



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

GUSTAVO RICARDO RODRIGUES KLEIN

**ESTIMATIVA DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS PARA REÚSO AGRÍCOLA**

**CAMPINA GRANDE
2020**

GUSTAVO RICARDO RODRIGUES KLEIN

**ESTIMATIVA DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS PARA REÚSO AGRÍCOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito obrigatório à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

ORIENTADOR: Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento.

**CAMPINA GRANDE
2020**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

K64e Klein, Gustavo Ricardo Rodrigues.
Estimativa da viabilidade de implantação de um sistema de tratamento de efluentes domésticos para reúso agrícola [manuscrito] / Gustavo Ricardo Rodrigues Klein. - 2020.
79 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2020.
"Orientação : Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento , Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."
1. Reúso de água. 2. Lagoa de polimento. 3. Reator UASB. 4. Esgoto doméstico. I. Título
21. ed. CDD 628.3

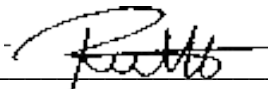
GUSTAVO RICARDO RODRIGUES KLEIN

ESTIMATIVA DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE
TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS PARA REÚSO AGRÍCOLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia Sanitária e
Ambiental do Centro de Ciências e Tecnologia
da Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito obrigatório à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovada em: 28 / 08 / 2020 .

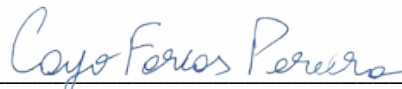
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Ruth Silveira do Nascimento (Orientadora)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Rui de Oliveira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Me. Cayo Farias Pereira
Empatech – Engenharia para o Meio Ambiente

RESUMO

Buscando atender à legislação ambiental e às crescentes demandas sociais por processos ambientalmente sustentáveis, o presente trabalho propõe um sistema de tratamento de esgoto doméstico com a finalidade de reúso agrícola, para um condomínio rural na cidade de Goiânia – GO. O efluente tratado deve atender aos padrões de reúso agrícola irrestrito da Organização Mundial da Saúde ($\leq 1000 E. coli/100 \text{ mL}$ e ≤ 1 ovo de helminto/ L). Através da comparação de vários métodos de tratamento, concluiu-se que a composição de reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) seguido de sete lagoas de polimento atende de forma mais satisfatória aos requisitos de projeto. Espera-se uma eficiência superior a 99,99% na remoção de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos. Foi realizado o dimensionamento de leito de secagem para destino do lodo do reator UASB.

Palavras-chave: Reúso de água. UASB. Lagoa de polimento.

ABSTRACT

Seeking to meet the environmental legislation and the growing social demands for environmentally sustainable processes, the present paper proposes a domestic sewage treatment system with the purpose of agricultural reuse, for a rural condominium in the city of Goiânia - GO. The treated effluent must meet the standards of unrestricted agricultural reuse by the World Health Organization (≤ 1000 *E. coli*/100 mL e ≤ 1 helminth egg/ L). Through the comparison of several treatment methods, it was concluded that the composition of UASB reactor (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) followed by seven polishing ponds meets the design requirements more satisfactorily. An efficiency greater than 99.99% in the removal of thermotolerant coliforms and helminth eggs is expected. The drying bed was designed for the destination of the UASB reactor sludge.

Keywords: Water reuse. UASB. Polishing pond.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivo Geral	9
2.1	Objetivos Específicos.....	9
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
3.1	Características do esgoto.....	10
3.1.1	<i>Vazão de esgotos</i>	<i>10</i>
3.1.1.1	<i>Vazão doméstica.....</i>	<i>11</i>
3.1.1.2	<i>Vazão de infiltração</i>	<i>11</i>
3.1.1.3	<i>Vazão industrial.....</i>	<i>11</i>
3.1.2	<i>Características físicas do esgoto doméstico</i>	<i>11</i>
3.1.2.1	<i>Matéria Sólida.....</i>	<i>12</i>
3.1.2.2	<i>Temperatura</i>	<i>12</i>
3.1.2.3	<i>Odor.....</i>	<i>12</i>
3.1.2.4	<i>Cor e turbidez.....</i>	<i>13</i>
3.1.3	<i>Características químicas.....</i>	<i>13</i>
3.1.3.1	<i>Matéria orgânica.....</i>	<i>13</i>
3.1.3.2	<i>Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....</i>	<i>13</i>
3.1.3.3	<i>Demanda química de oxigênio (DQO).....</i>	<i>14</i>
3.1.3.4	<i>Carbono orgânico total (COT).....</i>	<i>14</i>
3.1.3.5	<i>Nitrogênio.....</i>	<i>14</i>
3.1.3.6	<i>Fósforo</i>	<i>14</i>
3.1.3.7	<i>Matéria inorgânica.....</i>	<i>15</i>
3.1.3.8	<i>pH.....</i>	<i>15</i>
3.1.4	<i>Características biológicas do esgoto sanitário.....</i>	<i>15</i>
3.2	Tratamento de esgotos.....	16
3.2.1	<i>Tratamento preliminar</i>	<i>16</i>
3.2.2	<i>Tratamento primário</i>	<i>17</i>
3.2.3	<i>Tratamento secundário.....</i>	<i>17</i>
3.2.4	<i>Tratamento terciário.....</i>	<i>18</i>
3.3	Reúso de efluentes domésticos na irrigação	18
3.3.1	<i>Critérios de qualidade para reúso agrícola</i>	<i>19</i>

3.3.2	<i>Aspectos legais do reúso agrícola no Brasil</i>	22
3.3.3	<i>Métodos de tratamento para reúso agrícola irrestrito</i>	23
3.3.1	<i>Lagoas anaeróbias</i>	24
3.3.2	<i>Lagoas facultativas</i>	24
3.3.3	<i>Lagoas de maturação</i>	24
3.3.4	<i>Reatores UASB</i>	25
3.3.5	<i>Lagoas de polimento</i>	26
3.3.6	<i>Tanque-séptico</i>	26
3.3.7	<i>Filtro anaeróbio</i>	26
3.3.8	<i>Lodos ativados</i>	27
3.3.9	<i>Biofiltro aerado submerso</i>	27
3.3.10	<i>Filtro biológico percolador</i>	28
3.4	Escuma	28
3.5	Lodo de esgoto	29
3.6	Biogás e controle de odor	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Área de Estudo	33
4.2	Escolha do método de tratamento	34
4.2.1	<i>Etapa 1: Comparativo das características típicas</i>	34
4.2.2	<i>Etapa 2: Método com baixa liberação de odor (ou de fácil controle)</i>	35
4.2.3	<i>Etapa 3: Avaliar a geração de subprodutos na água de reúso</i>	35
4.2.4	<i>Etapa 4: Dimensionamento das unidades e verificação dos dados</i>	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6	CONCLUSÃO	39
7	MEMORIAL DE CÁLCULO	40
7.1	Estudos preliminares	40
7.2	Tratamento preliminar	42
7.2.1	<i>Calha Parshall</i>	42
7.2.2	<i>Caixa de areia</i>	43
7.2.3	<i>Dimensionamento da grade</i>	45
7.3	Reator UASB	46
7.4	Leito de secagem de lodo	53
7.5	Lagoas de Polimento	55
	REFERÊNCIAS	59

APÊNDICE A – TRATAMENTO PRELIMINAR	65
APÊNDICE B – REATOR UASB	66
APÊNDICE C – LEITO DE SECAGEM	67
APÊNDICE D – LAGOAS DE POLIMENTO	68
ANEXO A – PLANILHA DE CÁLCULOS	69

1 INTRODUÇÃO

A preocupação humana com os efluentes domésticos não é algo recente. Há registros de redes de esgoto desde a idade dos metais, na antiga Babilônia (3500-2500 a.C) (WOLFE, 1999) e em civilizações do Vale do Indo (2450 a.C) (JANSEN, 1989). No entanto, esses povos não aplicavam técnicas de tratamento, realizando o lançamento do esgoto bruto no corpo hídrico mais próximo (WOLFE, 1999).

A necessidade de tratar esgoto surgiu apenas no século XIX, principalmente, após a primeira revolução industrial, quando ocorreu um grande aumento populacional nas cidades e, como consequência, uma elevação no volume produzido de esgoto. Além disso, com o surgimento das indústrias, surgiria também o efluente industrial, trazendo consigo novos poluentes e contribuindo massivamente com a proliferação de vetores. O hábito de diluir o efluente em corpos hídricos tornou-se impraticável e aplicação na agricultura (*land farms*) não era mais viável, por demandar áreas cada vez maiores, obrigando o poder público a buscar alternativas sanitárias visando garantir saúde à população (WOLFE, 1999).

Métodos de tratamento passaram a ser desenvolvidos e aprimorados ao longo do século XX. As duas grandes guerras impactaram negativamente no desenvolvimento das tecnologias de saneamento, entretanto, após o término da segunda guerra mundial, ocorreram rápidos avanços no tratamento de esgoto (LOFRANO e BROWN, 2010). Atualmente, existem inúmeras técnicas de tratamento para diversos tipos de efluentes e com diferentes propósitos.

Mesmo com todos os avanços tecnológicos obtidos nos últimos anos, ainda há grande dificuldade para prover a infraestrutura necessária para coletar e tratar o efluente brasileiro. Segundo dados do SNIS (2019), 53,2% da população brasileira têm acesso a coleta de esgotos e o tratamento é aplicado a 46,3% do esgoto gerado.

As companhias de água e esgoto, geralmente, não atendem as propriedades rurais brasileiras. Via de regra, o efluente doméstico produzido na zona rural é encaminhado para fossas negras (BERTONCINI, 2008). Segundo Silva, Dourado, Krusche e Gomes (2009), muitas das substâncias orgânicas e inorgânicas dispostas em fossas negras podem atingir aquíferos, introduzindo substâncias tóxicas e organismos patogênicos. Somado a isso, muitas localidades brasileiras possuem baixa disponibilidade hídrica, fato esse que promove o consumo de águas de procedência duvidosa, aumentando drasticamente o risco de contaminação e desenvolvimento de patologias relacionadas à qualidade d'água.

Métodos mais eficientes de coleta e tratamento devem ser implementados nessas áreas a fim de garantir a preservação da saúde humana e dos recursos naturais. O reúso de águas

servidas é uma dessas alternativas de otimização e contribui significativamente com a manutenção da qualidade dos corpos aquáticos e com a disponibilidade hídrica em regiões mais secas.

De acordo com Hespanhol (2002), A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reúso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados.

Fundamentado na busca por segurança hídrica, energética e alimentar, o seguinte trabalho propõe uma comparação entre métodos de tratamento de esgotos que possibilitam o reúso irrestrito na irrigação agrícola. A prioridade é verificar a viabilidade, amparado pelas discussões realizadas no âmbito do PROSAB, de uma tecnologia de baixo custo, que produza efluente de qualidade compatível às recomendações da OMS.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Propor um sistema de tratamento de esgoto com a finalidade de reúso agrícola em um condomínio rural na cidade de Goiânia – GO.

2.1 Objetivos Específicos

- Realizar uma avaliação comparativa entre métodos de tratamento para reúso agrícola;
- Dimensionar um sistema de tratamento de esgoto;
- Dimensionar uma unidade de desaguamento de lodo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Prover saneamento básico a propriedades rurais é um grande desafio social. De acordo com o IBGE (2014), apenas 8% dos domicílios rurais possui ligação com a rede coletora de esgotos, aproximadamente 79% utiliza fossas sépticas, rudimentares ou outro tipo de tratamento e 13% não aplica nenhuma técnica de tratamento ao esgoto gerado. Em relação ao abastecimento, apenas, 32% têm acesso a rede geral, o restante, 68%, é servido por poços, nascentes e reservatórios abastecidos por carro-pipa.

Há um elevado risco sanitário relacionado ao abastecimento humano a partir de fontes próximas a fossas e pontos de lançamento de esgoto bruto. No estudo realizado por Brum *et al.* (2016), foi constatada a contaminação de poços rasos próximos a fossas rudimentares por *Escherichia coli* e bactérias heterotróficas. CF Barbosa (2005) avaliou a qualidade das águas do aquífero Piranema e atribuiu a contaminação por nitrato à atividade antrópica, através de fossas sépticas e valas negras.

Estudos como de Amaral *et al.* (2003) e Rocha *et al.* (2006), concluíram que parte da população rural estima a qualidade da água apenas considerando características físicas e organolépticas. Esse julgamento limitado impacta diretamente na capacidade de percepção do risco relacionado ao consumo dessa água.

3.1 Características do esgoto

De acordo com a NBR 9648, o esgoto sanitário é constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e, em alguns casos, águas pluviais (ABNT, 1986a).

