpos hídricos precisam ter, assim a 357\05 estabelece valor máximo de 0,1 mg/L para fósforo. Se o corpo hídrico precisa teresse valor, consequentemente o valor de lançamento precisa ser próximo a isso.

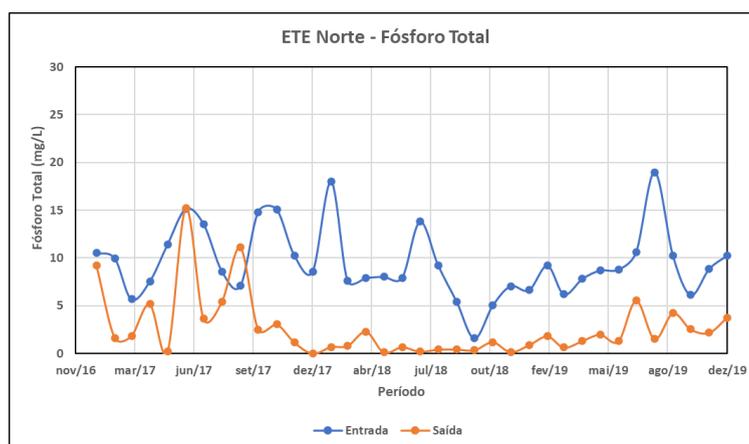
Gráfico 16 – Concentração de Fósforo Total nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Aurenly.



Fonte: Acervo do autor

Foi observado que as lagoas são mais eficientes no tratamento de fósforo, e que com a implantação do flotor, a concentração diminuiu ainda mais, porém não em quantidade significativa, tendo uma média de saída de 1,2161, estando acima da legislação, que permite 0,1 mg/L, conforme o gráfico 16 mostra.

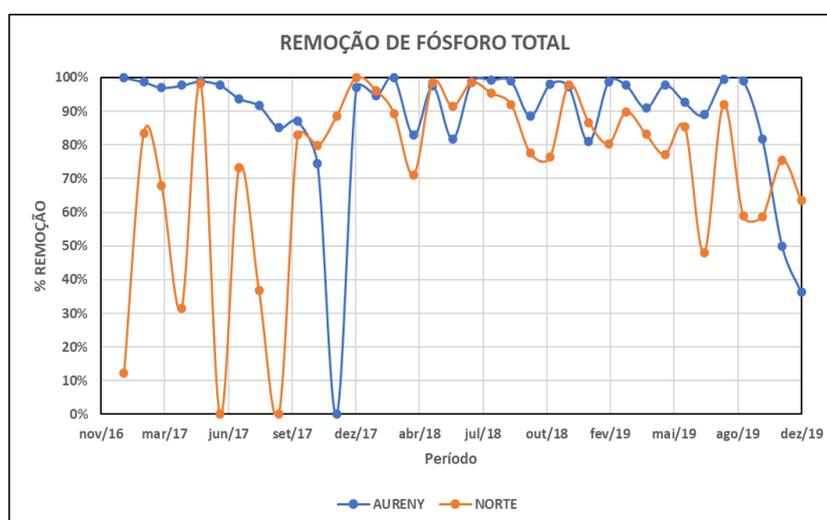
Gráfico 17 – Concentração de Fósforo Total nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Norte.



Fonte: Acervo do autor

De acordo com os estudos publicados pela SABESP (2005), para sistemas de lodos ativados das mais diversas variantes, a remoção de fósforo pode variar de 10 a 20% em lodos ativados por aeração prolongada até 45% em sistemas convencionais e defluxo intermitente, o que poderia explicar as remoções encontradas no gráfico 18.

Gráfico 18 - Percentual de remoção de Fósforo Total das ETEs Aurenly e Norte



Fonte: Acervo do autor

De acordo com WANG et al., (2008), a remoção biológica do fósforo depende da capacidade de algumas bactérias heterotróficas presentes na biomassa ativa do sistema de lodos ativados, de reterem dentro da célula o fosfato solúvel na forma de polifosfatos, de acordo com as condições necessárias para seu metabolismo e crescimento.

