Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.09,2024

ISSN 2178-6925

DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO E OPERACIONAL DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO POR LAGOA FACULTATIVA: ESTUDO DE CASO PARA A CIDADE DE FORMOSO DO ARAGUAIA – TO.

HYDRAULIC OPERATIONAL SIZING OF A FACULTATIVE LAGOON SEWAGE TREATMENT PLANT: A CASE STUDY FOR THE CITY OF FORMOSO DO ARAGUAIA – TO.

Willian Roque Barros

ORCID: https://orcid.org/0009-0008-5667-0376

Graduando do Curso de Engenharia Civil da Universidade de Gurupi – UnirG

Gurupi/TO, Brasil

E-mail: willianrbarros@unirg.edu.br

Camila Ribeiro Rodrigues

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9417-376X

Engenheira Civil, e Mestra em Engenharia Ambiental, com ênfase em Saneamento

Professora de Engenharia Civil da Universidade de Gurupi – UnirG

Gurupi/TO, Brasil

E-mail: camilaribeiro@unirg.edu.br

Resumo

Com o crescimento populacional, especialmente nos últimos vinte anos, houve um aumento significativo no consumo de água pela população e pelas indústrias. Apesar dos maiores investimentos em saneamento, uma grande parte da água utilizada ainda não recebe um tratamento adequado antes de ser lançada nos corpos hídricos. O presente artigo demonstrará o dimensionamento de uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) para o município de Formoso do Araguaia – Tocantins.
Palavras-chave: ETE; Formoso do Araguaia; Lagoa facultativa.

Abstract

With population growth, especially in the last twenty years, there has been a significant increase in water consumption by the population and industries. Despite greater investment in sanitation, a large proportion of the water used still does not receive adequate treatment before being discharged into water bodies. This article will demonstrate the sizing of a sewage treatment plant for the municipality of Formoso do Araguaia – Tocantins.
Keywords: ETE; Formoso do Araguaia; Facultative pond.

ISSN 2178-6925

1. Introdução

O grande crescimento populacional, em conjunto com a ocupação desordenada e a pouca eficiência no emprego dos recursos naturais agravam um problema que tem sido alvo de preocupações mundiais neste novo milênio, a escassez de água, aponta CERQUEIRA (2004).

De acordo com dados de 2018 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 83,6% dos brasileiros possuíam acesso ao serviço de abastecimento de água. Em contrapartida, já na questão do esgotamento sanitário, os percentuais diminuem consideravelmente, uma vez que apenas 53,2% da população era atendida com coleta de esgoto, enquanto 46,3% possuía tratamento de esgoto.

Sendo lançado em 2017 pela ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico), em conjunto com o Ministério das Cidades – que, atualmente é chamado de Ministério do Desenvolvimento Regional – o Atlas Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas aponta que 38,6% dos esgotos que são produzidos no país não são coletados, tampouco tratados. 18,8% dos esgotos são coletados, todavia são lançados incorretamente, sendo nos corpos d'água sem o devido tratamento. Os 42,6% restantes são coletados e tratados antes de retornarem aos mananciais.

Mesmo após entrar em vigor o Novo Marco do Saneamento, o qual foi sancionado na Lei 14.026 de 2020, quase 35 milhões de pessoas no Brasil vivem sem água tratada e cerca de 100 milhões não tem acesso à coleta de esgoto (Instituto Trata Brasil, 2022). Esses fatores contribuem para o surgimento de doenças que poderiam ser evitadas, resultando na morte por contaminação.

Observando o quadro de 20 melhores municípios no ranking do saneamento de 2024, o qual é apontado pelo SNIS (2022), observa-se que há uma predominância de cidades das regiões Sudeste (12), Sul (5) e Centro-Oeste (3) (Instituto Trata brasil, 2024).

Em contrapartida, dentre os 20 piores municípios no ranking do saneamento de 2024, sete são da região Norte, seis da região Nordeste, cinco da região Sudeste, um da Centro-Oeste e um da Sul (Instituto Trata Brasil, 2024).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), dos 1,5 milhão de moradores do Tocantins, 394,3 mil pessoas não tinham

ISSN 2178-6925

acesso ao sistema de rede de água e 1,3 milhão de pessoas não tinham acesso ao sistema de rede de coleta de esgoto.

Além disso, o município de Formoso do Araguaia (cidade escolhida) não possui política e plano municipal de saneamento. Baseando-se nesses dados alarmantes, percebe-se a necessidade do investimento em saneamento básico nas regiões mais subdesenvolvidas do Brasil. O objetivo desse trabalho é dimensionar uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) para a cidade mencionada acima, tendo o objetivo de tratar o esgoto gerado pela comunidade antes de devolvê-lo ao meio ambiente, removendo poluentes, matéria orgânica, nutrientes excessivos, sólidos suspensos e microrganismos patogênicos do esgoto, assegurando que a água tratada seja segura para o descarte no corpo hídrico escolhido (Rio Formoso).

2. Revisão da Literatura

2.1. Caracterização da Área de Estudo

Segundo dados coletados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no último censo (2022), a cidade de Formoso do Araguaia possuía uma população de 18.881 pessoas, abrangendo uma densidade demográfica de 1,41 habitante por quilômetro quadrado.

Ainda segundo o IBGE (2022), o município de Formoso apresenta uma área de 13.431,861 km², ficando na posição 89 de 5.570 entre todos os municípios do estado do Tocantins.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística relatou que, em 2021, o munícipio de Formoso apresentou um PIB (Produto Interno Bruto) per capita de R$ 77.025,73 e, no ano de 2010, um IDHM (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) de 0,670.

Quando comparado o PIB a de outras cidades do estado do Tocantins, o distrito de Formoso do Araguaia ficou na posição 7 de 139 municípios do estado e na de 379 de 5.570 dentre todos os municípios.

No quesito saúde, dados de 2022 do IBGE da cidade de Formoso do Araguaia apontam uma mortalidade infantil média de 12,15 para cada 1.000 nascidos vivos. As internações causadas por doenças como diarreias foram de 0,3 para cada 1.000 habitantes. Comparando esses dados com de outros municípios do estado, evidencia-se que a presente cidade ficou nas posições 49 de 139 e 87 de 139, respectivamente.

ISSN 2178-6925

É possível ainda constatar que, em 2010, o IBGE registrou um percentual quanto às questões do meio ambiente em Formoso do Araguaia, no qual o município retratou um índice de 18,1% de domicílios que possuem esgotamento sanitário adequado, o que evidencia a preocupação com a falta de uma ETE nessa localidade, acarretando em uma série de problemas sociais, sanitários e econômicos.

Ainda no quesito saúde, o instituto também relatou que 96,9% dos domicílios urbanos possuem arborização e 1,4% de residências urbanas possuem uma urbanização adequada (presença de calçada, pavimentação, bueiro e meio-fio).