Esgotos domésticos resultam da utilização de água para fins de higiene humana. É composto, principalmente, por: Água de banho, fezes, urina, detergente, papel, etc. A parcela industrial é referente ao despejo líquido proveniente de atividades industriais. As águas de infiltração provêm do subsolo e adentram o sistema de esgotamento através das eventuais brechas contidas na rede de esgotamento. A contribuição pluvial é resultado da captação da água da chuva pelo sistema de esgotamento sanitário (ABNT, 1986a).

3.1.1 Vazão de esgotos

Expressa o volume de esgoto, em litros (l) ou metros cúbicos (m³), por unidade de tempo, segundo (s), minuto (min), hora (h) ou dia (d). Está entre as características mais

importantes em termos de projeto, sendo condicionante para o dimensionamento das unidades de coleta e tratamento (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Em um projeto, considera-se três fontes distintas de vazão: doméstica, infiltração e industrial.

3.1.1.1 Vazão doméstica

É calculada com base no consumo de água per capita da população de projeto. Vários fatores influenciam esse consumo, dentre eles: clima, porte da comunidade, renda familiar mensal e preço da água (VON SPERLING, 1996).

As vazões domésticas sofrem variações ao longo do dia e os sistemas de coleta e tratamento devem ser projetados de tal modo que suportem essas mudanças sem colapsar.

3.1.1.2 Vazão de infiltração

Representa a quantidade de água que adentra a rede coletora através das juntas, caixas de passagem e poços de visita. Não é influenciada pela quantidade de habitantes, mas pelas dimensões da rede, material da tubulação, tipos de junta utilizado e umidade do solo. Na ausência de dados da localidade, a ABNT recomenda valores entre 0,05 e 1,0 l/s por km (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

3.1.1.3 Vazão industrial

Os esgotos industriais têm composição mais variada. Suas características dependem do processo industrial do qual são provenientes. Mesmo processos similares podem produzir efluentes bem diferentes (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

3.1.2 Características físicas do esgoto doméstico

As características físicas do esgoto podem influenciar a escolha do método de tratamento e podem ser adotadas como parâmetros de controle operacional, como é o caso da turbidez. De acordo com (FUNASA, 2015), as principais características físicas dos esgotos domésticos são: teor de matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez.

3.1.2.1 Matéria Sólida

É, segundo Jordão e Pessôa (2011), a característica física mais importante a ser levada em conta na etapa de dimensionamento e controle de operação das unidades de tratamento

Jordão e Pessôa (2011, p.46) classificam a matéria sólida de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação da matéria sólida

Características	Classificação
Dimensões das partículas	Sólidos em suspensão
	Sólidos coloidais
	Sólidos dissolvidos
Sedimentabilidade	Sólidos sedimentáveis
	Sólidos flutuantes ou voláteis
	Sólidos não sedimentáveis
Secagem, a alta temperatura (550 a 600°C)	Sólidos fixos
	Sólidos voláteis
Em função da secagem em temperatura média (103 a 105° C)	Sólidos totais
	Sólidos em suspensão
	Sólidos dissolvidos totais

Fonte: (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

3.1.2.2 Temperatura

A temperatura dos esgotos é, geralmente, maior que a do ar e que a das águas de abastecimento e é muito importante nas reações químicas que ocorrem nas unidades de tratamento (FUNASA, 2015).

Em sistemas de tratamento biológicos as temperaturas elevadas são almejadas, pois entre 25 e 35°C, propiciam maior velocidade na decomposição biológica do esgoto, já temperaturas abaixo de 15°C inativam as bactérias produtoras de metano (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2003).

3.1.2.3 Odor

Os odores são provocados por gases liberados no processo de decomposição. Esgotos frescos possuem característico odor de mofo, já esgotos velhos, de ovo podre (FUNASA, 2015).

De acordo com Jordão e Pessoa (2011), há outros tipos de odores, como de repolho, peixe, produtos rançosos, entre outros. Esses odores são provocados pela presença de compostos, como: sulfetos orgânicos, amônia, ácidos orgânicos, etc.

3.1.2.4 Cor e turbidez

A cor é causada por matéria em solução na água, enquanto a turbidez pela matéria em suspensão (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

A cor indica o estado atual do esgoto. Tonalidades acinzentada acompanhada de turbidez indicam que o esgoto em questão é fresco, já a cor cinza escura ou preta caracterizam esgoto séptico (FUNASA, 2015).

A turbidez pode ser utilizada como parâmetro de controle operacional, principalmente em unidade de tratamento que utilizam filtração terciária.

3.1.3 Características químicas

3.1.3.1 Matéria orgânica

Há nos esgotos uma grande quantidade de matéria orgânica, cerca de 70% da quantidade total de sólidos. Os principais compostos orgânicos encontrados são: Proteínas, carboidratos, gorduras, óleos, ureia, surfactantes, fenóis e outros (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Determinar a exata composição do esgoto em termos de matéria orgânica é desnecessário e, por isso, mede-se a quantidade total de matéria orgânica. Essa medição pode ser feita de forma direta, na qual é medida a quantidade total de carbono orgânico (COT), ou de forma indireta, estimando-se a demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (FUNASA, 2015).

3.1.3.2 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Representa a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar bioquimicamente a matéria orgânica biodegradável. Teste que quantifica de forma indireta a quantidade de carbono orgânico biodisponível.

A estabilização completa da matéria orgânica dos esgotos domésticos leva cerca de 20 dias para ocorrer e fornece o valor da DBO última (DBO_U). Entretanto, com a finalidade de

otimizar os processos laboratoriais, convencionou-se realizar a medida após 5 dias, sob temperatura de 20°C (DBO_5^{20}) (VON SPERLING, 1996).

3.1.3.3 Demanda química de oxigênio (DQO)

A DQO é uma forma indireta de medição da quantidade de matéria orgânica da amostra, na qual é realizada uma oxidação química da matéria orgânica, através de um forte oxidante (dicromato de potássio) em meio ácido (VON SPERLING, 1996).

Sua determinação é feita em um curto período de tempo, cerca de 2h. Entretanto, o oxidante interage com as substâncias inorgânicas do meio, superestimando a quantidade de oxigênio necessária para o tratamento biológico (FUNASA, 2015).

3.1.3.4 Carbono orgânico total (COT)

Após a remoção das formas inorgânicas de carbono, é feita a medição direta da quantidade de matéria orgânica da amostra. É menos usado do que os métodos citados anteriormente (VON SPERLING, 1996).

3.1.3.5 Nitrogênio

O nitrogênio é um nutriente encontrado no esgoto doméstico e pode apresentar-se em estágios distintos de oxidação, variando a concentração das suas espécies de acordo com a idade do esgoto (JORDÃO e PESSÔA, 2011). No meio aquático, o nitrogênio se apresenta nas seguintes formas: nitrogênio molecular, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato (VON SPERLING, 1996). Elevadas concentrações desse nutriente podem ser prejudiciais aos recursos hídricos e, conseqüentemente, à saúde humana, ocasionando: eutrofização dos corpos aquáticos, redução dos níveis de oxigênio dissolvido, mortandade de peixes e metahemoglobinemia em humanos (VON SPERLING, 1996).

3.1.3.6 Fósforo

O fósforo se apresenta em duas formas, orgânica e inorgânica. O fósforo orgânico é componente de aminoácidos e proteínas. O inorgânico existe sob a forma de ortofosfato e polifosfato (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Não apresenta implicações sanitárias na qualidade da água e é essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis por estabilizar a matéria orgânica (MOTA *et al.*, 2009).

3.1.3.7 Matéria inorgânica

São os sólidos não voláteis ou fixos. A parte mineral não incinerável dos sólidos em suspensão, como a areia. De maneira geral, provêm dos lançamentos indevidos na rede coletora (FUNASA, 2015).

3.1.3.8 pH

Geralmente o pH dos esgotos varia entre 6,5 e 7,5. Esgotos sépticos apresentam pH abaixo de 6,0 (JORDÃO E PESSOA, 2011). É fundamental em algumas etapas de tratamento. Em lagoas de estabilização, por exemplo, elevados valores de pH indicam alta atividade fotossintética e acarretam maior remoção de nutrientes.

3.1.4 Características biológicas do esgoto sanitário

Há nos esgotos sanitários uma parcela biológica composta por vários tipos de microrganismos, dentre eles: bactérias, fungos, vírus, protozoários, helmintos e algas (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 2003). Parte desses organismos é patogênica e pode causar prejuízos à saúde humana. Os principais organismos patogênicos e suas concentrações usuais foram elencados, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Concentrações usuais de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos sanitários.

Microrganismo	Concentração
<i>Escherichia coli</i>	$10^6 - 10^8 (100 \text{ mL})^{-1}$
<i>Salmonella spp.</i>	$1 - 10^4 (100 \text{ mL})^{-1}$
<i>Shigella spp.</i>	$1 - 10^3 (100 \text{ mL})^{-1}$
<i>Vibrio cholerae</i>	$10 - 10^4 (100 \text{ mL})^{-1}$
Cistos de <i>Giardia</i> sp.	$10^2 - 10^4 (\text{L})^{-1}$
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	$10 - 10^3 (\text{L})^{-1}$
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	$1 - 10^2 (\text{L})^{-1}$
Ovos de helmintos	$10 - 10^3 (\text{L})^{-1}$
Vírus	$10^2 - 10^5 (\text{L})^{-1}$

Fonte: (BASTOS e BEVILACQUA, 2006).

3.2 Tratamento de esgotos

O tratamento dos efluentes domésticos é essencial para preservar a qualidade ambiental e garantir boas condições sanitárias à população. Existem três tipos diferentes de mecanismos de tratamento: físico, químico e biológico.

De acordo com Von Sperling (1996), os processos físicos são aqueles que utilizam forças físicas para realizar a separação do material em suspensão. Exemplos de tratamento físico: gradeamento, mistura, floculação, sedimentação, flotação e filtração.

O mecanismo químico é caracterizado pela utilização de reações químicas obtidas através da adição de produtos. A necessidade de aplicação de produtos químicos faz com que os mecanismos químicos sejam pouco utilizados. Sua utilização, em grande parte dos casos, é feita com a finalidade de potencializar as operações unitárias físicas (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

A atividade biológica promove o tratamento do esgoto através da ação de microrganismos. Pode ocorrer por via aeróbia (lodo ativado e filtros biológicos aeróbios) ou anaeróbia (reator UASB e tanque séptico) (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

3.2.1 Tratamento preliminar

Consiste na etapa inicial do tratamento, na qual é realizada a remoção de material grosseiro (sólidos grosseiros e areia) e medição da vazão de esgoto. A remoção dos sólidos grosseiros é feita por meio de mecanismos físicos de separação (peneiramento e sedimentação) (VON SPERLING, 1996).

Há três principais tipos de grades: as grosseiras (geralmente manuais e inclinadas); as grades médias e finas (quando manuais, possuem inclinação entre 45 e 60° em relação a horizontal, quando mecanizadas, podem ser inclinadas ou verticais); grades ultrafinas (sempre mecanizadas e com inclinação entre 70 e 85°) (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

De acordo com a NBR 12209 (2011), as grades devem ser de limpeza mecanizada quando a vazão afluyente for maior ou igual a 100 litros por segundo, ou quando a quantidade de material a ser retido justificar a implantação do equipamento.

A unidade subsequente à grade é a de remoção de areia. A remoção dessas partículas inorgânicas possibilita reduzir ou evitar abrasão nos equipamentos, diminuindo a possibilidade de obstrução de componentes do sistema e permitindo melhor fluxo da fase líquida (JORDÃO

e PESSÔA, 2011). O desarenador deve promover a remoção de, no mínimo, 95% das partículas com diâmetro maior ou igual a 0,2 mm (NBR 12209, 2011).

Após a caixa de areia, é feita a alocação de um vertedor. Essa etapa possui duas importantes funções: controlar a velocidade de escoamento e medir a vazão de esgoto. O medidor Parshall é um tipo muito usado de vertedor. É caracterizado pelo estrangulamento das paredes laterais e aprofundamento da base, seguido de alargamento lateral e aclave na base. Quando há aumento da vazão, o estreitamento das paredes provoca aumento da lâmina d'água e controle da velocidade de escoamento (AZEVEDO NETTO *et al.*, 1998)

3.2.2 Tratamento primário

Unidade que atua através do mecanismo físico da sedimentação, por exemplo: decantador simples; flotador simples; precipitador químico; decanto/digestor conjugado (tanque séptico) (FUNASA, 2015).

O esgoto flui vagarosamente através dos sedimentadores, permitindo que sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes sejam depositados no fundo do decantador primário, formando o lodo primário bruto e reduzindo a DBO do efluente conduzido ao tratamento secundário (VON SPERLING, 1998).