Conforme observado no gráfico 18, o sistema de Tratamento da ETE Aurenny tem um resultado melhor de remoção de fósforo, pois o sistema utiliza o cloreto férrico, sendo que o cloreto férrico precipita o fósforo quando dosado, no sistema de tratamento da ETE Norte não fazem uso do mesmo.

Com relação ao fósforo na ETE Norte, as remoções encontradas foram abaixo do esperado, recomendando-se que para a configuração de sistemas de lodos ativados precedido por um reator UASB seja adicionada uma etapa físico-química para que sejam alcançadas remoções mais altas.

Tabela 10: Resumo dos dados para Fósforo Total das ETEs Aurenny e Norte

| RESUMO DOS DADOS PARA FÓSFORO TOTAL | | | | |
|-------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|
| VALORES | ETE AURENNY | | ETE NORTE | |
| | ENTRADA | SAÍDA | ENTRADA | SAÍDA |
| VALOR MÁXIMO | 25,36 mg/L | 11,51 mg/L | 18,99 mg/L | 15,21 mg/L |
| VALOR MÍNIMO | 3,50 mg/L | 0,001 mg/L | 1,6 mg/L | 0,001 mg/L |
| VALOR MÉDIO | 11,12 mg/L | 1,21 mg/L | 9,50 mg/L | 2,64 mg/L |
| DESVIO PADRÃO | 4,69 | 2,16 | 3,67 | 3,28 |

Fonte: Acervo do autor

Conforme mostra a tabela 10, foram encontrados valores máximos, médio, mínimo e o desvio padrão para as estações de tratamento com relação ao parâmetro de Fósforo Total. Os dados obtidos nos 36 (trinta e seis) meses de estudo foram analisados, onde a ETE Aurenny teve um valor máximo de 25,36 mg/L, um valor médio de 11,12 mg/L e um valor mínimo de 3,50 mg/L na entrada do afluente na estação de tratamento. Tratando-se de efluentes, tivemos 11,51 mg/L sendo valor máximo, 0,001 mg/L o valor mínimo e 1,21 mg/L o valor médio. Para ETE Norte foi feita a mesma relação de valores, em que na entrada do afluente da ETE tivemos 18,99 mg/L sendo o valor máximo, 1,6 mg/L, o valor mínimo e o valor médio de 9,50 mg/L. Para o efluente tivemos 15,21 mg/L sendo o valor máximo, 0,001 mg/L o valor mínimo e 2,64 mg/L o valor médio.

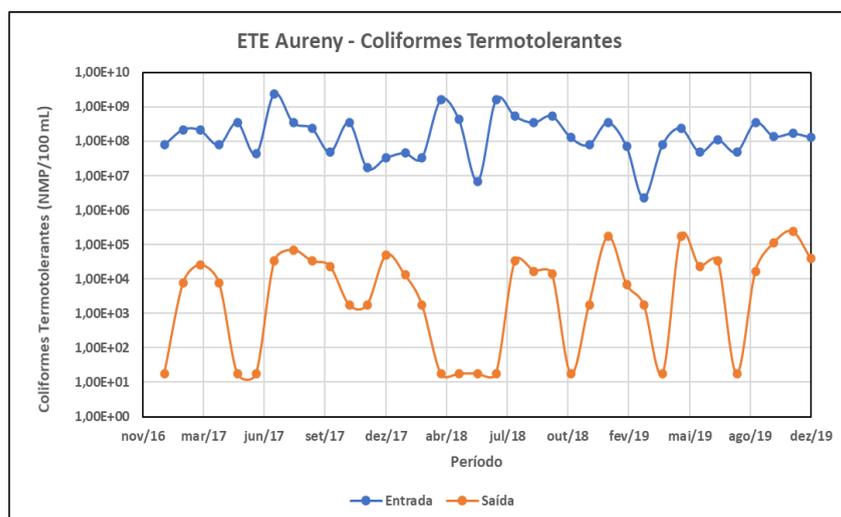
5.6 Dados referentes a Coliformes Termotolerantes