Segundo dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), a empresa fornecedora de água e esgoto para a cidade de Formoso do Araguaia é a SANEATINS (BRK Ambiental).

A figura 01 abaixo retrata o mapa do estado do Tocantins, de forma que destaca o município de Formoso do Araguaia.

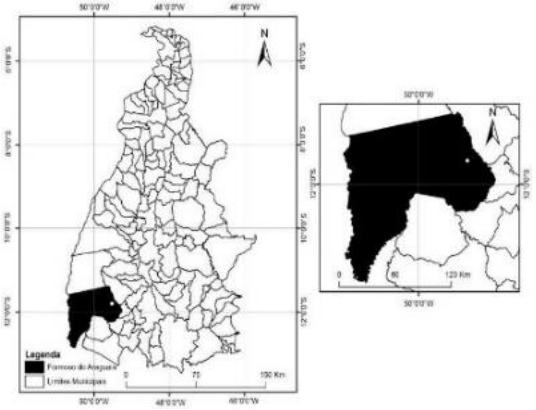


Figura 01 - *Localização do município de Formoso do Araguaia – Tocantis (Santos, André e Costa, Gildeane e Oliveira, Lucicléia e Souza, Patrícia e Cesar Cardoso de Lima Fonseca Alves, Kaio, 2017).*

2.2. Princípios do Tratamento de Esgoto

Segundo TARDIVO (2009), o esgoto é tratado em diferentes níveis em etapas físicas, químicas e biológicas em uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), antes de serem despejados no corpo receptor.

Os sistemas de tratamento de esgoto possuem por função a remoção de matéria orgânica, assim como nutrientes e microrganismos patogênicos, de forma que proporcione a saúde pública e a proteção ambiental. Assim sendo, o tratamento pode ser de natureza física, química e biológica. Os processos físicos objetivam, por meio de processos de interceptação (grades) e de processos de

ISSN 2178-6925

sedimentação (caixas de areia, decantadores, fossas sépticas, etc.) a respectiva remoção dos sólidos grosseiros e sedimentáveis (METCALF e EDDY, 2003).

De acordo com SANTOS (2016), os processos biológicos, juntamente com os físicos, são os mais usados no Brasil para o tratamento de esgoto doméstico. Os processos aeróbios possuem como agente oxidante o oxigênio (O_2) dissolvido, enquanto os anaeróbios possuem como agente oxidante os nitratos (NO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}) e dióxido de carbono (CO_2). Existem ainda os processos biológicos facultativos nos quais, quando em uma mesma unidade, desenvolvem-se, de forma simultânea, os processos aeróbios e anaeróbios.

A depender de como será usada a água do corpo receptor onde os efluentes serão arremessados, pode ser necessária uma unidade de processamento químico para desinfecção, logo após a etapa biológica, objetivando à erradicação de quaisquer organismos indesejados, de forma que possibilite o reuso por parte dos seres humanos (TARDIVO, 2009).

De maneira mais sintética, o tratamento de esgoto pode ser classificado nos níveis preliminar, primário, secundário e terciário – esse último é usado eventualmente, pois, ordinalmente, existem concepções compactas que englobam os níveis primário, secundário e terciário em uma etapa única (ZAIAT, 2009) – dependendo dos fatores, como poluentes removidos, eficiência na remoção e do tipo do tratamento empregado (GUIMARÃES e NOUR, 2001).

2.3. Tipos de Estações de Tratamento

A companhia de água e saneamento da BRK, a qual fornece serviços para a cidade de Formoso do Araguaia, evidencia que, da mesma forma que a água, o tratamento de esgoto é um serviço fundamental a ser disponibilizado para a população de uma cidade. Através dessas duas ações, objetiva-se assegurar que as pessoas estejam seguras ao beber água e que não sejam expostas a diversas doenças, assim como poluentes.

A companhia mencionada acima ainda ratifica que, se não for devidamente tratado, o esgoto é um mecanismo muito perigoso e pontecializador para a transmissão de doenças de veiculação hídrica. Baseando-se nisso, existem diversos tipos de tratamento desse efluente, no qual cada um tem as suas particularidades, entretanto todos visam a segurança da população e a preservação

ISSN 2178-6925

do meio ambiente, principalmente dos recursos hídricos, como rios, lagos e oceanos.

Logo abaixo, são citados 3 (três) tipos de estações de tratamento que podem ser usadas para tratar corretamente o esgoto, sendo elas: lagoas de estabilização (anaeróbia; maturação e facultativa); lagoas aeradas e lodos ativados.

2.3.1. Lagoas de estabilização

Os sistemas de lagoas de estabilização constituitem-se na forma mais simples para o tratamento de esgotos. Há diversas variantes dos sistemas de lagoas de estabilização, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área (VON SPERLING, 2019).

As lagoas de estabilização formam um processo biológico de tratamento de águas residuárias, as quais são caracterizadas pelo baixo custo e simplicidade. As mesmas são tipificadas como a forma mais simples para o procesos de tratamento de esgotos. Quanto a sua definição, as lagoas de estabilização possuem um corpo de água lêntico, sendo construído pelo homem e é destinado ao armazenamento de resíduos líquidos de matéria orgânica, como o efluente oriundo de sanitário bruto e sedimentado e, além desse, também apresenta-se os despejos industriais orgânicos e oxidáveis (KELLNER e PIRES, 1998; SILVA *et al*, 1979; VON SPERLING, 1976; UEHARA e VIDAL, 1989).

De maneira geral, as lagoas de estabilização são o tratamento mais indicado para as regiões de clima quente e em desenvolvimento – como a cidade de Formoso do Araguaia – uma vez que as mesmas possuem os seguintes aspectos (KELLNER e PIRES, 1998; SILVA *et al*, 1979; VON SPERLING, 1976; UEHARA e VIDAL, 1989): uma suficiente disponibilidade de área, clima favorável e operação relativamente simples (necessidade de pouco ou nenhum equipamento).

KELLNER e PIRES (1998) afirmam que, levando em consideração à atividade biológica predominante, as lagoas de estabilização podem ser classificadas em 3 (três) tipos, sendo elas: lagoas anaeróbias, lagoas facultativas e lagoas de maturação – VON SPERLING (2019) corrobora ainda que o principal objetivo das duas primeiras lagoas citadas é a remoção da matéria carbonácea, enquanto a terceira é direcionada à remoção de organismos patogênicos –. Logo abaixo, segue a definição de cada uma.

ISSN 2178-6925

2.3.1.1. Lagoa anaeróbia

De acordo com BERG (2015), as lagoas anaeróbias podem ser definidas como bacias de terra revestidas, as quais são utilizadas para o tratamento primário de águas residuais industriais e municipais. Esse tipo de lagoa produz biogás por meio da digestão anaeróbica, onde este pode ser não apenas capturado, como também usado para gerar eletricidade renovável, o que representa um caminho para o gerenciamento de forma sustentável de águas residuais.