3.2.3 Tratamento secundário

Nessa etapa, o principal mecanismo de tratamento é o bioquímico, obtido através da ação de microrganismos presentes no sistema. O foco é a remoção de matéria orgânica, porém há melhora nos demais parâmetros (FUNASA, 2015). As principais vias de remoção de matéria orgânica são aeróbias e anaeróbias.

A aeróbia atua promovendo a oxidação da matéria orgânica, a anaeróbia, por sua vez, atua através da digestão anaeróbica, na qual ocorre a ação de bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas e pode ser dividida em quatro fases distintas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

O tratamento secundário, dependendo da técnica empregada, pode ou não ser antecedido por unidade de tratamento primário (VON SPERLING, 1998). Métodos como lagoas anaeróbias, facultativas e reatores anaeróbios, em alguns casos, não demandam etapa de tratamento primário.

3.2.4 Tratamento terciário

Método de tratamento aplicado em situações específicas para a remoção de nutrientes, patógenos, metais pesados ou outros compostos. É utilizado, geralmente, quando há intenção de fazer o reúso do esgoto tratado.

Algumas formas de tratamento terciário são: Processos oxidativos avançados, adsorção por carvão ativado e membranas (JORDÃO e PESSÔA, 2011). As lagoas de maturação e de polimento também são exemplos de tratamento terciário, dado que, o dimensionamento dessas unidades é realizado priorizando a remoção de patógenos, e não a remoção de matéria orgânica.

3.3 Reúso de efluentes domésticos na irrigação

A irrigação é uma atividade muito difundida no Brasil e representa cerca de 66,1% do consumo total de água do país (ANA, 2019). Muitas vezes, a prática é realizada em localidades nas quais a disponibilidade hídrica é igualada ou até superada pela demanda, criando zonas de estresse hídrico. Segundo Hespanhol (2002), uma forma efetiva de proporcionar maior disponibilidade hídrica e maior eficiência no uso da água é direcionando águas de qualidade inferior a usos menos restritivos.

Além da elevada demanda hídrica, a prática agrícola necessita de grande quantidade de nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio. Em muitos casos o solo não possui ou perde a capacidade de suprir a demanda de macro e micronutrientes, tornando necessária a administração de fertilizantes, o que acarreta uma atividade mais onerosa.

Em decorrência da grande concentração de nutrientes, o efluente doméstico, devidamente tratado, pode ser um substituto para os fertilizantes comerciais, agindo como potencializador do processo de desenvolvimento dos cultivos.

Henrique *et al.* (2005) compararam o desempenho de cultivos de pimentão irrigados com três diferentes tipos de água: água de poço artesiano; efluente de reator UASB; efluente de lagoa de polimento. Os cultivos irrigados com água de poço foram separados em três grupos: apenas irrigação; irrigação e adubação com fertilizante mineral; irrigação e adubação com fertilizante orgânico. Observou-se uma produtividade satisfatória nos cultivos adubados e nos irrigados com efluente de UASB (grande disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica). Os cultivos irrigados com efluente de lagoa de polimento apresentaram baixa produtividade, fato atribuído ao elevado pH (>9).

Da Silva *et al.* (2019) compararam o desenvolvimento de duas espécies de feijões (BRS Estilo e BRS Horizonte), cada espécie submetida a dois cenários distintos: solo não adubado, irrigado com efluente de wetland; solo adubado, irrigado com água de poço. A utilização da água de reúso se mostrou adequada, uma vez que o BRS Estilo apresentou maior desenvolvimento quando irrigado com efluente tratado, já o BRS Horizonte, o contrário. De modo geral, os resultados obtidos em relação ao crescimento das culturas foram semelhantes, no entanto, a qualidade nutricional dos grãos irrigados com efluente de wetland foi superior.

Araújo (2009) avaliou a viabilidade do reúso de efluentes para fins paisagísticos. Para isso, comparou seis diferentes cenários: irrigação com esgoto primário; irrigação com esgoto secundário; irrigação com esgoto terciário; irrigação com água do lago Paranoá; irrigação com água de abastecimento, solo adubado com NPK e calagem; irrigação com água de abastecimento. Foi observado aumento de produtividade das plantas irrigadas com água de reúso. Houve também uma melhora das características físicas, químicas e biológicas dos solos irrigados com efluentes. A irrigação com água de abastecimento, combinada com adubação e calagem promoveu maior contaminação por nitrato das águas subterrâneas.

Do ponto de vista do tratamento de esgotos, uma das etapas mais onerosas é a remoção de nutrientes. Para que o efluente seja despejado em corpo hídrico, é necessário garantir a remoção de nutrientes a níveis que não promovam eutrofização do corpo receptor. Partindo do pressuposto antigo “bom para o solo, ruim para a água”, é vantajoso aproveitar esse potencial nutritivo dos esgotos na agricultura e, como consequência, diminuir a degradação dos corpos hídricos, já que o solo funciona como uma espécie de filtro, tendo um poder depurador maior que o da água, evitando custos advindos de tratamentos com alta remoção de carga orgânica e nutrientes.

3.3.1 Critérios de qualidade para reúso agrícola

O reúso agrícola pode trazer muitos benefícios ambientais e sociais, mas há também um elevado risco sanitário envolvido na prática. O atendimento a padrões rígidos de tratamento de efluentes é fundamental para preservar a saúde de agentes envolvidos nas diferentes etapas do processo de reúso (BASTOS e BEVILACQUA, 2006).

Há diversos aspectos que contribuem para o aumento do risco sanitário envolvido na prática do reúso agrícola de efluentes: qualidade do efluente; método de irrigação; tipo de cultura irrigada; forma de consumo do alimento (cru ou cozido); exposição dos trabalhadores.

WHO (1989) estabeleceu os padrões de qualidade para reúso agrícola na irrigação de culturas a serem consumidas cruas, como (≤ 1000 CF/100 mL e ovos de helmintos ≤ 1 ovo/L). Em 2006, entretanto, foram adotadas novas diretrizes, fundamentadas em estudos de análise de risco (Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico e risco de carga de doença tolerável). O maior risco tolerável de infecção foi considerado como a exposição à rotavírus (10^{-3} ppa). Definiu-se que é necessário garantir uma redução entre 6 e 7 unidades logarítmicas deste patógeno para a irrigação de culturas consumidas cruas e que se desenvolvem rentes ao solo (BASTOS e BEVILACQUA, 2006). A OMS forneceu recomendações para diferentes cenários de exposição, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Padrões de reúso agrícola OMS

Cenário de exposição	Redução necessária de patógenos (Log ₁₀)	Concentração de <i>E.coli</i> (<i>E.coli</i> /100mL)	Ovos de Helmintos (ovos/L)
<i>Irrigação irrestrita</i>			
Cebola	7	$\leq 10^3$	$\leq 1^{(a)}$
Alface	6	$\leq 10^4$	$\leq 1^{(a)}$
<i>Irrigação restrita</i>			
Alto nível tecnológico / mecanizado	3	$\leq 10^5$	$\leq 1^{(a)}$
Baixo nível tecnológico / manual	4	$\leq 10^4$	$\leq 1^{(a)}$
<i>Irrigação por gotejamento</i>			
Cultivos que se desenvolvem longe do solo	2	$\leq 10^6$	-
Cultivos que se desenvolvem rentes ao solo	4	$\leq 10^3$	≤ 1

Fonte: (WHO, 2006).

(a) Quando houver exposição de crianças até 15 anos, recomenda-se $\leq 0,1$ ovos de Helmintos por litro.

A abordagem atual considera diferentes cenários de exposição e padrões de exigência de remoção de patógenos que variam conforme a exposição do consumidor e do trabalhador.

Algumas medidas de proteção à saúde geram maior segurança sanitária, reduzindo a concentração de patógenos, conforme pode ser constatado através do Quadro 2.

Quadro 2 – Redução de patógenos alcançável por várias medidas de proteção à saúde.

Medida de controle	Redução de patógeno (unidades de Log)	Observações
Tratamento de efluente	1- 6	A capacidade de remoção do tratamento dependerá do método aplicado e da finalidade requerida.
Irrigação por gotejamento (culturas que se desenvolvem rentes ao solo)	2	Culturas que possuem contato parcial com o solo
Irrigação por gotejamento (cultivos que se desenvolvem longe do solo)	4	Cultivos que não possuem contato com o solo
Irrigação por aspersão (controle do aspersor)	1	Utilizar microaspersores
Irrigação por aspersão (zona de resguardo)	1	Manter as pessoas a uma distância entre 50-100m do local de aspersão
Decaimento do patógeno	0,5 - 2 por dia	O decaimento ocorre na superfície do produto, entre a última irrigação e o consumo e depende de fatores climáticos, do tempo, tipo de cultivo, etc.
Lavagem com água	1	Lavagem de vegetais, frutas e folhas com água limpa
Desinfecção do produto	2	Lavar os produtos com um desinfetante fraco
Descascar o produto	2	Remover cascas de frutas e raízes
Cozinhar o produto	6-7	Imersão em água ebuliente

Fonte: (WHO, 2006).

Apesar das modificações na metodologia, os padrões recomendados para o cenário de maior exposição não sofreram variação, sendo recomendados tanto por WHO (1989), quanto

por WHO (2006) uma concentração de coliformes termotolerantes ≤ 1000 unidades/100mL e ≤ 1 unidade/ L de ovos de helmintos.

3.3.2 Aspectos legais do reúso agrícola no Brasil

O Brasil ainda se encontra em um estado de atraso em relação à regulamentação do reúso. Há legislação que define padrões para uso de água e despejo de efluentes, como é o caso da CONAMA 430/2011. No entanto, não há, até o presente momento, legislação no âmbito federal que estabeleça padrões de qualidade de água para reúso, há apenas documentos normativos (NBR 16.783 / 2019) e norteadores (PROSAB e INTERÁGUAS / 2018) que estabelecem modalidades e diretrizes.

O estado do Ceará possui legislação que define padrões para reúso agrícola e demais modalidades (CEARÁ, 2017). O estado de São Paulo e o município de Campinas, por sua vez, definem padrões para várias modalidades de reúsos urbanos, porém, não abrangem o agrícola (CAMPINAS, 2014; SÃO PAULO, 2020).

É de fundamental importância que a legislação local seja compatível com as características econômicas e sociais da população. Uma legislação muito restritiva pode inviabilizar a prática, visto que o custo do efluente pode se tornar muito elevado. Foi realizado um comparativo entre as exigências de documentos relacionados a reúso, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Comparativo entre valores recomendados para reúso agrícola irrestrito

Documento	Ovos			DBO	Sólidos	Cloro Residual
	Coliformes	de Helm.	Turbidez			
	<i>NMP/100mL</i>	<i>un. L⁻¹</i>	<i>NTU</i>	<i>mg. L⁻¹</i>	<i>mg. L⁻¹</i>	<i>mg. L⁻¹</i>
OMS	10 ³	1	-	-	-	-
PROSAB	10 ³	1	-	-	-	-
INTERÁGUAS	10	1	5	15	-	1,0
Ceará	ND	ND	-	-	-	-

Fonte: Adaptado (WHO, 1989; BASTOS & BEVILACQUA, 2006; KREUTZBERGER, 2017; CEARÁ, 2017).

(1): O padrão de qualidade de efluentes expresso apenas em coliformes termotolerantes e ovos de helmintos aplica-se a sistemas de tratamento por lagoas, pois nesses sistemas a remoção de CT indica remoção de outros patógenos, e a de ovos de helmintos indicada a remoção de protozoários.

(2): A turbidez é utilizada como indicador em casos nos quais utiliza-se filtração terciária.

(3): Quando há etapa de desinfecção, utiliza-se residual do desinfetante e tempo de contato.

3.3.3 Métodos de tratamento para reúso agrícola irrestrito

Há, atualmente, inúmeros métodos de tratamento de esgotos para diferentes finalidades de aplicação do efluente produzido.

Quando se trata da produção de efluente para irrigação, é fundamental preservar nutrientes e utilizar métodos de tratamento que tornem a água de reúso competitiva do ponto de vista econômico, pois, caso contrário, o investimento em sistemas de reúso dificilmente ocorrerá.

O atendimento aos padrões impostos pela legislação local é fator fundamental a ser considerado durante o processo de seleção do método a ser empregado. Os diferentes documentos normativos, norteadores e regulamentadores têm como ponto em comum a exigência de padrões sanitários rigorosos, ou seja, é necessário que o tratamento utilizado promova satisfatória remoção de patógenos.

No caso do reúso agrícola irrestrito, as exigências sanitárias são mais rigorosas, visto que o risco de contaminação envolvido na prática é muito elevado. O controle rígido de patógenos, como coliformes termotolerantes e protozoários é fundamental para garantir que trabalhadores e consumidores tenham sua integridade física preservada quando em contato com o efluente ou cultivos irrigados.