As características biológicas do esgoto são compostas, principalmente, por microrganismos representados pelos coliformes fecais, aqueles presentes nas fezes humanas, por coliformes totais, que estão presentes nas fezes humanas e dos animais e pelos agentes

patogênicos, que são organismos e microrganismos que podem transmitir e causar doenças de veiculação hídrica (LEME, 2010).

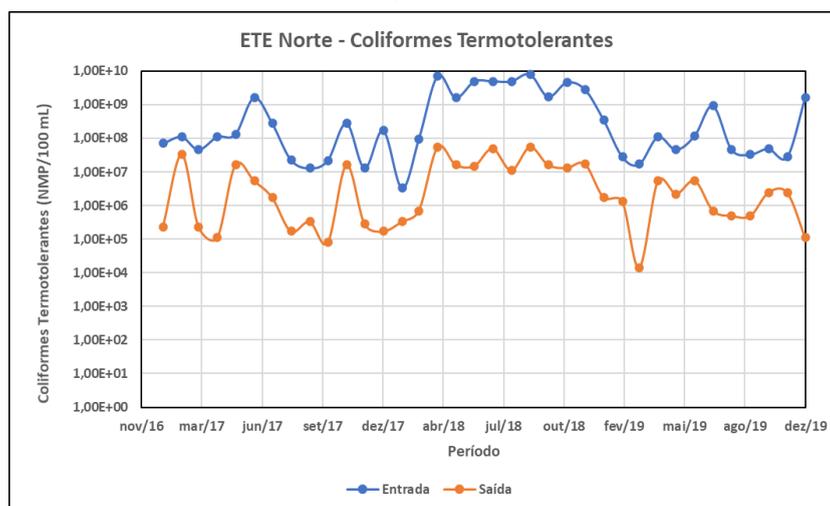
A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece limite para Coliformes Termotolerantes de até 1000 un/100mL para as condições de qualidade de corpos hídricos de Classe 2.

Gráfico 19 – Concentração de Coliformes Termotolerantes nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Aurenny.



Fonte: Acervo do autor

Gráfico 20 – Concentração de Coliformes Termotolerantes nas etapas do sistema de entrada e saída da ETE Norte.



Fonte: Acervo do autor

A eficiência na remoção de coliformes termotolerantes situou-se numa média de 99,9762% para ETE Aurenny e de 97,0039% para ETE Norte, e esteve acima do limite máximo permitido pela legislação no lançamento do efluente tratado nas duas estações durante quase todo o período de estudo. A ETE Aurenny, conforme mostra o gráfico 20 teve uma concentração menor que a ETE Norte.

Tabela 11: Resumo dos dados para Coliformes Termotolerantes das ETEs Aurenny e Norte

| RESUMO DOS DADOS PARA SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS | | | | |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| VALORES | ETE AURENRY | | ETE NORTE | |
| | ENTRADA | SAÍDA | ENTRADA | SAÍDA |
| VALOR MÁXIMO | 2,4E+09 un/ml | 2,40E+04 un/ml | 4,9E+09 un/ml | 5,4E+07 un/ml |
| VALOR MÍNIMO | 2,30E+04 un/ml | 1,80+01 un/ml | 3,30E+06 un/ml | 1,40E+04 un/ml |
| VALOR MÉDIO | 3,2E+08 un/ml | 3,19E+04 un/ml | 1,29E+09 un/ml | 9,51E+06 un/ml |
| DESVIO PADRÃO | 5,08E+08 | 3,18E+04 | 2,16E+09 | 1,51E+07 |