As lagoas anaeróbias são reconhecidas atualmente como uma excelente opção para a remoção de poluentes orgânicos. Entretanto e, como qualquer outro reator anaeróbio, produzem efluentes com ausência de oxigênio dissolvido, concentrações indesejáveis de amônia e sulfetos. Baseando-se nisso, faz-se necessário uma etapa posterior de tratamento, sendo baseada em processos aeróbios, visando alcançar padrões legais de lançamento (MONTEGGIA, ALÉM SOBRINHO, 1999).

VON SPERLING (2019) afirma que as lagoas anaeróbias têm sido amplamente utilizadas para o tratamento de esgotos domésticos quanto para os oriundos de despejos industriais predominantemente orgânicos, como os encontrados em matadouros, laticínios e indústrias de bebidas, que possuem altos teores de DBO. Ele também destaca que essas lagoas, que não requerem qualquer equipamento especial e têm um consumo de energia praticamente desprezível, são frequentemente combinadas com lagoas facultativas no sistema conhecido como *australiano*, devido à eficiência de remoção de DBO nestas lagoas, que varia entre 50% e 70%. Contudo, o autor observa que, apesar da eficiência, a DBO efluente ainda pode ser elevada, o que frequentemente demanda uma unidade de tratamento posterior.

As lagoas anaeróbias são dimensionadas para receber altas cargas orgânicas, o que praticamente impede a existência de OD (Oxigênio Dissolvido) no meio líquido. Não havendo OD, a MO (Matéria Orgânica) é digerida de modo anaeróbio. A profundidade pode variar de 2,5 a 5,0 m e o tempo de detenção hidráulica mínimo é de três dias (VON SPERLING, 1996).

Além disso, as lagoas anaeróbias não exigem a presença de profissionais capacitados para a sua operação e manutenção. Esse último fator acaba tornando

esse tipo de lagoa muito conveniente para ser usada em pequenas cidades, como afirma PEÑA *et al.* (2000).

JORDÃO e PESSOA (1995) afirmam que o tempo de detenção hidráuica deve ser suficiente para que hajam a sedimentação de todos os sólidos presentes no efluente, assim como para que seja realizada a degradação da matéria orgânica solúvel. Portanto, tais procedimentos exigem um período de, no mínimo, 2 (dois) a 5 (cinco) dias (para as bactérias que possuem um crescimento acelerado). Quando bem projetada, uma lagoa anaeróbia possui a capacidade de operar sem a proliferação de maus odores, o que acarreta em uma significativa redução de DBO, conforme especificado acima.

2.3.1.2. Lagoa de maturação

As lagoas de maturação são utilizadas em ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) principalmente para remoção de organismos patogênicos e de nutrientes (WHO, 1987).

As lagoas de maturação são empregadas no tratamento terciário dos esgotos possibilitando o polimento do efluente tratado em outras unidades. Usualmente, essas lagoas têm profundidade inferior ou igual a 1 metro e são construídas em série (MARA *et al*., 1992). O tamanho e número de lagoas varia conforme a qualidade do efluente tratado nas unidades precedentes, assim como a qualidade final requerida.

Segundo MARA *et al.* (1992), as lagoas de maturação apresentam uma menor estratificação biológica e físico-química vertical em comparação às lagoas facultativas, resultando em uma oxigenação mais homogênea ao longo do dia. Essas lagoas têm como função primária a remoção de microorganismos indesejados nos efluentes, destacando-se pela superioridade na remoção de patógenos em relação a outros sistemas biológicos. Apesar de apenas uma pequena fração da DBO_5 ser reduzidas nessas unidades, elas contribuem significativamente para a remoção de fósforo e nitrogênio, utilizando mecanismos como volatilização, precipitação e assimilação pela biomassa algal. Além disso, as lagoas de maturação possuem uma maior diversidade de algas em relação às lagoas facultativas, com predomínio de gêneros sem motilidade. Elas também

ISSN 2178-6925

abrigam uma quantidade considerável de zooplâncton e peixes, e, em casos de falta de manutenção adequada, podem surgir macrófitas no sistema.

Em regiões de clima tropical e subtropical, a lagoa de maturação promove uma desinfecção natural dos esgotos pela ação de diversos fatores, tais como a elevada temperatura, sedimentação, tempo de retenção hidráulico, insolação, pH, OD (Oxigênio Dissolvido), escassez de alimento, herbivoria, competição biológica e presença de compostos tóxicos (MARA *et al.*, 1992; VON SPERLING, 1996; KELLNER E PIRES, 1998; MAYNARD *et al.*, 1999).

O regime de mistura também é considerado, por muitos autores, impactante na redução de coliformes fecais nessas unidades, sendo um fator dependente do projeto da lagoa e das condições climáticas locais (BRISSAUD *et al.*, 2003).

O funcionamento incorreto dessas lagoas pode liberar efluentes à um corpo receptor, que geralmente é algum rio ou córrego, em concentrações superiores ao exigido pela legislação brasileira (BRASIL, 2011).

2.3.1.3. Lagoa facultativa

VON SPERLING (2019) explica que as lagoas facultativas, a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização, operam pela retenção dos esgotos por um período de tempo suficiente para permitir a estabilização natural da matéria orgânica. A principal vantagem desse sistema está na simplicidade e confiabilidade da operação, uma vez que os processos naturais são robustos e não requerem equipamentos que possam falhar ou esquemas especiais. No entanto, a desvantagem está na lentidão desses processos naturais, exigindo longos tempos de detenção para que as reações se completem, o que resulta em grandes requisitos de área.

De acordo com UEHARA e VIDAL (1989), as lagoas facultativas apresentam uma profundidade que pode variar de 1,0 a 2,5 m, possuindo um tempo de detenção hidráulica de 10 (dez), 20 (vinte) e, no máximo, 35 (trinta e cinco) dias.

VON SPERLING (1996) afirma que as lagoas facultativas possuem um mecanismo de depuração de esgoto que ocorre em 3 (três) zonas, sendo elas: anaeróbia, aeróbia e facultativa.

ISSN 2178-6925

As mesmas são utilizadas no tratamento secundário dos esgotos e, quando comparada as lagoas anaeróbias, as facultativas são menos pronfudas, além de operarem com uma menor carga orgânica. O principal objetivo das lagoas facultativas é a remoção da matéria orgânica presente nos efluentes. O seu nome "facultativa" é oriundo de uma camada aeróbia superficial presente nessas lagoas. Além disso, esse tipo de lagoa apresenta uma zona facultativa intermediária e uma camada anaeróbia no fundo (BENTO, Alessandra Pellizzaro, 2005).