A iniciativa PROSAB elencou métodos de tratamentos simplificados, de menores custos e de maior sustentabilidade, capazes de produzir efluentes que atendem aos padrões de reúso agrícola irrestrito, dentre os quais: Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação; UASB + lagoa de polimento; Tanque séptico + filtro anaeróbio + filtração terciária + desinfecção); (UASB + filtro anaeróbio + filtração terciária + desinfecção; UASB + lodos ativados + filtração terciária + desinfecção; UASB + biofiltro aerado submerso + filtração terciária + desinfecção; UASB + filtro biológico percolador + filtração terciária + desinfecção (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

Há, naturalmente, outros métodos que atendem aos padrões, como aplicação de membranas e deionização capacitiva, entretanto, são métodos de custo elevado e significativa complexidade operacional, portanto, não foram submetidos às etapas de avaliação propostas no trabalho.

A seguir, uma exposição sintética a respeito dos métodos indicados pela PROSAB. Dados específicos em relação ao desempenho dos métodos são abordados na Seção 4.2 – Escolha do método de tratamento.

3.3.1 Lagoas anaeróbias

As lagoas anaeróbias são reservatórios projetados para receber cargas orgânicas muito elevadas (carga superior a 100 g DBO/m³.dia). São empregadas para remoção de DBO e possuem um tempo de detenção hidráulica baixo quando comparadas às demais lagoas. O mecanismo de digestão anaeróbia, que ocorre na camada de lodo formada a partir da sedimentação de sólidos, promove a redução em torno de 60% da DBO, em temperaturas de 20°C (MARA, 2004).

Não há requisição de equipamento especial para operação, entretanto, pode propagar um mau-cheiro, sendo necessário o controle de odores (VON SPERLING, 2009).

3.3.2 Lagoas facultativas

As lagoas facultativas são bacias projetadas para retenção de esgotos por vários dias. Podem ser dos tipos: primária (recebe esgoto bruto) ou secundária (recebe efluente de outra lagoa, geralmente anaeróbia). São projetadas para receber uma carga de DBO superficial relativamente baixa (100 a 400 kgDBO5/ha.dia) (MARA, 2004). Os mecanismos de digestão anaeróbia, oxidação aeróbia e redução fotossintética ocorrem simultaneamente em diferentes zonas, as quais são divididas de acordo com a profundidade (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Os principais fatores ambientais que influenciam o desempenho das lagoas facultativas são radiação solar, temperatura e vento. É um sistema de tratamento de grande simplicidade operacional e eficiência comparável à dos demais tratamentos secundários (VON SPERLING, 2009).

3.3.3 Lagoas de maturação

As lagoas de maturação são empregadas no tratamento terciário do efluente. Têm como principal função a remoção de patógenos, como: bactérias, vírus, ovos de helmintos e cistos de protozoários. São lagoas rasas e ocupam grande área. Possuem elevado tempo de detenção hidráulica (VON SPERLING, 2009).

São aeróbicas ao longo de toda sua profundidade (< 1m) e possuem pH elevado devido à atividade fotossintética. Possuem grande diversidade de algas, entretanto, a biomassa algal é pequena e reduz ao longo da série de lagoas (MARA, 2004).

Um sistema de lagoas é capaz de produzir efluente de baixo custo, com potencial para reúso agrícola irrestrito. Não há consumo de energia elétrica e os custos operacionais são reduzidos, entretanto, devido à grande demanda por área (3 a 5 m² por habitante), pode impor altos custos de implantação, principalmente em áreas valorizadas e/ou de topografia desfavorável (VON SPERLING, 2005). Quando utilizadas no pós tratamento de efluente de reator UASB, são chamadas lagoas de polimento.

3.3.4 Reatores UASB

O UASB é um modelo de reator anaeróbio de alta taxa desenvolvido na Holanda na década de 1970 por Lettinga. O reator é projetado para operar com um elevado tempo de retenção celular, o que gera um perfil de sólidos que varia entre uma massa biológica densa que se deposita no fundo do reator (leito de lodo) e o lodo mais leve que flutua em uma camada mais elevada (manta de lodo). A alimentação ocorre pelo fundo, gerando um fluxo ascensional no interior do reator que, aliado à movimentação de gases, provoca mistura entre o lodo anaeróbio e o esgoto aplicado (CHERNICHARO, 2007).

Os reatores possuem separadores de fase na parte superior, permitindo a coleta dos gases, sedimentação do lodo formado nas camadas superiores e saída de esgoto tratado.

Os reatores UASB possuem baixo custo operacional, pois não necessitam de sistemas mecanizados; produzem biogás que pode ser tratado e utilizado como combustível; são mais eficientes em regiões com temperaturas mais elevadas e operam com baixo tempo de detenção hidráulica. Porém não promovem uma remoção suficientemente satisfatória de matéria orgânica e nutrientes, sendo necessário o pós-tratamento do efluente gerado (JORDÃO e PESSÔA, 2011). O pré-tratamento no reator UASB promove uma redução de 65 a 80% da concentração do material orgânico (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Os reatores UASB possuem operação relativamente complexa, demandando treinamento de operador; libera odor desagradável e pode apresentar problemas operacionais em decorrência do acúmulo de espuma, ou da baixa concentração de bactérias anaeróbias. Esgotos com baixa concentração de DBO podem ser um fator limitante no processo de tratamento.

A etapa de controle do mau cheiro emanado pelos reatores UASB não é muito complexa, dado o fato de que a coleta de gases promovida pelos separadores trifásicos possibilita o encaminhamento dos compostos odoríficos à etapa de tratamento ou queima.

3.3.5 Lagoas de polimento

Lagoa de polimento é o termo utilizado para lagoas aplicadas no pós-tratamento do efluente de reator UASB. Há dois tipos de lagoas de polimento, as facultativas e as de maturação. Inicialmente, as lagoas de polimento eram do tipo facultativa, porém Cavalcanti *et al.* (2001) afirma que a redução das concentrações de matéria orgânica obtida nos reatores UASB, possibilita o pós-tratamento em lagoas de maturação chicanadas ou dispostas em série.

A concentração de coliformes termotolerantes é o parâmetro mais importante de remoção de patógenos em lagoas de polimento, pois apresentam a maior resistência entre os microrganismos patogênicos, portanto a sua remoção é um indicativo da remoção de outros patógenos (CAVALCANTI *et al.*, 2003). A remoção de ovos de helmintos indica a remoção de cistos de protozoários (BASTOS e BEVILACQUA, 2006).

As lagoas de polimento não emanam odores desagradáveis e têm baixa taxa de acumulação de lodo, porém não proporcionam grande redução das concentrações de matéria orgânica e nutrientes. Apresentam melhor rendimento operacional para menores profundidades e temperaturas acima de 20°C (CAVALCANTI *et al.*, 2003).

3.3.6 Tanque-séptico

O tanque séptico é um dispositivo primário de tratamento com aplicação voltada a unidades residenciais ou pequenas comunidades. O tratamento ocorre através da sedimentação (mecanismo físico) da matéria orgânica e processos anaeróbios (biológicos) que ocorrem na zona de acúmulo de sedimento. Assim como os demais processos anaeróbios, apresenta melhor rendimento quando exposto a temperaturas mais elevadas ($T > 20^{\circ} \text{C}$). Opera com tempo de detenção hidráulica que varia entre 12 a 24h. É uma unidade com operação bastante simples, demandando limpezas com periodicidade estabelecida no projeto. Possuem eficiência de cerca de 30% na remoção de DBO e 50% na remoção de sólidos suspensos. O dimensionamento dessas unidades é definido pela NBR 7229/1993 (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

3.3.7 Filtro anaeróbio

O filtro anaeróbio consiste em um tanque preenchido com algum tipo de material (leve, inerte e de baixo custo) que forme um meio suporte. O leito possibilita a agregação de microrganismos na superfície do material. Quando em contato com as substâncias orgânicas

solúveis provenientes do esgoto, os microrganismos realizam digestão anaeróbia. É um método com aplicabilidade tanto para esgotos concentrados como diluídos. Porém, esgotos concentrados podem ocasionar obstrução do leito (CHERNICHARO, 2007). Quando utilizados no pós-tratamento de efluente de tanque séptico ou de reatores UASB, podem operar com tempo de detenção hidráulica entre 4 a 10h e produzir efluente com $DBO \leq 60$ mg/L e $SST \leq 40$ mg/L. Mantém boa eficiência à temperaturas superiores a 20° C (GONÇALVES *et al.*, 2001).

3.3.8 Lodos ativados

Processo biológico de tratamento que consiste na associação entre um tanque de aeração seguido de um decantador secundário. Ocorre a mistura, agitação e aeração do lodo ativado (flocos resultante do crescimento de bactérias zoogleias ou outros organismos, na presença de oxigênio dissolvido e matéria orgânica) com o esgoto afluente (JORDÃO e PESSÔA, 2011). A mistura é encaminhada ao decantador secundário para que o lodo ativado seja separado do esgoto por meio da sedimentação, possibilitando a obtenção de efluente clarificado. A maior parte do lodo obtido no decantador secundário é recirculado para o tanque de aeração, causando aumento da biomassa disponível e otimizando o processo de tratamento no tanque. Já o lodo em excesso é encaminhado para uma etapa de tratamento e disposição final. (VON SPERLING, 2002).

Há diversas variações do processo de lodos ativados, as quais englobam as seguintes divisões: em relação à idade do lodo (Lodos ativados convencional; Aeração prolongada); divisão quanto ao fluxo (Fluxo contínuo; Batelada); quanto ao afluente à etapa biológica de lodos ativados (Esgoto bruto; Efluente de decantador primário; Efluente de reator anaeróbio; Efluente de outro processo de tratamento) (VON SPERLING, 2002).

O sistema possui vantagens, como: boa eficiência no tratamento, reduzida área de ocupação. Mas possui desvantagens, como: elevado custo de implantação e manutenção, necessidade de maior controle laboratorial e operação mais delicada (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

3.3.9 Biofiltro aerado submerso

O processo é caracterizado pela percolação do esgoto através de um tanque preenchido de meio suporte granular e poroso. Há injeção de ar através de difusores posicionados na parte

inferior do reator. Podem operar com fluxo ascendente ou descendente (GONÇALVES *et al.*, 2001).

Conforme há passagem do esgoto, ocorre acúmulo e formação de uma massa biológica na superfície do meio suporte. A ação da biomassa promove a remoção de nutrientes e matéria orgânica do esgoto percolado. O meio filtrante não é empregado para fazer o peneiramento no efluente, mas para acumular microrganismos que desempenham o papel de adsorver a matéria orgânica dos esgotos percolados (VON SPERLING, 1996).

O sistema é similar ao de lodos ativados, porém na biofiltração a massa biológica se mantém fixa. Além disso, o sistema apresenta menor consumo de energia, mas ocupa maior área (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

3.3.10 Filtro biológico percolador

Tanque preenchido com material permeável (como pedras, plásticos e pedaços de madeira) de modo que ocorra a passagem de ar através dos espaçamentos. O esgoto é aplicado em forma de gotas ou jatos e percola em direção ao fundo, onde é captado. Durante o fluxo de esgoto, há o acúmulo de bactérias e matéria orgânica no meio suporte, formando um biofilme. As bactérias anaeróbias utilizam matéria orgânica como substrato. O aumento da massa bacteriana, causa redução dos espaços intersticiais, provocando aumento da velocidade de escoamento e desprendimento de lodo. Pode demandar decantador secundário para remoção do lodo (GONÇALVES *et al.*, 2001).

3.4 Escuma

A escuma é um composto de óleos, graxas e outras substâncias de baixa densidade, como cabelo, papel e cascas de frutas. O acúmulo desse material pode gerar maus odores, além de prejudicar o desempenho de componentes do sistema. A escuma pode ser formada no: desarenador; decantador primário; decantador secundário; lagoa de estabilização; reator anaeróbio (ANDREOLI *et al.*, 2001).

O acúmulo de escuma em reatores UASB pode ocorrer tanto no separador trifásico (STF), quanto nos decantadores. O STF é o ponto mais problemático devido à maior dificuldade para remoção, além disso um eventual bloqueio pode desencadear o fluxo de biogás e lodo até a zona de sedimentação, comprometendo a qualidade do efluente (LETTINGA e HULSHOFF POL, 1991).

O acúmulo de espuma no decantador do reator UASB é situacional, ocorrendo apenas quando há dispositivos de retenção de espuma ou calha afogada. Caso não haja, a espuma escoará através da calha vertedora com restante do efluente do reator. O acúmulo de espuma nos decantadores ocorre em baixas taxas, portanto, a liberação dessa espuma com o efluente do reator não causa degradação significativa do efluente do reator (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

É necessária a adoção de uma série de medidas a fim de evitar a formação de espuma no reator UASB, dentre elas estão: utilização de grade fina no tratamento preliminar; alimentação homogênea do reator, a fim de evitar zonas mortas; remoção frequente do lodo inerte; velocidade ascensional adequada a fim de não gerar flotação de lodo, com consequente presença do mesmo na espuma; canaleta no interior do STF para descarte de espuma (SOUZA, 2006).