Fonte: Acervo do autor

Conforme mostra a tabela 11, foram encontrados valores máximos, médio e mínimo para as estações de tratamento com relação ao parâmetro de Coliformes Termotolerantes. Os dados obtidos nos 36 (trinta e seis) meses de estudo foram analisados, onde a ETE Aurenny teve um valor máximo de 2,4E+09 un/ml, um valor médio de 3,2E+08 mg/L e um valor mínimo de 2,30E+04 mg/L na entrada do afluente na estação de tratamento. Tratando-se de efluentes, tivemos 2,9E+09 mg/L sendo valor máximo, 1,80E+01 mg/L o valor mínimo 3,19E+04 mg/L o valor médio. Para ETE Norte foi feita a mesma relação de valores, em que na entrada do afluente da ETE tivemos 4,9E+09 mg/L sendo o valor máximo, 3,30E+06 mg/L o valor mínimo e o valor médio de 1,29E+09 mg/L. Para o efluente tivemos 5,4E+07 mg/L sendo o valor máximo, 1,40E+04 mg/L o valor mínimo e 9,51E+06 mg/L o valor médio.

6 CONCLUSÃO

As unidades de Tratamento do esgoto geridas pela empresa BRK Ambiental|Saneatins no município de Palmas, possuem estruturas, equipamentos e instalações modernas e tecnológicas com grande capacidade de tratamento de volumes significativos de esgoto doméstico. Porém, analisando-se os parâmetros, conclui-se que a concessionária BRK Ambiental tem atuado em desconformidade com a legislação ambiental para os parâmetros nitrogênio amoniacal e fósforo total.

O sistema de tratamento da ETE Aurenny, apresenta boa eficiência no tratamento do esgoto que chega à unidade, porém são necessárias algumas melhorias no sistema de tratamento para eficiência da remoção de nitrogênio amoniacal que não é muito eficaz na ETE e este parâmetro não é muito constante durante a remoção. Para resolver ou ajudar nesta situação, uma boa sugestão é implementar aeradores na lagoa de maturação, com o objetivo de reduzir o nitrogênio amoniacal.

O sistema de tratamento da ETE Norte, conforme os dados coletados, tem apresentado boa eficiência no tratamento do esgoto para alguns parâmetros, principalmente para remoção de matéria orgânica. Quanto ao nitrogênio amoniacal total, os sistemas de lodos ativados não foram eficientes, sendo as médias de remoção bem abaixo do esperado, o que pode ser consequência de que não esteja ocorrendo a desnitrificação da forma adequada, uma possível solução seria aderir a uma etapa físico-química para a configuração do sistema de lodos ativados, procedidos por um reator UASB para alcançar remoções mais altas.

Portanto, apesar das ETEs apresentarem tecnologias avançadas, esses sistemas de tratamento carecem de melhorias no seu funcionamento, afim de evitar a poluição dos recursos naturais utilizados.

7 REFERENCIAS

ARCHELA, E.; CARRARO, A.; FERNANDES, F.; BARROS, O. N. F.; ARCHELA, R. S. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. *Geografia, Londrina (PR)*, v. 12, n. 1, p. 517-526, jan. /jun. 2003.

ARTHUR, J. P. Notes on the design and operation of waste stabilization ponds in warm climates. Technical paper n° 07. Washington: World Bank, 1983.

BARROS, R. T. V.; CASTRO, A. A.; CHERNICHARO, C. A. L.; VON SPERLING, E.;

HELLER, L.; VON SPERLING, M. Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios: saneamento. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG, 1995.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BORGES, N. B. Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto. São Carlos, 2014. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

BRASIL, Fundação do Meio Ambiente. Relatório de Fiscalização Ambiental. Palmas Tocantins, 2017.

BRAGA, B. et al. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Agência Nacional de Águas–ANA. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2014.

CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios. 2 ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007. 380 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 5). DE OLIVEIRA, R. The Performance of Deep Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil. Ph.D. Thesis, University of Leeds, U.K, 1990.