KÖNIG (1990) afirma que a presença de certos nutrientes, como o NH_4^+ e o PO_4^{-2}, os quais são resultantes da atividade bacteriana, são os responsáveis pelo crescimento das algas nas lagoas facultativas. Esse tipo de planta produz o oxigênio, por meio do processo de fotossíntese, para as bactérias utilizarem para a oxigenação aeróbia da matéria orgânica.

Baseando-se no paragráfo acima, é notório que existe uma relação mutualística entre as algas e as bactérias, mesmo que algumas espécies de algas encontradas em LEEs possuem a capacidade de utilizar material orgânico diretamente (OSWALD *et al.*, 1953; PIPES e GOTAAS, 1960 *apud* KÖNIG, 1990).

2.3.2. Lagoas aeradas

VON SPERLING (2019) descreve que a lagoa aerada facultativa é uma opção para quem busca um sistema predominantemente aeróbio e com dimensões menores em comparação com as lagoas facultativas tradicionais ou o sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas. A principal diferença entre as lagoas aeradas e as lagoas facultativas convencionais está na forma de suprimento de oxigênio: enquanto nas lagoas facultativas o oxigênio provém da fotossíntese, nas lagoas aeradas o oxigênio é fornecido por aeradores. Devido à introdução de mecanização, as lagoas aeradas são menos simples em termos de manutenção e operação em comparação com as lagoas facultativas, mas a redução dos requisitos de área é alcançada com um aumento no nível de operação e o consumo de energia elétrica.

NUVOLARI (2011) descreve que as lagoas aeradas surgem da necessidade de diminuir a área necessária para o tratamento de efluentes, introduzindo oxigênio artificial para ser utilizado pelos organismos decompositores da matéria orgânica solúvel e finamente particulada. A energia de aeração é essencial para manter a massa líquida na ETE e permitir a remoção de lodo em intervalos de poucos anos.

ISSN 2178-6925

As lagoas aeradas podem ser divididas em dois tipos: a lagoa aerada facultativa, que possui baixo grau de turbulência suficiente para manter a oxigenação adequada e resulta na decantação de parte da biomassa, e a lagoa aerada de mistura completa, onde o elevado grau de turbulência mantém toda a biomassa em suspensão. Contudo, o autor também ressalta que a implementação dessas lagoas enfrenta desafios devido ao alto custo de energia elétrica para operar os aeradores, embora estudos estejam em andamento para compatibilizar as lagoas aeradas com lagoas de decantação a fim de reduzir esse custo.

2.3.3. Lodos ativados

Segundo VON SPERLING (2005), o sistema de lodos ativados é bastante utilizado em todo o planeta, com destaque para situações em que se visa obter um efluente com uma qualidade considerável e, para tal finalidade, se utilizaria uma menor área. Todavia, quando se é comparado com as lagoas de estabilização, o sistema de lodos ativados possui uma complexidade operacional maior, assim como um maior consumo energético e um nível elevado de mecanização.

O lodo acumulado no fundo da lagoa é resultado dos sólidos em suspensão do esgoto bruto, incluindo areia, mais micro-organismos (bactérias e algas) sedimentados. A fração orgânica do lodo é estabilizada anaerobicamente, sendo convertida em água e gases. Em assim sendo, o volume acumulado é inferior ao volume sedimentado (VON SPERLING, 2019).

Em sistemas aerados verificou-se uma redução no volume, que pode ser alcançado por meio do aumento da concentração de biomassa em suspensão no meio líquido. Dessa forma, quanto mais bactérias houver em suspensão, maior será o consumo de alimento, isto é, maior será a assimilação da MO (Matéria Orgânica) presente no esgoto bruto. Comparando-se com o sistema de lagoas aeradas e lagoas de decantação, verifica-se que ainda há um reservatório de bactérias ainda ativas nas unidades de decantação. Caso parte dessas bactérias voltasse à unidade de aeração, a concentração total de bactérias seria aumentada consideravelmente. Esse é o princípio dos sistemas de lodos ativados, onde os sólidos são recirculados do fundo da unidade de decantação de volta para a unidade de aeração por meio de bombeamento (VON SPERLING 2002; 2005).

ISSN 2178-6925

2.4. Processos de Remoção de Poluentes

Os processos de tratamento dos esgotos são constituídos por algumas operações unitárias, utilizadas para a remoção de substâncias indesejáveis ou para transformar essas substâncias em outras de forma que elas passem a ser aceitas pela legislação (NUVOLARI, 2011).

Segundo o levantamento de 2020 do Ministério do Desenvolvimento Regional (MIDR), o Brasil ainda não havia conseguido levar o serviço de esgoto para quase metade da população do país. Mesmo após a implementação do PLANSAB (Plano Nacional de Saneamento Básico), ainda assim o gigante sul-americano apresenta um número de quase 35 milhões de pessoas que sequer possuem acesso a água tratada (Instituto Trata Brasil, 2019).

Além desse numéro alarmante, o relatório do MIDR ainda adverte que 100 milhões de pessoas vivem sem coleta de esgotos (o que representa 47,6% da população) e, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), apenas 46% de todo o volume de esgoto recebe destinação final correta. O restante é lançado na natureza, ocasionando impactos à saúde, ao meio ambiente e aos cofres públicos.

Baseando-se nisso, é notório evidenciar que, quando um imóvel não está conectado à rede pública, os líquidos acabam sendo despejados de forma direta em corpos hídricos, como rios, oceanos e lagos. Além da poluição destes, o despejo ilegal desses efluentes podem ocasionar na contaminação da população e dos animais e na proliferação de doenças de veiculação hídrica.

Entretanto, quando o esgoto é devidamente tratado e devolvido à natureza, o mesmo passa por procedimentos rigorosos, os quais são determinados através de legislações ambientais, visando assim assegurar que o descarte do efluente não prejudique o meio ambiente.

Segundo BRITO et al. (2015, p.4), “O tratamento dos esgotos geralmente é classificado por meio dos seguintes níveis: tratamento preliminar; tratamento primário; tratamento secundário; tratamento terciário”.

De acordo com BRITO et al. (2015, p.4-5), “O tratamento preliminar baseia-se em um conjunto de aparelhos (grades), o qual permite a retirada de sólidos grosseiros do esgoto bruto, visando torná-lo adequado para o tratamento posterior. No tratamento primário ocorrem processos físico-químicos, com a remoção de

sólidos em suspensão sedimentáveis. Já no tratamento secundário ocorre a remoção da matéria orgânica e, para isso, utiliza-se reações bioquímicas".

As ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) são apropriadas com diferentes etapas para realizar o tratamento desse efluente. A companhia de saneamento básico da BRK, a mesma que fornece serviços para a cidade de Formoso do Araguaia, utiliza o tratamento composto por gradeamento, desaneração, tratamento biológico, decantação e descarte, respectivamente. Logo abaixo, têm-se a descrição de cada serviço.