A espuma deve passar por uma etapa de desidratação antes da disposição final em aterro sanitário. A desidratação pode ser realizada em conjunto com o lodo removido do reator UASB, em leitos de secagem (DÍAZ FLÓREZ, 2016).

3.5 Lodo de esgoto

O lodo, segundo (ABNT, 2011), é a suspensão aquosa de substâncias minerais e orgânicas separadas no processo de tratamento. É formado pelas partículas sólidas geradas durante o tratamento do esgoto. Pode ser primário (material sedimentável do esgoto bruto) e secundário (gerado no tratamento biológico do efluente). O lodo biológico pode ser aeróbio ou anaeróbio (ANDREOLI *et al.*, 2001).

Lodo biológico aeróbio é formado a partir do metabolismo bacteriano, nesse processo, há utilização da matéria orgânica biodegradável do esgoto para anabolismo celular. Quando há abundância de substrato no meio, o lodo secundário aeróbio se mantém não-estabilizado, ou seja, não digerido, demandando uma etapa posterior de digestão. Já em situações nas quais há pouca ou nenhuma disponibilidade de substrato, as bactérias entram em um estado catabólico, no qual predomina o mecanismo de respiração endógena, reduzindo as concentrações de matéria orgânica e produzindo um lodo estabilizado. Este lodo não demanda etapa posterior de tratamento (ANDREOLI *et al.*, 2001).

O lodo biológico anaeróbio é resultado do metabolismo das bactérias anaeróbias, que, assim como as aeróbias, produzem biomassa a partir da matéria orgânica do meio. É o tipo de lodo encontrado em reatores anaeróbios e lagoas de estabilização. Como o tempo de retenção

celular é elevado, ocorre a mineralização dos compostos, sendo requerido apenas desidratação antes da disposição final (ANDREOLI *et al.*, 2001).

Antes da disposição final do lodo estabilizado é necessária uma etapa de desidratação, que pode ser realizada de forma mecanizada ou natural, dependendo do tamanho da ETE e da área disponível. A desidratação promove a diminuição do volume de lodo, reduzindo custos de transporte e área ocupada no aterro sanitário. Além de aumentar o poder calorífico do lodo em uma eventual etapa de incineração (ANDREOLI e PINTO, 2001).

A disposição final do lodo pode ser feita em aterros sanitários, incineradores, uso agrícola e industrial (JORDÃO e PESSÔA, 2011). Caso haja interesse em aplicações agrícolas ou industriais, o lodo deve passar por uma etapa de desinfecção, a fim de eliminar patógenos.

3.6 Biogás e controle de odor

A emanção de maus odores é um processo natural em estações de tratamento de esgoto, mas deve ser mitigada a fim de não causar incômodo à população vizinha, nem gerar condições de insalubridade aos operadores do sistema. Algumas unidades emitem odores em intensidades mais elevadas, como pode ser observado no Quadro 3.

Quadro 3 - Fontes e causas de odor

Local	Fonte e causa	Intensidade
Grades	Material gradeado putrescível	Alta
Caixas de areia	Matéria orgânica misturada à areia	Alta
Tanques de equalização	Condições sépticas devido à acumulação de espuma	Alta
Reator UASB	Liberação de gás sulfídrico; turbulência nos locais de transferência de esgoto e lodo; espuma acumulada.	Moderada a alta
Leito de secagem	Lodo com excesso de matéria orgânica putrescível	Moderada a alta

Fonte: Adaptado (JORDÃO e PESSÔA, 2011)

O controle de odores no tratamento preliminar pode ser realizado através da construção das unidades no interior de uma edificação dotada de sistema de coleta e tratamento de gás (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Caso as medições no interior da edificação excedam os valores permitidos pela legislação NR-15 (BRASIL, 1978), deve ser empregado o uso de Equipamentos de Proteção Individual, em conformidade com a Lei nº6.514 (BRASIL, 1977). Os limites de tolerância de alguns agentes químicos podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Limites de tolerância

Agentes químicos	ppm	mg/m³	Fator de desvio	Grau de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização
Acetaldeído	78	140	1,25	Máximo
Ácido acético	8	20	1,5	Médio
Amônia	20	14	1,5	Médio
Dimetilamina	8	14	1,5	Médio
Dióxido de carbono	3900	7020	1,1	Mínimo
Formaldeído	1,6	2,3	2	Máximo
Gás sulfídrico	8	12	1,5	Máximo
Metano	Asfixiante simples (ambientes com presença de metano devem possuir concentração mínima de (O ₂) igual a 18% em volume)			-

Fonte: Adaptado (BRASIL, 1978).

O controle de odor no reator UASB pode ser realizado através de dispositivo para remoção da espuma acumulada no separador trifásico, adotando câmaras de tratamento hermeticamente fechadas e incorporando câmaras de dessorção ao reator (BRANDT *et al.*, 2018). Os gases devem ser coletados no reator por meio de tubulações de PVC e encaminhados para o tratamento (ABNT, 2011).

A utilização de queimadores é uma alternativa eficiente e de baixo custo para o tratamento dos gases. Os queimadores do tipo aberto são o tipo mais barato e a sua utilização é recomendada para tratamento de quantidade pequenas de biogás (SILVEIRA *et al.*, 2015).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

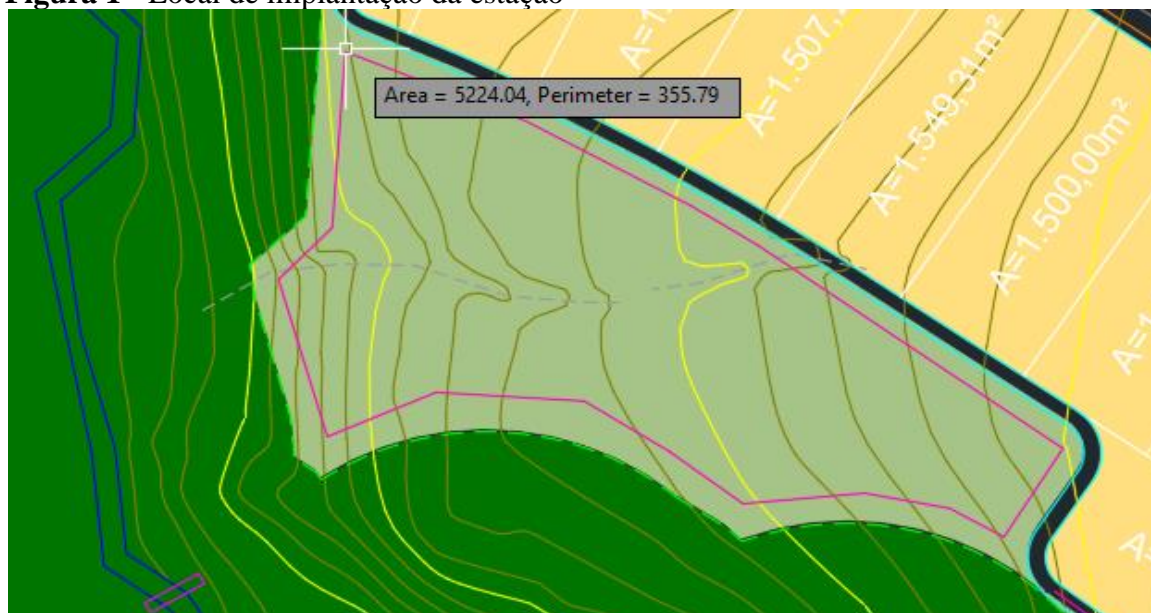
4.1 Área de Estudo

O município de Goiânia, capital do Estado de Goiás, está localizado no cerrado, na região Centro-Oeste do Brasil. De acordo com o IBGE (2010), a população da cidade era de 1.302.001 hab e a projeção para o ano de 2019 é de 1.516.133 hab. Em 2010, 76,1% das habitações da cidade dispunham de esgotamento sanitário adequado.

A área da unidade territorial corresponde, de acordo com o IBGE (2018), a 728.841 km². Segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período entre 1981 a 2010, a cidade registrou temperatura média (24,1°C) anual e a temperatura média no mês mais frio é de (21,8°C). A precipitação média anual é de 1633,5 mm.

Dimensionou-se o sistema de tratamento visando a verificação da viabilidade da implantação em um condomínio, em fase de planejamento, na zona rural da cidade, nas coordenadas (16° 49' 10" Sul e 49° 06' 16" Oeste). A localidade não dispõe de rede de abastecimento de água, nem coleta de esgoto. A área de implantação possui aproximadamente 5224 m², conforme Figura 1.

Figura 1 - Local de implantação da estação



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020

4.2 Escolha do método de tratamento

A seleção de tecnologias de tratamento foi realizada a partir de uma análise dividida em três etapas comparativas.

4.2.1 Etapa 1: Comparativo das características típicas.

Na primeira etapa, a análise foi restrita aos dados obtidos nos quadros comparativos disponibilizados por Chernicharo *et al.* (2006, p. 77 e 87). Os métodos comparados foram os indicados como adequados para atender aos padrões de reúso agrícola irrestrito.

As características típicas dos principais sistemas de tratamento para obtenção de efluente adequado ao reúso agrícola irrestrito foram elencadas, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Comparativo entre métodos de tratamento para reúso agrícola

Sistema		LAn+LF+ LM	UASB+ LP	TS+FA	UASB+ FA	UASB+LA	UASB+ BAS	UASB+ FBP
Custos	Operação e manutenção (R\$/hab.ano)	2,5 – 5,0	4,5 – 7,0	6,0 – 10,0	3,5 – 5,5	7,0 – 12,0	7,0 – 12,0	5,0 – 7,5
	Implantação (R\$/hab)	50 - 100	40 - 70	80 - 130	45 - 70	70 - 110	65 - 100	60 - 90
Volume de lodo	Lodo desid. a ser disposto (L/hab.ano)	20 - 60	10 - 35	25 - 50	10 - 50	15 - 60	15 - 55	15 - 55
	Lodo líquido a ser tratado (L/hab.ano)	55 - 160	150 - 250	180 - 1000	150 - 300	180 - 400	180 - 400	180 - 400
Potência para aeração	Potência consumida (kWh/hab.ano)	0	0	0	0	14 - 20	14 - 20	0
	Potência instalada (W/hab)	0	0	0	0	1,8 – 3,5	1,8 – 3,5	0
Demanda de área (m ² /hab)		3,0 - 5,0	1,5 – 2,5	0,2 – 0,35	0,05 – 0,15	0,08 – 0,2	0,05 – 0,15	0,1 – 0,2

Fonte: Adaptado (CHERNICHARO, 2006)

Inicialmente, comparou-se os métodos pelos critérios adotados por Chernicharo *et al.* (2006) para construção da tabela, sinalizando com um quadro verde os métodos que apresentam maior vantagem no aspecto avaliado. O valor adotado para a comparação é o valor intermediário da estimativa. Quando obtida equivalência de dados, optou-se por marcar todos.

Os métodos marcados com a cor cinza sofreram acréscimo nos custos de implantação, operação e manutenção, conforme as recomendações de Chernicharo *et al.* (2006), representando o aumento de custos gerado pela implantação de unidades de desinfecção (Des) e filtração terciária (FT). A adição dos custos de operação e manutenção foi de (R\$ 0,50/ hab.ano) no valor mínimo e (R\$ 1,50/ hab.ano) no valor máximo. No custo de implantação, foi acrescido (R\$5,00/ hab) ao valor mínimo e (R\$10,00/ hab) ao valor máximo.

A avaliação tem caráter excludente, ou seja, apenas os métodos aprovados na etapa serão submetidos à análise perante o critério posterior. No caso da etapa 1, apenas os sistemas com maior pontuação (número de quadros verdes marcados) foram submetidos à próxima etapa de avaliação.

4.2.2 Etapa 2: Método com baixa liberação de odor (ou de fácil controle).

É de fundamental importância que projetos de tratamento localizados próximos a residências não emitam odores desagradáveis, pois além de prejudicial à qualidade de vida da população, desvaloriza os imóveis da área afetada.

O critério não consta nas tabelas de Chernicharo *et al.* (2006), portanto, a análise foi realizada a partir da bibliografia disponível.

4.2.3 Etapa 3: Avaliar a geração de subprodutos na água de reúso.

Elevadas concentrações de subprodutos, como trihalometanos e ácidos haloacéticos no efluente podem gerar prejuízos à saúde dos trabalhadores da horta e da população dos arredores.

Foi feita a avaliação desses aspectos com base na literatura disponível.