BASSANI, F. Diagnóstico da Situação Atual do Sistema de Esgotos no Campus 1 da Universidade de Passo Fundo – RS: Parâmetros Iniciais para o Projeto de uma Estação de Tratamento Compacta. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo.

BASTOS, F. S.; VON SPERLING, M. V. Rede Cooperativa de Pesquisas: Esgotos: Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Fortaleza: ABES, 2009. 430 p.

CAMPOS, J. R. Rede Cooperativa de Pesquisas: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 443 p. CONAMA. Resolução CONAMA no 357/2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005, p. 58– 63.

CONAMA. Resolução CONAMA no 396/2008 - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 2008.

CONAMA. 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 CONAMA no 357, de 17 de março de 2005. 2011.

DEZOTTI, M. Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 360p.

FLECK, E. (2003), Sistema Integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. UFRGS. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre, Setembro-2003.

FORESTI, E., OLIVEIRA, R.A. de. Anaerobic treatment of piggery wastewater in UASB reactors. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGRICULTURAL AND FOOD

PROCESSING WASTES.7, 1995. Chicago-USA. Proceedings... Chicago, 1995. p. 309-

318.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; Van HAANDEL et al. Fundamentos do tratamento anaeróbio. IN: CAMPOS, JR. Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES, p. 29-52, 1999.

FUKUSHIMA, T. et al. Toxicity assessment of chlorinated wastewater effluents by using transcriptome-based bioassays and Fourier transform mass spectrometry (FT-MS) analysis. Water Research, Oxford, v. 52, n. 4, p.73-82, 1 abr. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.watres.2014.01.006.

Gersberg, R.M., B.V. Elkins, S.R. Lyon & C.R. Goldman. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. Water Research, 20: 363-368.

GONÇALVES, R. F. Rede cooperativa de pesquisas: Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. Vitória: ABES, 2003. 435 p.

HORAN. N. J. (1989), Biological Wastewater Treatment Systems: Theory and Operation. TD755.H66, 1989. ISBN 0 471 92258 7.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo

Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 2008, 2016.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. 2004. Fundamentos da Oxidação Química No Tratamento de Efluentes e Remediação de Solos. UNICAMP. Campinas.

JORDÃO, Eduardo Pacheco & PESSOA, Constantino Arruda. Tratamento de Esgotos Domésticos. Rio de Janeiro, 1995.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

LAY-EKUAKILLE, A.; DURICKOVIC, I.; LANZOLLA, A.; MORELLO, R.; DE CAPUA, C.; GIRÃO, P. S.; POSTOLA, O.. Effluents, surface and subterranean waters monitoring: Review and advances. *Measurement*, 137, 556-579, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.052> Lei Estadual nº 1.758, de 02 de janeiro de 2007;

LETTINGA G.; Van VELSEN, A. F. M.; HOBMA et al. Use of the upflow sludge blanket (USB) concept for biological wastewater treatment, especially anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, n. 22, p.699-734, 1980.

MARA, D. D. *Sewage Treatment in Hot Climates*. Chichester: John Wiley & Sons. (1976).

MARA, D. D., & PEARSON, H. W. Artificial freshwater environment: Waste stabilization ponds. In: *Biotechnology - A comprehensive treatise*, Vol. 8, Chapter 4. (Ed.

H. J. Rehm and G. Reed). Weinheim: Verlagsgesellschaft, pp. 177-206. (1986).

METCALF; EDDY. Inc. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4th. ed. – New York: McGraw-Hill, 1819 p, 2003.

NAVAL, L. P; COUTO, T. C. Remoção de nitrogênio amoniacal em sistemas anaeróbios. In: AIDIS Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Del Ambiente. 2005, Assunción. Avanzando hacia los objetivos del milênio em el marco de la ingenieri sanitária ambiental. Congreso Regional. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/paraguay5/IIAS01.pdf>>. Acesso em 05 dez. 2021.