2.4.1. Gradeamento

Segundo VON SPERLING (2015) o tratamento preliminar objetiva, principalmente, à remoção de sólidos grosseiros e areia e, para tal finalidade, são utilizados mecanismos de remoção de ordem física. Esse sistema conta com, além dos mecanismos citados anteriormente, uma unidade para a medição de vazão (calha Parshall).

Ainda de acordo com VON SPERLING (2005), as grades visam remover os sólidos grosseiros presentes no efluente, no qual, no gradeamento, os materiais que possuem dimensões superiores do que o espaçamento entre as barras é retido.

Segundo a NBR 12209 (2011, p.11), e a NBR 12208 (1992, p.3), as grades de barras são classificadas de acordo com o espaçamento, por exemplo: grade grossa (espaçamento de 40 a 100 mm), grade média (espaçamento de 20 a 40 mm) e grade fina (10 a 20 mm).

2.4.2. Desaneração

Logo após passar pela frase de gradeamento, o esgoto segue caminho para a caixa de areia. Ao chegar no local, é feita uma remoção de todos os detritos sólidos que ficaram presentes no efluente. Para tal finalidade, utiliza-se a sedimentação – processo físico que visa separar as párticulas sólidas em suspensão da água, utilizando a ação da gravidade, assim como a diferença de densidade entre a água e a párticula sólida (IERVOLINO, 2022).

Como explicado no parágrafo acima, devido a diferença de densidade, materiais como a areia, pedriscos, cascalhos e outros elementos vão para o fundo

do tanque, enquanto o efluente permanece na superfície, sendo encaminhado para a etapa de tratamento biológico.

2.4.3. Tratamento biológico

De acordo com SANTOS (2016), o tratamento secundário visa à remoção da matéria orgânica suspensa, utilizando processos anaeróbios, facultativos e aeróbios. O autor ainda destaca que, dentro dos processos aeróbios, as valas de filtração, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e os filtros anaeróbios são particularmente importantes.

Segundo a companhia de saneamento BRK, a mesma utiliza microorganismos para tal ação, como o rotífero e o tardígrado, visando condensar os sólidos vísiveis flocos de lodo.

2.4.4. Decantação

Terminado o processo biológico, o efluente será submetido a um processo de decantação – processo físico de separação de misturas heterogêneas do tipo líquido-sólido e líquido-líquido. A mesma se baseia na diferença de densidade entre seus componentes e no fato de serem insolúveis um no outro (FOGAÇA, s.d.).

Segundo VON SPERLING (2005), os tanques de decantação retangulares de fluxo horizontal, no qual os esgotos irão fluir de forma lenta, permitem que estes sedimentem e formem uma massa sólida. Esse processo ocorre pois os sólidos presentes no efluente possuem uma densidade maior do que a do meio líquido.

O lodo que se forma é destinado para o fundo do tanque, separando-se da parte líquida do efluente, a qual já está livre de quaisquer patôgenos e impurezas.

Vale ressaltar que esse acúmulo de lodo possui grande serventia e pode ser usado até mesmo na agricultura. O mesmo é chamado de “biosólido”.

2.4.5. Descarte

Por fim, mas não menos importante, é realizado o descarte do efluente. Antes de tudo, o lodo produzido passa por um processo de desidratação e é levado para um aterro sanitário especializado.

Após isso, o efluente, cujo estado já apresenta uma clareza notória, é devolvido para o meio ambiente. Existem eventualidades em que o mesmo pode

passar por mais tratamentos específicos e podem, até mesmo, ser transformado em água de reuso.

3. Metodologia

O despejo de esgotos é um dos grandes causadores da poluição dos corpos hídricos, principalmente o efluente doméstico sem nenhum tipo de tratamento ou com tratamento inadequado (BARROS, 2012).

O dimensionamento de lagoas facultativas é uma etapa imprescindível no projeto de sistemas de tratamento de águas residuais. Baseando-se no fato de que as mesmas são uma forma de tratamento de esgoto que aproveita processos naturais de decomposição e sedimentação para remover impurezas do efluente, é necessário levar em consideração alguns pontos para o seu dimensionamento.

Logo abaixo, seguem as fórmulas que foram utilizadas no presente artigo para dimensionar a ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) no município de Formoso do Araguaia – Tocantins.

3.1. Estimativa populacional (PT)

A primeira etapa foi realizar a estimativa populacional da cidade escolhida (Formoso do Araguaia). Para tanto, foi-se necessário efetuar a coleta de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) da população do município selecionado entre os anos de 1992 a 2011. Após isso, utilizou-se a fórmula abaixo para realizar uma perspectiva da taxa de crescimento aritmética da cidade (equação 1):

$$KA = \frac{P2-P0}{T2-T0}, \text{onde:} \qquad \text{(Eq.1)}$$

KA = Taxa de crescimento aritmética;
P2 = População do ano de 2011 (18.398 hab.);
P0 = População do ano de 1992 (17.371 hab.);
T2 = Tempo da coleta do último censo (2011);
T0 = Tempo da coleta do primeiro censo (1992).

Seguidamente, foi realizado o cálculo para estimar a população de projeto para o ano de 2054 – deve-se saber que uma ETE é calculada tendo um tempo de vida útil de 30 anos –, através da equação descrita abaixo (equação 2):

ISSN 2178-6925

$$PT = P0 + Ka * (2054 - T0), onde: \quad \text{(Eq.2)}$$

PT = População de projeto (habitantes);

P0 = População do ano de 1992;

Ka = Taxa de crescimento aritmética;

T0 = Tempo da coleta do primeiro censo (1992).

3.2. Vazão média de projeto (Q)

O passo seguinte foi realizar o dimensionamento da vazão média de projeto (equação 3) – é a média entre a vazão afluente e a vazão efluente (VON SPERLING, 2019).

Segundo VON SPERLING (1995), deve-se adotar um valor de QPC entre 110 a 180 l/hab.dia^{-1} para pequenas localidades que apresentem uma população de 10.000 a 50.000 habitantes. Na ocasião, adotou-se um QPC de 150 l/hab.dia^{-1}.

O coeficiente de retorno usado para determinar a vazão sanitária, segundo a NBR 9649/1986, deve ser 80% em relação a vazão consumidade.

Como o resultado calculado foi dado em litros/dia, foi realizada uma conversão para m^3/dia e, para tanto, dividiu-se o valor por 1.000.

$$Q = P * C * QPC, onde: \quad \text{(Eq.3)}$$

Q = Vazão média de projeto (m^3/d);

P = População final para o ano de 2054;

C = Coeficiente de retorno (0,8);

QPC = Quota per capta de água.

3.3. DBO afluente (SO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), é a quantidade necessária de oxigênio para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente no afluente (TARDIVO, 2009; JORDÃO e PESSOA, 2011).