4.2.4 Etapa 4: Dimensionamento das unidades e verificação dos dados.

Apesar da estimativa fornecida pelo Quadro 3, é necessário realizar o dimensionamento do método selecionado e verificar o atendimento aos requisitos de área do projeto e à qualidade do efluente demandado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para seleção de método foram dispostos segundo a ordem das etapas.

ETAPA 1:

O comparativo dos métodos e a marcação dos que obtiveram melhores resultados é indicada no Quadro 5.

Quadro 5 - Comparativo com marcação dos melhores desempenhos

Sistema		LAN+LF +LM	UASB + LP	TS+FA	UASB +FA	UASB +LA	UASB+ BAS	UASB+FBP
Custos	Operação e manutenção (R\$/hab.ano)	2,5 – 5,0	4,5 – 7,0	6,5 – 11,5	4,0 – 7,0	7,5 – 13,5	7,5 – 13,5	5,5 – 9,0
	Implantação (R\$/hab)	50 - 100	40 - 70	85 - 140	50 - 80	75 - 120	70 - 110	65 - 100
Volume de lodo	Lodo desid. a ser disposto (L/hab.ano)	20 - 60	10 - 50	25 - 50	10 - 50	15 - 60	15 - 55	15 – 55
	Lodo líquido a ser tratado (L/hab.ano)	55 - 160	150 - 250	180 - 1000	150 - 300	180 - 400	180 - 400	180 - 400
Potência a para aeração	Potência consumida (kWh/hab.ano)	0	0	0	0	14 - 20	14 - 20	0
	Potência instalada (W/hab)	0	0	0	0	1,8 – 3,5	1,8 – 3,5	0
Demanda de área (m²/hab)		3,0 - 5,0	1,5 – 2,5	0,2 – 0,35	0,05 – 0,15	0,08 – 0,2	0,05 – 0,15	0,1 – 0,2

Fonte: Adaptado (CHERNICHARO, 2006)

Dados envolvendo custo financeiro estão defasados, entretanto foram considerados a título de comparação entre os métodos, não para previsão orçamentária da obra.

Os métodos com melhor desempenho foram (LAN+LF+LM; UASB+LP; UASB+FA+Des+FT), cada um com quatro quadros verdes marcados.

ETAPA 2:

O sistema de lagoas em série (Lan+LF+LM) não atende ao requisito. Lagoas anaeróbias e facultativas são sistemas de difícil controle de emissão de maus odores.

Reator UASB+LP apresentam facilidade para controle de odor. Como discutido na seção 3.6 Biogás e controle de odor, o fato de sistemas UASB serem fechados e com coleta do biogás possibilita o direcionamento dos gases à etapa de controle do odor. As LP, por terem predominância de processos aeróbios, com alta taxa de fotossíntese, não emitem odores.

O sistema (UASB+FA+Des+FT) também se adequa à exigência. Filtros anaeróbios são reatores fechados, e assim como os UASB, dispõem de relativa facilidade na etapa de controle de odores.

ETAPA 3:

Considerando que a água de reúso será armazenada em reservatórios até o horário previsto para irrigação, é de se esperar elevados tempos de contato para o cloro e, mesmo uma dosagem de 5 mg/L, como a sugerida por Jordão e Pessôa (2011), poderá ser suficiente para geração de subprodutos indesejáveis.

Trihalometanos e ácidos haloacéticos são subprodutos gerados na cloração de matéria orgânica, principalmente de origem vegetal. Ambos têm caráter acumulativo no organismo humano e apresentam potencial carcinogênico. Pianowski & Janissek (2003) avaliaram a formação de trihalometanos com aplicação de cloro entre 4 e 30 mg/L, com tempo de contato de 30 minutos e de 6 a 10mg/L com tempo de contato de 21 horas. Os resultados demonstraram que, apesar das elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal (compete pelo cloro com as substâncias húmicas), houve formação de clorofórmio entre 16,80 a 936,4mg/L. As concentrações de clorofórmio atingiram valores muito superiores aos estabelecidos pelo CONAMA 430/2011 (clorofórmio \leq 1,0 mg/L) para lançamento de efluentes em corpos aquáticos. Técnicas de irrigação que utilizam aspersores podem formar aerossóis de contaminantes, expondo a população da área.

Há outras tecnologias de desinfecção que podem substituir a cloração, como ozonização e radiação UV, entretanto, ambas requerem o uso de energia elétrica, além de efluente com baixas concentrações de SST e DBO, segundo a NBR 12209. Além disso, ainda são pouco acessíveis economicamente para os padrões brasileiros.

Portanto, optou-se pela adoção do método UASB seguido de lagoas de polimento.

ETAPA 4:

A partir do dimensionamento realizado, foi constatada a elevada eficiência do sistema na remoção de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos (> 99,99% ambos).

Apesar do elevado TDH do reator UASB no período inicial de operação (12h), não são esperados prejuízos operacionais, nem perda de desempenho na remoção de matéria orgânica.

Os maiores TDH das lagoas de polimento para vazão de início de projeto (16 dias) não comprometerão a qualidade sanitária do efluente, entretanto, é esperada maior remoção de nitrogênio e fósforo, devido à intensificação da fotossíntese e consequente aumento de pH. Pode ocorrer elevação da concentração de sólidos suspensos e demanda de pós-tratamento com filtro de pedra a fim de evitar o entupimento do sistema de irrigação.

Apesar da possibilidade de elevada remoção de nutrientes nos períodos iniciais de operação das lagoas, o impacto no desempenho agrícola não será tão grande, visto que o aporte inicial de nutrientes fornecido na preparação prévia do solo, através de adubação, pode atender à demanda inicial. Além disso, a produção agrícola será menor nos períodos iniciais, devido à menor população consumidora.

A adoção de diques gera grande redução de custo na execução da obra de uma lagoa, entretanto, devido à variação da altura da lâmina d'água, pode afetar o regime hidráulico da lagoa. O objetivo do dimensionamento das lagoas foi aproximar o fluxo ao pistonado. Além disso, dificultaria a alocação da unidade na área desejada.

Apesar da adoção de medidas conservadoras no dimensionamento das lagoas, a abertura das chicanas pode gerar alteração no valor do coeficiente de decaimento bacteriano.

Em lagoas de maturação, a adoção de fluxo pistão não gera sobrecarga hidráulica na primeira lagoa da série, portanto, não há necessidade de utilizar lagoas com dimensionamentos distintos (VON SPERLING, 2009).

6 CONCLUSÃO

Apesar de constatada a viabilidade de implantação do sistema UASB+LP, não é possível concluir que é o melhor método possível a ser empregado, visto a ausência de dados importantes para a etapa de projeto.

Há necessidade de um estudo mais aprofundado em relação aos custos atualizados dos métodos de tratamento comparados, a fim de que não ocorra erro de julgamento no processo de comparação das tecnologias;

A falta de dados relativos ao tamanho da rede de esgoto pode acarretar em erro das estimativas de vazões e das concentrações do esgoto afluente à ETE.

A fim de controlar o odor durante a etapa de tratamento preliminar, recomenda-se a alocação da unidade no interior de uma edificação do tipo galpão, construído segundo as normas de segurança do trabalho.

A quantidade de lodo no reator UASB deve ser monitorada antes que ele atinja o compartimento de decantação. O ponto de amostragem mais próximo aos decantadores deve ter baixíssima concentração de lodo.

Apesar de o trabalho propor uma rotina de descarte de lodo do reator UASB, é necessário que, após o início da operação, determine-se a atividade metanogênica específica e a carga orgânica removida. A partir desses dados, é possível calcular a massa mínima de lodo a ser mantida no reator, através da relação: carga orgânica removida / atividade metanogênica específica.

Por não possuir alta concentração de nutrientes e demandar processo de desinfecção, o lodo produzido no reator UASB será destinado ao leito de secagem e, posteriormente, a aterro sanitário.

A produção estimada de biogás no reator UASB não justifica a implantação de um dispositivo para aproveitamento energético, portanto, recomenda-se a captação e destinação do biogás a um queimador aberto.

É recomendado o plantio de grama no entorno da lagoa. Segundo Mara (2004), gera maior estabilidade do solo.

O sistema dimensionado é capaz de atender aos parâmetros da OMS para reúso agrícola irrestrito.

7 MEMORIAL DE CÁLCULO

7.1 Estudos preliminares

Corresponde à etapa de identificação dos dados que caracterizam o projeto.

População de projeto

O número total de lotes é de 304, entretanto, a cooperativa à frente do empreendimento prevê uma ocupação inicial de 40% (122 lotes).

A ocupação máxima simultânea estimada pela cooperativa é de 70% dos lotes (213 lotes), visto que há aquisição de terrenos para especulação imobiliária e/ou como casa de campo (para visitas esporádicas).

Com a finalidade de determinar a população de projeto, adotou-se o padrão de moradia: Sala/2 quartos ou maior, sem dependências – 4 (habitantes/ lote) (DZ-215.R-4, 2007).

População inicial estimada é de 488 habitantes; População final de 852 habitantes.

Caracterização dos esgotos afluentes à ETE

A vazão de esgoto sanitário é composta das parcelas doméstica, industrial e de infiltração. No projeto em questão, não há contribuição industrial.

A contribuição por infiltração depende de condições, como: Nível de água do lençol freático, natureza do subsolo, qualidade de execução da rede, material da tubulação e tipo de junta utilizado. A NBR 9649 estabelece a utilização de valores entre 0,05 a 1,0 L/s.km (ABNT, 1986b).

Não há, até o momento, rede de coleta de esgoto projetada para o condomínio, impossibilitando o cálculo da vazão de infiltração. Entretanto, é plausível considerar a hipótese de que um projeto futuro de rede, executado conforme recomendações da NBR 9649, que adote tubulações, ligações e poços de visita de PVC, aliado à pavimentação das ruas com revestimento asfáltico e a um sistema de drenagem dimensionado em conformidade com as condições locais possam impedir praticamente qualquer tipo de infiltração na rede.

Com base nessa perspectiva, a vazão de infiltração será considerada nula. Portanto, para fins de dimensionamento, a vazão doméstica será adotada como correspondente à vazão total.

Cálculo das vazões médias

A determinação da vazão de esgotos pode ser feita através da NBR 7229. Segundo a norma, residências de alto padrão possuem contribuição média de 160 litros/hab.dia (ABNT, 1993).

As vazões médias para início e fim de projeto correspondem a 0,904 L/s e 1,578 L/s.

Cálculo das vazões máximas e mínimas

A NBR 9649, recomenda que, na falta de dados, observados os seguintes coeficientes de variação de vazão: do dia de maior consumo ($K1=1,2$); da hora de maior consumo ($K2=1,5$); da hora de menor consumo ($K3=0,5$) (ABNT, 2011).

A Tabela 5 apresenta o resultado das diferentes vazões obtidas para início e fim de projeto.

Tabela 5 - Vazões de projeto

População (hab)	Vazão máxima (L/s)	Vazão média (L/s)	Vazão mínima (L/s)
Inicial (488)	1,627	0,904	0,452
Final (852)	2,840	1,578	0,789

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Temperatura do efluente

Segundo Jordão e Pessoa (2011), a temperatura do esgoto costuma ser mais elevada que a do ar, exceto em meses mais quentes do verão. A temperatura usada será equivalente à temperatura média do ar no mês mais frio obtida na série histórica fornecida pelo INMET. Entre 1981 a 2010 os dados apontam para uma média de 21,8° C no mês mais frio. Adotou-se $T = 22$ °C.

Qualidade do efluente

A NBR 12209 recomenda que, quando não tenha dados relativos à qualidade dos esgotos, sejam adotados os seguintes parâmetros: 45 a 60 g DBO/hab.dia; 90 a 120 g DQO/hab.dia; 45 a 70 g SS/hab.dia; 8 a 12 g N/hab.dia; 1 a 1,6 g P/hab.dia.

Jordão e Pessôa (2011) observam que os valores de DBO e SST vêm aumentando com o passar dos anos e que valores adotados anteriormente (54 g DBO/hab.dia), podem não refletir mais a realidade. Além disso, indivíduos com maior poder econômico tendem a produzir efluente com mais DBO e SST.

Como se trata de um condomínio de alto padrão, adotou-se os valores mais elevados dentro dos recomendados pela NBR 12209. A Tabela 6 apresenta as características esperadas para o efluente.

Tabela 6 - Características do efluente

Parâmetro	Contribuição (g/hab.dia)	Concentração afluente à ETE (mg/L)
DBO	60	375
DQO	120	750
SST	70	437
NTK	12	75
Fósforo total	1,6	10

(1): Considerando a contribuição per capita de esgoto ($q_e = 160$ L/hab.dia)

Fonte: Adaptado (ABNT, 2011).