NETTO, A. Contribuições indevidas para a rede coletora de esgotos. In: *Revista Ecologia: Proteger o que é de todos*. Revista DAE – SABESP, 2011.

OLIVEIRA, L. B. et al. Estado nutricional e teores de metais pesados em plantas de alface adubadas com compostos orgânicos. *Bioscience Journal*, Uberlandia, v. 30, n.3, mai. 2014.

PEARSON, H. W. Algae associated with sewage treatment. In: *Microbial Technology in the Developing World*. (Ed. E. J. da Silva, Y. R. Dommergues, E. J. Nyns and C. Ratledge). New York: Oxford University Press, pp. 260-288. (1987).

PEGORINI, E. S.; CARNEIRO C.; ANDREOLI, C. V. Mananciais de Abastecimento Público. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. *Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados*. Curitiba: Capital, 2005.

PENA, Rodolfo F. Alves. "Água de reúso na agricultura"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/agua-reuso-na-agricultura.htm>. Acesso em 30 de junho de 2021.

RAMOS, C. et al. Chemical cleaning of membranes from an anaerobic membrane bioreactor treating food industry wastewater. *Journal of Membrane Science*, Amsterdam, v. 458, n.1, p.179- 188, mai. 2014.

RICHTER, C.A. *Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento*. São Paulo. Blucher. 2011.

RODRIGUES-SILVA, C. et al. OCCURRENCE AND DEGRADATION OF QUINOLONES BY ADVANCED OXIDATION PROCESSES. *Química Nova*,

Campinas, v. 37, n. 5, p.868-885, 20 fev. 2014. GN1 Genesis Network. DOI: 10.5935/0100-4042.20140139.

SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná). Operação de Estação de Tratamento de Esgoto, Tratamento biológico anaeróbico; Manual de Treinamento. Curitiba, 2005.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. Tratamento biológico de efluentes: Fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

SANTOS, Q. R. DOS. Avaliação da influência da precipitação na rede de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto – Feira de Santana, BA. Dissertação (Mestrado).

Universidade Estadual de Feira de Santa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2013.

SCHLUSAZ, M. Avaliação da eficiência da estação de tratamento de efluente (ETE-Ronda, Ponta Grossa-PR) através da análise de parâmetros físico-químicos, 2014, Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, 2014.

SILVA, S. A. On the Treatment of Domestic Sewage in Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil. Ph. D. Thesis, University of Dundee, UK, 1982.

Sikora, F.J., Tong Zhu, L.L. Behrends, S.L. Steinberg & H.S. Coonrod. 1995. Ammonium removal in constructed wetlands with recirculating subsurface flow: removal rates and mechanisms. *Water Science and Technology*, 32 (3): 193-202.

STERRITT, R. M.; LESTER, J. N. (1988), *Microbiology for environmental and public health engineers*. ISBN 419 12760-7.

Tchobanoglous, G. 1991. Constructed wetlands: natural treatment system. p. 992-1002. In G. Tchobanoglous. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. 3. ed. Metcaft. & Eddy. Mc Graw-Hill, Toronto. 1334 p.

TEIXEIRA, C. P. A. B. (2002). Estudo comparativo de tipos diferentes de processos oxidativos avançados. 191p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. Processos oxidativos avançados: Conceitos teóricos. Campinas: Unicamp, 2004. 83 p.

TUCCI, C. E.M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. de M. C. A gestão da água no Brasil: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025. Brasília: Agência Nacional da Água, 2000.

VAN HAANDEL, A; MARAIS, G. O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações. Campina Grande: Epgraf, 142 p. 1999.

VILLEMUR, R. et al. Development of four-stage moving bed biofilm reactor train with a pre-denitrification configuration for the removal of thiocyanate and cyanate. *Bioresource Technology*, v. 181, n.1, p.254-262, abr. 2015.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. Lagoas de Estabilização - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2ª Edição. Volume 3. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. de L. Biological wastewater treatment in warm climate regions. London UK: IWA Publishing e Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005, v.1, 810 p.