Para estimar um valor de DBO afluente, foi utilizado um mapa do Brasil contendo diferentes valores de DBO que são adotados por região, segundo a equação de Mara. Analisando a imagem 02 abaixo, que registra as temperaturas médias no mês de julho e taxas de aplicação, notou-se que a cidade de Formoso do Araguaia está situada em uma região cuja DBO varia de 330 a 350 kgDBO/ha.d. Portanto, adotou-se um valor fixo de 330 para a DBO afluente.

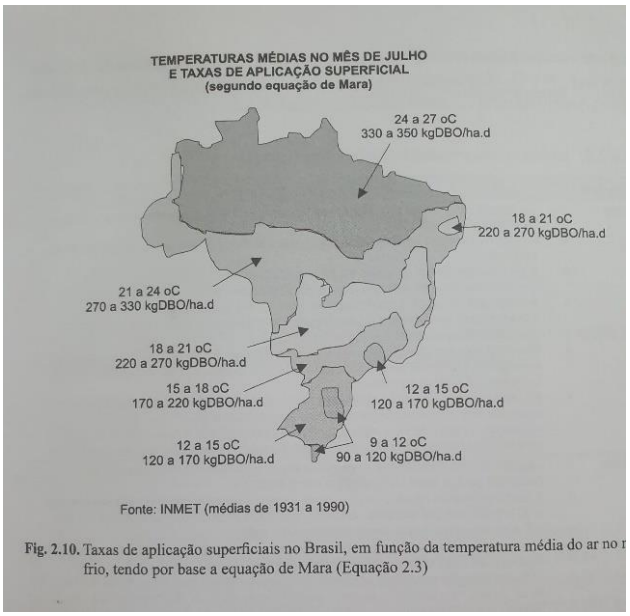


Fig. 2.10. Taxas de aplicação superficiais no Brasil, em função da temperatura média do ar no m frio, tendo por base a equação de Mara (Equação 2.3)

Figura 02 - *Temperaturas médias no mês de julho e taxas de aplicação superficial (segundo equação de MARA) – INMET (médias de 1931 a 1990).*

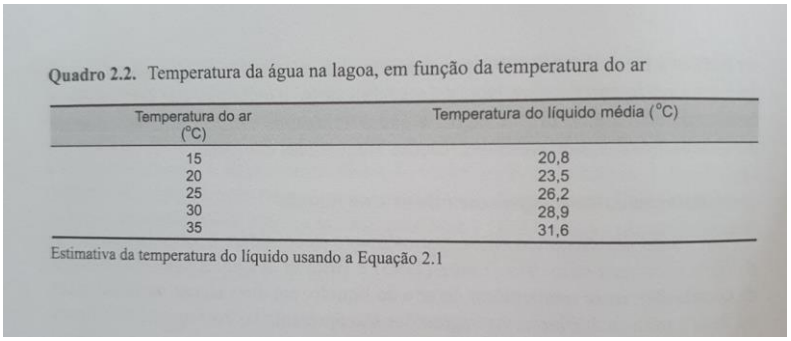
3.4. Temperatura

Para calcular a temperatura do município, foi realizada uma média entre os três meses que apresentam maior índice de precipitação (mm) na cidade de Formoso do Araguaia. No presente caso, os três meses que mais apresentaram chuvas foram: janeiro, fevereiro e março, conforme consta na imagem 03 abaixo. Os dados obtidos foram através de uma série de informações de 30 anos observados na cidade.

Mês	Minima (°C)	Máxima (°C)	Precipitação (mm)
Janeiro	23°	30°	313
Fevereiro	23°	30°	263
Março	23°	30°	288

Figura 03 - *Meses com maiores índices de precipitação na cidade de Formoso do Araguaia – Tocantins (ClimaTempo, 2024).*

Como os 3 (três) meses apresentaram uma temperatura máxima fixa de 30°C e, utilizando a imagem 04 abaixo, que registra a temperatura de água na lagoa, em função da temperatura do ar, definiu-se uma temperatura do líquido média, sendo de 28,9°C.



Quadro 2.2. Temperatura da água na lagoa, em função da temperatura do ar

Temperatura do ar (°C)	Temperatura do líquido média (°C)
15	20,8
20	23,5
25	26,2
30	28,9
35	31,6

Estimativa da temperatura do líquido usando a Equação 2.1

Figura 04 - *Temperatura da água na lagoa, em função da temperatura do ar (VON SPERLING, 2019).*

3.5. Carga afluente de DBO_5 (L)

A DBO_5 é uma medida da poluição orgânica, simbolizando apenas a quantidade de oxigênio consumido para mineralizar a matéria orgânica, não indicando a presença de outros compostos orgânicos não degradados nas condições de teste e não identificando ou quantificando efeitos tóxicos ou materiais que posssam inibir a atividade microbiana durante o teste (MCNEELY *et al*., 1979).

Para calculá-la, utilizou-se a fórmula abaixo (equação 4):

$$L = \frac{So * Q}{1000}, onde: \qquad \text{(Eq.4)}$$

L = Carga afluente de DBO_5 (kg/d);

So = DBO afluente (mg/l);

Q = Vazão média de projeto (m^3/d).

3.6. Adoção da taxa de aplicação superficial (Ls)

Segundo a NBR 13969/97, a taxa de aplicação superficial é definida como sendo a relação entre a vazão de esgoto e área superficial de uma unidade de tratamento, no qual é um dos parâmetros de projeto e operação de filtros de areia.

Para adotar o valor da taxa de aplicação superficial (Ls), deve-se levar em consideração o critério descrito na imagem 05 abaixo, que registra a taxa de aplicação superficial. No caso de Formoso do Araguaia, a cidade apresenta um inverno quente e elevada insolação, portanto adotou-se um valor de 330 kgDBO/ha.d.

ISSN 2178-6925

- **Regiões com inverno quente e elevada insolação: Ls = 240 a 350 kgDBO/ha.d**
- **Regiões com inverno e insolação moderados: Ls = 120 a 240 kgDBO/ha.d**
- **Regiões com inverno freio e baixa insolação: Ls = 100 a 180 kgDBO/hab.d**

Figura 05 - *Taxa de aplicação superficial (VON SPERLING, 2019).*

VON SPERLING (2019) define que o critério da taxa de aplicação superficial (carga orgânica por unidade de área) é o principal item do projeto, baseando-se na necessidade de ter uma determinada área de exposição à luz solar na lagoa, para que somente assim o processo de fotossíntese ocorra.

3.7. Cálculo da área requerida (A)

Posteriormente, calculou-se a área requerida para implantação da lagoa na cidade escolhida. Para isso, usou-se a fórmula abaixo (equação 5). Vale ressaltar que o valor foi dado em hectare e foi convertido para m², portanto, multiplicou-se o valor por 10.000.

$$A = \frac{L}{Ls}, onde: \qquad \text{(Eq.5)}$$

A = Área requerida (m²);

L = Carga afluente de DBO_5 (kg/d);

Ls = Adoção da taxa de aplicação superficial (KgDBO/ha.d).