7.2 Tratamento preliminar

7.2.1 Calha Parshall

Foi adotado um medidor de vazão do tipo Calha Parshall. O dimensionamento foi realizado de forma a garantir velocidade constante do esgoto na caixa de areia, durante todo o horizonte de operação. Para isso, adotou-se:

Para as vazões mínima de 0,452 L/s e máxima de 2,840 L/s há duas opções de medidor Parshall (1 e 2 polegadas). Optou-se pela calha de 1 polegada, pois há uma margem de segurança maior em relação à vazão mínima.

Altura da lâmina d'água na Calha Parshall:

Determinou-se quais as alturas da lâmina d'água atingidas nas diferentes vazões esperadas ao longo do período de operação do sistema.

Altura mínima foi de 4,07 cm, a média foi 9,37 cm e a máxima foi de 13,87 cm.

Rebaixo da Calha Parshall:

Descreve a relação entre as vazões máximas e mínimas e a diferença entre as alturas d'água na base horizontal da calha parshall.

Substituindo os valores na equação, concluiu-se que a altura do degrau (Z) = 0,0222 m = 2,22 cm

7.2.2 Caixa de areia

Foram dimensionadas 2 caixas de areia, uma de reserva, de acordo com a exigência da NBR 12.209/11 (ABNT, 2011).

Diâmetro da partícula de projeto:

Normalmente, remove-se partículas com diâmetro entre 0,1 e 0,4 mm. Para esgotos, preconiza-se a remoção de partículas de 0,2 mm (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Adotou-se diâmetro da partícula de projeto ($D = 0,2$ mm).

Velocidade de sedimentação:

A velocidade de sedimentação de uma partícula de 0,2 mm é em torno de 0,02 m/s (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Adotou-se ($U_s = 0,02$ m/s)

Altura da lâmina d'água na caixa de areia:

Diferença entre a lâmina d'água na base horizontal da calha Parshall e altura do degrau entre a caixa de areia e o medidor de vazão.

A lâmina mínima foi de (1,85 cm), a média (7,15 cm) e a máxima (11,65 cm)

Largura da caixa de areia:

A NBR 12209 recomenda que em desarenadores de fluxo horizontal e seção retangular a velocidade de escoamento permaneça entre 0,25 e 0,4 m/s (ABNT, 2011).

Definiu-se o valor da velocidade de fluxo horizontal ($U_e = 0,3$ m/s).

O valor obtido para largura da caixa de areia foi de ($B = 0,0736$ m = 7,36 cm)

A fim de facilitar a construção, **adotou-se 7 cm.**

Verificação das velocidades de fluxo na caixa de areia:

A norma recomenda a adoção de velocidades de escoamento entre 0,25 e 0,40 m/s (ABNT, 2011).

Para vazão máxima fim de projeto: 0,35 m/s

Para vazão mínima início de projeto : 0,35 m/s

Valores adequados ($0,25 < U < 0,4$) m/s

Comprimento da caixa de areia (L):

Jordão e Pessôa (2011) recomendam, no mínimo, $L(m) = 15 \times H_{c_{méd}}$. Com a adição de uma margem de 50%, obtém-se: Comprimento = 1,608 m

A fim de facilitar a execução do projeto, adotou-se $L = 1,60$ m.

Volume diário de sólidos sedimentados (V_a):

O volume de areia removida em função do volume de esgoto tratado (V_{areia}/V_{esgoto}) é entre 0,002 a 0,004 m³ de areia por 1000 m³ de esgoto (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

O cálculo foi realizado com base no volume máximo de esgoto produzido por dia para a população máxima de projeto ($V_e = 136,32$ m³/dia). Adotou-se ($0,003$ m³ V_a / 1000 m³ V_e)

$V_a = 0,000409$ m³/dia

Volume do depósito de areia (Vda):

Foi adotado um intervalo de limpeza de 14 dias, portanto o volume acumulado nesse intervalo é de 0,00572 m³ de areia.

Profundidade do depósito (Pda):

Espera-se uma profundidade de (Pda = 0,05 m = 5 cm) para areia acumulada em 14 dias.

7.2.3 Dimensionamento da grade

A NBR 12209 classifica as grades pelo espaçamento, como: grade grossa (espaçamentos de 40 a 100 mm); grade média (espaçamentos de 20 a 40 mm); grade fina (espaçamentos de 10 a 20 mm). Para vazões menores que 100 L/s, utiliza-se grade de limpeza manual (ABNT, 2011).

Será adotado um gradeamento fino de limpeza manual, com espaçamento de (a = 15 mm) e seção da barra (8x40) mm.

- Inclinação (i):

Grades de limpeza manual devem possuir inclinação de 45° a 60°, em relação à horizontal (NBR 12209/2011). Adotou-se: $i = 45^\circ$

- Velocidade através da grade (Ug):

Velocidade máxima através da grade para vazão final não deve ser maior que 1,20 m/s (ABNT, 2011).

Adotada: $U_g = 1\text{ m/s}$

- Área útil da grade (Au):

Superfície de contato, através da qual há o escoamento do esgoto. O valor da área útil equivale a $A_u = 0,00284\text{ m}^2$.

- Área transversal do canal (S):

Área transversal de passagem do efluente pelo canal ($S = 0,00435 \text{ m}^2$).

- Largura do canal (Bc):

A largura necessária para atender às requisições de área.

Adotou-se $Bc = 0,04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$

- Perdas de carga:

NBR 12209 recomenda o cálculo da perda de carga para 50% de obstrução da grade (ABNT, 2011).

Como ($V = Q/A$), uma obstrução de 50% da área da grade, implica em um aumento de 2 vezes na velocidade ($2 \times 1 \text{ m/s} = 2 \text{ m/s}$).

A velocidade máxima no gradeamento ($V_{\text{máx}} = 0,61 \text{ m/s}$).

A perda de carga obtida foi de ($h_f = 0,272 \text{ m}$).

A NBR 12209 recomenda uma perda de carga mínima de 0,15 m para gradeamento manual (ABNT, 2011).

Atende a norma: $0,15 \text{ m} < 0,272 \text{ m}$

7.3 Reator UASB

A NBR 12209/2011 estabelece algumas recomendações para o dimensionamento de reator UASB, dentre elas:

Altura útil entre 4 e 6m;

Profundidade mínima do compartimento de digestão: 2,5m;

Profundidade mínima do compartimento de decantação: 1,5m;

Trespasse dos defletores de gases deve exceder em pelo menos 0,15m a abertura de passagem do compartimento de digestão para o compartimento de decantação.

Recomenda a utilização de aberturas de acesso com dimensão mínima de 0,8m, nas câmaras de digestão e decantação;

O dimensionamento será realizado com a vazão média para a população final do empreendimento (852 hab).

- Cálculo da carga afluyente média de DQO (L_0):

Representa a quantidade, em kg, de DQO recebida pelo UASB por dia. A carga de DQO afluyente ao reator UASB é de ($L_0 = 102,25$ kg/dia).

- Tempo de detenção hidráulico (TDH):

Relação entre o volume útil de uma unidade de tratamento e a vazão afluyente.

A temperatura adotada para o esgoto é de 22 °C. A NBR 12209 recomenda tempo de detenção hidráulica de: ≥ 7 h para efluentes entre 22 e 25 °C (ABNT, 2011). Adotou-se TDH de 7h.

- Cálculo do volume do reator (V_t):

O volume obtido para o reator foi de 39,7665 m³. A fim de facilitar a execução da obra, adotou-se ($V_{UASB} = 40$ m³).

- Número de reatores (nR):

Chenicharo (1997) recomenda unidades com tamanho máximo de 400 a 500 m³, portanto adotou-se apenas uma unidade.

- Adoção de altura do reator (H_u):

A NBR 12.209/2011, recomenda uma profundidade útil entre 4 e 6 m (ABNT, 2011).

Adotou-se: $H_u = 4$ m

Altura mínima do compartimento de digestão ($H_{dig} = 2,5$ m)

Altura mínima do compartimento de decantação ($H_{dec} = 1,5$ m)

- Área (A_u):

Relação entre volume unitário e altura útil. A área ocupada pelo reator UASB é de 10 m².

- Largura do UASB (Ba):

Foi adotada uma largura de 2 m.

- Comprimento do UASB (La):

O reator possuirá um comprimento de 5 m.

- Verificação das cargas aplicadas:

Calculou-se a carga orgânica volumétrica (COV) aplicada no reator.

Para população máxima: $COV = 2,556 \text{ kg DQO/m}^3.\text{dia}$;

Para população mínima: $COV = 1,464 \text{ kg DQO/m}^3.\text{dia}$;

De acordo com as recomendações de Chernicharo (1997), a carga orgânica volumétrica deve ser inferior a 15 kg DQO/m³.dia. As cargas aplicadas em projeto atendem as recomendações.

- Carga Hidráulica Volumétrica (CHV):

$CHV = 3,41 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{dia}$

Chernicharo (1997) recomenda valores inferiores a $5\text{m}^3/\text{m}^3.\text{dia}$

- Verificação das velocidades ascensionais:

A NBR 12209 recomenda velocidade máxima menor ou equivalente a 1,2 m/h e velocidade média inferior ou igual a 0,7 m/h (ABNT, 2011).

As velocidades foram calculadas considerando a população máxima de projeto. O valor da velocidade máxima, segundo os cálculos, é de 1,02 m/h; a velocidade média (0,57 m/h).

Ambas adequadas à norma.

- Sistema de distribuição de esgoto afluyente:

Área de influência de cada tubo deve ser inferior a 3 m² (ABNT, 2011).

Adotou-se $A_i = 2 \text{ m}^2$.

- Número de tubos de alimentação (n):

O diâmetro interno mínimo dos tubos de alimentação é 75 mm (ABNT, 2011).

A quantidade necessária é de 5 tubos. Adotou-se 5 tubos de 75 mm de PVC.

- Eficiência de remoção de DQO (Eficiência DQO):

De acordo com Jordão e Pessôa (2011), a eficiência média de remoção de DQO é de 65%. A eficiência teórica de remoção de DQO do reator é de 65,6 %.

- Eficiência de remoção de DBO (Eficiência DBO):

Os valores de remoção de DBO, de acordo com Jordão e Pessôa (2011), costumam ser de 70%. Foi obtido, com os cálculos, 73,5%. Para um TDH de 7 h.

- Concentrações de DQO no efluente (DQO efl UASB):

O efluente do reator UASB, segundo os cálculos, apresentará uma DQO de 258 mg/L.

- Concentrações de DBO no efluente (DBO efl UASB):

É a concentração de DBO remanescente no efluente após o tratamento no reator UASB. O valor obtido foi de 99,4 mg/L.

- Produção Teórica de Metano (DQOCH₄):

Parâmetros obtidos de (CHERNICHARO, 1997).

O valor recomendado de Y_{obs} é entre 0,11 a 0,23 kg DQO lodo/kg DQO apl. Adotou-se o valor intermediário de 0,17 kg DQO lodo/kg DQO apl.

O valor estimado de metano gerado no processo é de 49,69 kg DQO/dia

- Fator de correção para temperatura operacional do reator [K(T)]:

Dados obtidos de (CHERNICHARO, 1997):

O valor obtido para o fator de correção é de 2,64 kg DQO/m³.

- Vazão de metano (QCH₄):

A vazão de metano corresponde a 18,82 m³/dia.

- Avaliação da produção de biogás:

Segundo Chernicharo (1997), o gás metano compreende entre 70% e 80% do total de biogás produzido na digestão anaeróbica de efluentes domésticos. Adotou-se o valor intermediário de 75% de CH₄.

Espera-se uma vazão diária de biogás de 25,09 m³/dia

- Dimensionamento do coletor de gases:

Adotou-se que o reator possuirá 1 canaleta de coleta de gás.

- Comprimento do coletor (C_g):

C_g = 5 m (Comprimento do reator)

- Largura do coletor de gás (L_g):

Adotou-se: $L_g = 0,15$ m.

- Área total do coletor de gases (A_g):

A área total de coleta de gases é de $0,75$ m².

- Taxa de liberação de biogás nos coletores (v_g):

Chernicharo (1997) recomenda valores superiores a (1 m³/m².h) a fim de evitar formação de camada densa de espuma.

O valor obtido foi de ($1,39$ m³/m².h), adequado às recomendações.

- Dimensionamento das aberturas para o decantador:

Adotou-se 1 separador trifásico, disposto paralelamente ao comprimento do reator.

Número de aberturas simples: 2

- Comprimento de cada abertura (L_a):

$L_a = 5$ m (Comprimento do reator)

- Largura de cada abertura (B_a):

Adotou-se: $B_a = 0,3$ m

- Área de cada abertura:

$A_a = 1,5$ m²

- Área total das aberturas:

Como são duas aberturas, multiplicou-se o valor por 2:

Área das aberturas = 3 m²

- Verificação das velocidades através das aberturas (V_a):

Para ($Q_{\text{méd}} = 5,6808 \text{ m}^3/\text{h}$):

Foi obtido o valor de ($V_a = 1,89 \text{ m/h}$) para velocidade de passagem em condições de vazão média. Chernicharo (1997) recomenda valores inferiores a $2,3 \text{ m/h}$, portando o valor obtido está adequado.