Para representar a área, foi utilizado o *software* Google Earth, no qual foi desenhado as dimensões de cada lagoa (largura x comprimento). Devido a imprecisão do programa, não foi possível representar a ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) com as dimensões exatas, mas chegou o mais próximo possível da realidade. A imagem 06 abaixo retrata a área escolhida.



Figura 06 - *Representação da locação da ETE (Google Earth, 2024).*

ISSN 2178-6925

3.8. Adoção de um valor para a profundidade (H)

O passo seguinte foi adotar um valor para a profundidade da lagoa. VON SPERLING (2019) ratifica que a profundidade tem influência em aspectos físicos, biológicos e hidrodinâmicos. Como foi dito anteriormente, a profundidade desse tipo de sistema varia de 1,0 a 2,5 metros. Portanto, adotou-se um valor de 2,0 metros.

3.9. Cálculo do volume resultante (V)

Seguidamente, a próxima etapa foi calcular o volume resultante. Para tanto, utilizou-se a fórmula descrita abaixo (equação 6):

$$V = A * H, onde: \quad \text{(Eq.6)}$$

V = Volume resultante (m^3);

A = Área requerida (m^2);

H = Profundidade adotada (m).

3.10. Cálculo do tempo de detenção resultante (t)

Logo após, foi calculado o tempo de detenção resultante, que diz respeito ao tempo necessário para que os microorganismos procedam à estabilização da matéria orgânica no reator (lagoa). Ou seja, o tempo de detenção está relacionado à atividade das bactérias, conforme afirma VON SPERLING, 2019.

O tempo de detenção não é um parâmetro direto de projeto, mas um parâmetro de verificação (resultante da determinação do volume da lagoa) (VON SPERLING, 2019). Para determiná-lo, usou-se a fórmula descrita abaixo (equação 7):

$$t = \frac{V}{Q}, onde: \quad \text{(Eq.7)}$$

t = Tempo de detenção resultante (dias);

V = Volume resultante (m^3);

Q = Vazão média de projeto (m^3/d).

3.11. Adoção de um valor para o coeficiente de remoção de DBO (K)

Imediatamente após, adotou-se um valor para o coeficiente de remoção de DBO (K). VON SPERLING recomenda que as lagoas primárias (aquelas que recebem esgoto bruto), devem ter um coeficiente "K_{20}" variando entre 0,30 a 0,40 d^-

[1]. Já para as lagoas secundárias (aquelas que recebem efluente de uma lagoa ou reator), devem ter um coeficiente variando entre 0,25 a 0,32 d^{-1}. Portanto, adotou-se um valor de 0,35 d^{-1}. Já para o θ, fixou-se um valor de 1,05.

Logo após, realizou-se uma correção para a temperatura do líquido média de 28,9°C, utilizando a fórmula abaixo (equação 8):

$$Kt = K_{20} * \theta^{(T-20)} \quad \text{(Eq.8)}$$

3.12. Estimativa da DBO solúvel efluente (S)

Posteriormente, efetuou-se a estimativa da DBO sóluvel efluente. Para tal objetivo, usou-se a fórmula abaixo (equação 9):

$$S = \frac{So}{1+K*t}, onde: \quad \text{(Eq.9)}$$

S = Estimativa da DBO sóluvel efluente (mg/l);

So = DBO afluente (mg/l);

K = Coeficiente (0,54);

t = Tempo de detenção resultante (dias).

3.13. Estimativa da DBO particulada efluente (SS)

Para se calcular a estimativa da DBO particulada efluente (SS), foi realizada a divisão da DBO afluente por 1.000 e, por fim, foi multiplicada por 80, como dita a fórmula abaixo (equação 10):

$$SS\ (mgDBO5/l) = \frac{So}{1.000} * 80 \quad \text{(Eq.10)}$$

3.14. DBO total efluente

Posteriormente, efetuou-se a soma da DBO sóluvel com a DBO particulada, visando obter a quantidade total de DBO total efluente, como dita a fórmula abaixo (equação 11):

$$\text{DBO total efluente (mg/l)} = \text{DBO sóluvel} + \text{DBO particulada} \quad \text{(Eq.11)}$$

3.15. Cálculo da eficiência da remoção de DBO (E)

Logo após, calculou-se a eficiência da remoção de DBO, seguindo a fórmula abaixo (equação 12):

$$E = \frac{SO-S}{SO} * 100, onde: \quad \text{(Eq.12)}$$

E = Eficiência da remoção de DBO (%);

ISSN 2178-6925

So = DBO afluente (mg/l).

3.16. Dimensões da Lagoa

O antepenúltimo passo foi realizar o cálculo para se dimensionar a lagoa (equações 13, 14, 15 e 16). Preliminarmente, foi feita uma tentativa e erro para averiguar se as lagoas irão ter dimensões sucificientes para atender a demanda da cidade. No presente caso, foram dimensionadas 3 (três) lagoas para a cidade de Formoso do Araguaia, utilizando as quatro fórmulas listadas abaixo. O "X" representa a quantidade de lagoas que serão implantadas. A letra "B" representa a largura, enquanto a letra "L" representa o comprimento da lagoa facultativa.

$$\text{"X" } lagoas \text{ em paralelo e um relação L/B } = 2{,}5 \qquad \text{(Eq.13)}$$

$$\text{Área de 1 } lagoa = \frac{\text{Área requerida}}{\text{"X"}} \qquad \text{(Eq.14)}$$

$$B = \left(\frac{\text{Área de 1 } lagoa}{2{,}5}\right)^{0{,}5} \qquad \text{(Eq.15)}$$

$$\text{L} = \text{B} * 2{,}5 \qquad \text{(Eq.16)}$$

3.17. Área total requerida para todo o sistema

O penúltimo passo foi realizar o cálculo para descobrir a área total requerida para todo o sistema (equação 17).

$$\text{Área total } (\text{m}^2) = 1{,}3 * \text{Área requerida} \qquad \text{(Eq.17)}$$

3.18. Acumulação do Lodo (An)

O último passo foi realizar o cálculo para descobrir a quantidade de lodo que será acumulado no sistema durante os anos (equações 18, 19 e 20). Vale ressaltar que foi adotado um valor fixo de 0,05 para o ácumulo p/lagoas facultativas.

$$\text{An } (\text{m}^3/\text{ano}) = (\text{acúmulo p/lagoas facultativas}) * \text{população} \qquad \text{(Eq.18)}$$

$$\text{Espessura em 1 ano } (\text{cm/ano}) = \text{An} * \frac{1 \text{ ano}}{\text{Área requerida}} \qquad \text{(Eq.19)}$$

$$\text{Espessura em 30 anos } (\text{cm}) = \text{Espessura em 1 ano} * 30 \text{ anos} \qquad \text{(Eq.20)}$$

ISSN 2178-6925

4. Resultados e Discussão

Tabela 01: Principais resultados obtidos no cálculo da ETE para Formoso do Araguaia – TO.

Etapas	Valores	Unidades de medidas
Taxa de crescimento aritmético	54,05	-
População de projeto	20.722	habitantes
Vazão média de projeto	2.486,64	m^3/d
Carga afluente de DBO_5	820,59	kg/d
Área requerida	24.900	m^2
Volume resultante	49.800	m^3
Tempo de detenção resultante	20	dias
Correção para a temperatura de 28,9°C	0,54	d^{-1}
Estimativa da DBO solúvel efluente	27,97	mg/l
Estimativa da DBO particulada efluente	26,4	$mgDBO_5/l$
DBO total efluente	54,37	mg/l
Eficiência da remoção de DBO	83,53	%
Área de 1 lagoa	8.300	m^2
Largura da lagoa	57,62	m
Comprimento da lagoa	144,05	m
Área requerida para todo o sistema	32.370	m^2
Acumulação do lodo	1.036,10	m^3/ano
Espessura do lodo em 1 ano	0,0416	cm/ano
Espessura do lodo em 30 anos	1,38	cm

Ao observar a tabela acima, percebe-se que a ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) dimensionada irá atingir uma população futura para o ano de 2054 de 20.722 habitantes. Será necessário uma área de 24.900 metros quadrados para a implantação dessa estação de tratamento de esgoto, a qual irá contar com um volume de 49.800 metros cúbicos. Sobre o tempo de detenção resultante, isto é, o tempo pelo qual o efluente levará para sair da ETE, serão de 20 dias. Já sobre a quantidade total de DBO, foi apresentado um valor de 54,37 mg/l. Além disso, a estação de tratamento de esgoto dimensionada apresentou uma eficiência de 83,52%, sendo um índice satisfatório. Por fim, percebe-se que não haverá uma acumulação de lodo notória, uma vez que esse material irá formar mais de 1 cm somente após 30 anos da implantação da ETE.

5. Conclusão

O objetivo geral desse trabalho foi desenvolver uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) por meio do sistema de lagoa facultativa que permita, de maneira distribuída, alavancar o precentual de esgotamento sanitário do município. Nesse sentido, foi realizado um dimensionamento operacional e hidraúlico de uma estação, visando suportar a proposição do trabalho.

Levando em conta as considerações feitas na caracterização da área de estudo, torna-se possível verificar o quão importante é a implementação de uma ETE nessa cidade. Espera-se que, após a sua instalação, as pessoas que residem no município de Formoso do Araguaia possam usurfruir de um direito que está assegurado pela Constituição Federal.

Logo abaixo, a imagem 07 exemplifica um arranjo do sistema, contendo as dimensões (largura e comprimento) de cada lagoa uma das três lagoas. Tendo como objetivo facilitar a implementação das mesmas, todas possuem medidas iguais.



Figura 07 - *Arranjo do sistema (Autoria própria, 2024).*

Referências

BOBADE, V. et al. Formation mechanisms and mechanical properties of anaerobic lagoon scum. **Science of The Total Environment**, v. 843, p. 156907, 15 out. 2022.

CERQUEIRA, Raul Sandoval. **PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAGOA ANAERÓBIA POR ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SOLO**. UNICAMP, 2004. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/311583>. Acesso em: 25 ago. 2024.

Coleta de esgoto sobe apenas 0,2 ponto percentual no país. Veja os melhores e os piores municípios destacados pelo Ranking do Saneamento 2024. Instituto Trata Brasil, 2024. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/04/Release-Ranking-do-Saneamento-de-2024-TRATA-BRASIL-GO-ASSOCIADOS-V2.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

Climatologia de Formoso do Araguaia. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/588/formosodoaraguaia-to>. Acesso em: 5 ago. 2024.

CONTENT, D. POR R.; BRK. **Etapas do tratamento de esgoto: você sabe quais são elas? Saneamento em Pauta**, 23 abr. 2020a. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/etapas-tratamento-de-esgoto/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

CONTENT, D. POR R.; BRK. **Saneamento básico no Brasil: veja os principais números! Saneamento em Pauta**, 27 maio 2020b. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/saneamento-basico-no-brasil/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

CONTENT, D. POR R.; BRK. **Os 5 tipos de tratamento de esgoto e suas particularidades**. **Saneamento em Pauta**, 17 out. 2022. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/tipos-de-tratamento-de-esgoto/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

D'ALESSANDRO, E. B.; SAAVEDRA, N. KATIA. COMPORTAMENTO DE UMA LAGOA DE MATURAÇÃO: ESTUDO DE CASO. **Geoambiente On-line**, n. 32, 29 dez. 2018.

Estudo aponta que falta de saneamento prejudica mais de 130 milhões de brasileiros. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/03/estudo-aponta-que-falta-de-saneamento-prejudica-mais-de-130-milhoes-de-brasileiros>. Acesso em: 25 ago. 2024.

Figura 1. Localização do município de Formoso do Araguaia, Tocantins. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Localizacao-do-municipio-de-Formoso-do-Araguaia-Tocantins_fig1_320470476>. Acesso em: 5 ago. 2024.

IBGE | Cidades@ | Tocantins | Formoso do Araguaia | Panorama. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/formoso-do-araguaia/panorama>. Acesso em: 5 ago. 2024.

IBGE I Estimativas da População. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>. Acesso em: 5 ago. 2024.

Lagoas. Disponível em: <https://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/lagoas.html>. Acesso em: 5 ago. 2024.

LIMA, S. F. TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO ATRAVÉS DO USO DE LAGOAS AERADAS. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, v. 3, n. 1, p. 165–176, 30 nov. 2015.

TARDIVO, Mauricio. **Considerações sobre o monitoramento e controle dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de estações de tratamento de esgotos e proposta para sistema integrado de gestão com enfoque ambiental, controle de qualidade, segurança e saúde**. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP, 2009. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-25082009-084127/publico/MauricioTardivoR.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2024.

ISSN 2178-6925

TOCANTINS. Instituto Trata Brasil, 2022. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/08/Tocantins-2022.pdf. Acesso em: 25 ago. 2024.

O saneamento em FORMOSO DO ARAGUAIA | TO | Municípios e Saneamento | Instituto Água e Saneamento. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/to/formoso-do-araguaia>. Acesso em: 25 ago. 2024.

Panorama do Saneamento no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/a-ana-e-o-saneamento/panorama-do-saneamento-no-brasil-1/panorama-do-saneamento-no-brasil>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SILVA, L. R. D. ESTUDO DA IMPORTÂNCIA DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DE EFLUENTES. [s.d.].

SNIS - Série Histórica. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 5 ago. 2024.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. 3° ed. [s.l.] UFMG, 2019. v. 3