Para ($Q_{\text{máx}} = 10,224 \text{ m}^3/\text{h}$):

O valor obtido foi de ($V_a = 3,41 \text{ m/h}$). Atende às recomendações de Chernicharo (1997), possuindo valor inferior a $4,2 \text{ m/h}$.

Ambas as velocidades estão adequadas.

- Dimensionamento do compartimento de decantação:

Número de compartimentos: 1

Comprimento do decantador: $L_d = 5\text{m}$ (Ao longo do comprimento do reator)

Largura do coletor de gás: $B_g = 0,20\text{m}$ ($0,15 \text{ m}$ abertura + $0,05\text{m}$ espessura da parede)

Largura do compartimento de decantação (B_d):

$B_d = 1,8 \text{ m}$

- Área total de decantador:

Área total definida para o compartimento de decantação é de 9 m^2 .

- Verificação das taxas de aplicação superficiais nos decantadores (V_d):

O recomendado por Chernicharo (1997) de V_d , para vazão média, entre $0,6$ e $0,8$. O valor obtido se adequa à recomendação, visto que o valor calculado foi de ($0,63 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$).

A taxa de aplicação superficial máxima recomendado por Chernicharo (1997) é $V_d < 1,2 \text{ m/h}$. O valor obtido em projeto foi de ($1,13 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$).

- Avaliação da produção de lodo

Chernicharo (1997) recomenda valores do coeficiente de produção de sólidos entre (0,10 e 0,20 kg SST/ kg DQO afluente). Adotou-se o valor de (0,15 kg SST /kg DQO afluente)

A produção estimada de lodo é de (Plodo = 15,34 kg SST/dia).

- Volume gerado de lodo (Vl)

Considerou-se o teor de sólidos igual a 4%. A densidade típica, como 1020 kg/m³.

O volume de lodo gerado por dia (Volume = 0,376 m³/dia).

7.4 Leito de secagem de lodo

O dimensionamento deve considerar as recomendações da ABNT 12209.

A norma estabelece que a carga máxima de sólidos suspensos totais não deve ser maior que 15 kg SST/m².

Recomenda também que a altura do lodo no leito não seja superior a 0,35m.

Jordão e Pessôa (2011) afirmam que o lodo poderá ser removido do leito de secagem após um período de 12 a 20 dias.

- Volume de lodo gerado diariamente no UASB:

$$V_{\text{dia}} = 0,376 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- Volume gerado por ciclo:

Adotou-se um tempo de 15 dias para cada ciclo de operação. Portanto, o volume de lodo gerado por ciclo é de 5,64 m³.

- Área de secagem:

A altura máxima de carregamento, segundo a norma, é de 0,35. Adotou-se, entretanto, 0,3m.

A área obtida foi de 18,8 m², porém, a fim de facilitar a execução da obra, considerou-se o valor de (A = 20 m²).

- Taxa de aplicação resultante:

A taxa de aplicação obtida foi de 11,51 kg SST/m².

A recomendação da norma de valor inferior a (15 kg SST/m²) foi atendida (ABNT, 2011).

- Dimensões do leito de secagem:

O leito de secagem deve ser dividido em pelo menos duas câmaras (ABNT, 2011).

- Área unitária (Au):

A área de cada câmara será de 10 m²

- Comprimento (L):

Adotado comprimento de (L = 5 m).

- Outras dimensões recomendadas:

A NBR 12209/2011 dispõe sobre o fundo do leito, determinando:

O fundo do leito deve ser plano e impermeável, contendo tubos de diâmetro mínimo de 100mm.

Sobre o fundo, três camadas de britas:

- Camada inferior composta de pedras de mão;
- Camada intermediária composta de britas 3 e 4, com espessura entre 10cm e 30cm;
- Camada superior deve conter britas 1 e 2, com espessura entre 10cm e 15cm.

Imediatamente acima das camadas de brita, camada de areia com espessura entre 5cm e 15cm, com diâmetro efetivo de 0,3mm a 1,2mm.

A camada superficial será composta de tijolos recozidos, com espaçamento entre 2 e 3 cm, preenchidos com areia.

Além disso, a norma recomenda ainda uma altura livre das paredes do leito entre 0,5m e 1m. Adotou-se 0,5 m.

7.5 Lagoas de Polimento

Coliformes termotolerantes no esgoto bruto: $N_0 = 10^7$ CF/100ml (assumido)

Concentração de ovos de helmintos no esgoto bruto: 200 ovos/l (assumido)

Temperatura média do ar no mês mais frio: $T_{ar} = 21,8^\circ\text{C}$

- Temperatura do líquido no mês mais frio:

A temperatura do líquido represado na lagoa, durante o mês mais frio do ano é de aproximadamente 25°C .

- Cálculo de coliformes no efluente do reator UASB:

Com bases nos dados de Gonçalves et al. (2003), adotou-se uma eficiência na remoção de coliformes termotolerantes no reator UASB de (80%). O número de coliformes no efluente do reator UASB é de 2×10^6 CF/100mL.

- Cálculo dos ovos de helmintos no efluente do UASB:

A eficiência dos reatores monitorados pelo PROSAB na remoção de ovos de helmintos variou entre 63% e 88% (GONÇALVES et al., 2003). Adotou-se uma eficiência na remoção de ovos de helmintos de 60% no reator UASB, portanto, a concentração no efluente do UASB é de 80 ovos/L.

- Eficiência desejada

Como não há projeto de irrigação, para determinar a eficiência de remoção, considerou-se o cenário de maior exposição proposto por WHO (2006), que equivale a efluente com concentração de *E. Coli* $\leq 10^3$ NMP/100mL. Adotou-se uma eficiência de remoção necessária

nas lagoas de 4 logs (99,99%), a fim de atender aos padrões da OMS para reuso agrícola irrestrito no cultivo de raízes.

- Profundidade

Adotou-se a profundidade ($h = 1\text{m}$), com o intuito de preservar a quantidade de nutrientes. Profundidades menores promovem maior remoção de nutrientes, o que não é vantajoso quando o objetivo é reuso agrícola (CAVALCANTI *et al.*, 2001).

- Coeficiente de decaimento bacteriano

Avaliou-se o efeito tanto da temperatura, quanto da profundidade na remoção de patógenos na lagoa. Segundo Van Haandel e Lettinga (1994) apud Cavalcanti *et al.* (2001), a 25°C , $K_b = 1,36/\text{H}$, portanto, $K_b = 1,36/\text{dia}$. Para a avaliação da variação de K_b com a temperatura, adotou-se $\Theta = 1,07$.

Foi obtido o valor de aproximadamente ($K_{bHT} = 2,0 \text{ dia}^{-1}$).

- Tempo de detenção necessário para fluxo pistonado

Calculou-se o tempo de detenção mínimo (TDHmin), caso ocorra fluxo pistonado. Para a remoção de 4 logs o tempo de detenção mínimo é de 4,6 dias.

Segundo Cavalcanti *et al.* (2001), para a remoção de 99,99% , com um número de dispersão ($d = 0,18$), o TDH foi de 9,8 dias. Resultado 2,2 vezes superior a uma lagoa com fluxo pistonado. Adotou-se, portanto, de forma conservadora, fator de correção igual a 2.

Calculou-se um TDH de 9,2 dias.

- Número de lagoas:

Segundo Cavalcanti *et al.* (2001), em lagoas de mistura completa, quando o valor de k_b é $2,0/\text{dia}$ e o tempo total de detenção é de 9,2 dias, para remoção de 99,99%, tem-se o seguinte número de lagoas em série: $M = 7$ lagoas.

Cada lagoa possui tempo de detenção de (TDHI = 1,3 d).

Resultará na remoção de 99,99 % das bactérias

- Eficiência na remoção de ovos de helmintos em cada lagoa:

Calculou-se o percentual de remoção esperado para ovos de helmintos em cada lagoa. O valor estimado é de 78,00%

- Eficiência de remoção das 7 lagoas:

Devido ao fato que as sete lagoas possuem as mesmas dimensões, espera-se uma eficiência de remoção similar à apresentada pela primeira lagoa. O valor estimado para o conjunto foi de 99,99%.

- Concentração de ovos de helmintos no efluente da última lagoa:

Espera-se uma concentração no efluente da última lagoa de 0,008 ovos/L. Padrão condizente com as recomendações da OMS, inclusive para o contato com crianças de idades inferiores a 15 anos (WHO, 2006).

- Eficiência global na remoção de ovos de helmintos (UASB + Lagoas de polimento):

De acordo com os resultados obtidos nos cálculos anteriores, é de se esperar uma eficiência do sistema de $\geq 99,99\%$.

- Dimensões da lagoa:

- Volume total:

O volume de armazenamento total das lagoas será calculado para a vazão média da população final e para um tempo de detenção hidráulica de 9,2 dias.

- Área total ocupada pelas lagoas:

Considerando o volume total e a altura da lâmina d'água, é obtida uma área de 1254,3206 m².

- Dimensões de cada lagoa:

Área de cada lagoa (A_{lagoa}): A determinação da área de cada lagoa foi feita a partir da área total dividida pelo número de lagoas. Foi obtido um valor de 179,1886 m² para cada lagoa.

- Comprimento (L):

Considerando $L/B = 12:1$, foi obtido um comprimento de 46,3709 m.

Adotado valor de $L = 46,37$ m.

- Largura (B):

A largura foi obtida a partir da divisão da área unitária pelo comprimento da lagoa.

Foi obtido 3,8643 m, entretanto, adotou-se o valor de $B = 3,87$ m.

- Dimensões das chicanas:

A adoção de 7 lagoas resulta em 6 chicanas divisórias da área total.

Dimensionou-se as chicanas considerando os experimentos de Lari (2013), no qual foi constatado que chicanas dispostas no sentido longitudinal, promovendo uma relação $L/B = 12:1$ apresentaram melhor rendimento. O comprimento das chicanas adotadas no estudo foi de 90% do comprimento da lagoa. Adotou-se, portanto, chicanas com 90% do comprimento da lagoa.

Adotou-se uma espessura teórica ($E_c = 0,1$ m) para as chicanas.

- Comprimento das chicanas:

O comprimento calculado para as chicanas foi de ($L_c = 41,73$ m).

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L.A. et al. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. **Revista Saúde Pública**, v. 37, n. 4, p. 510-514, 2003.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102003000400017>
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2019.
- ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2001.
- ANDREOLI, C. V. et al. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. PROSAB. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001a.
- ANDREOLI, C. V.; PINTO, MAT. **Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de água e esgotos sanitários, inclusive com a utilização de técnicas consorciadas com resíduos sólidos urbanos**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001.
- ARAÚJO, A.N.S.M. II-332 - Aplicabilidade de um sistema de reúso de água paisagístico para tratamento de águas residuárias. **25º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**. ABES, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12208**: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos- Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Elaboração de projetos hidráulico sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.
- AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1998.
- BARBOSA, C.F. **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP, 2005.

BASTOS, R.K.X. & BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Orgs.) **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Projeto PROSAB. p. 17-62. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

BASTOS, R.K.X. et al. Subsídios à regulamentação do reúso de água no Brasil. Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. **Revista DAE**, n. 177, p. 50-62. 2008.

BERTONCINI, Edna Ivani. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152-169, 2008.

BRANDT, Emanuel Manfred Freire et al. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário—Parte 4: Controle de corrosão e emissões gasosas. **Revista DAE** – edição especial, v. 66, n. 214, p. 56-72, 2018.

BRASIL. Decreto Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943. Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF. 09 ago. 1943.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego: NR – 15 - Atividades e Operações Insalubres. **Diário Oficial da União**: Brasília - DF, 08 jun. 1978.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2019**. Brasília – DF: MDR, 2019.

BRASIL. Lei Federal nº 12.727 de 17 de outubro de 2012. **Altera a Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº s 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nº s 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm. Acesso em: 28 jun. 2020.

BRASIL, IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por amostra de domicílios 2013**. Volume 33. 133 p. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

BRASIL, IBGE. Instituto Brasileiro de geografia e Estatística. **Censo demográfico**, v. 2010, 2010.

BRASIL. Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo à segurança e medicina do trabalho, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6514.htm. Acesso em: 28 jun. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). **Manual de orientações técnicas para elaboração e apresentação de propostas e projetos para sistemas de esgotamento sanitário**. 2017. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/-](http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/)

/asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/manual-de-orientacoes-tecnicas-para-elaboracao-e-apresentacao-de-propostas-e-projetos-para-sistemas-de-esgotamento-sanitario?inheritRedirect=false. Acesso em: 15 dez. 2019.

BRUM, Bruno Ramos et al. Qualidade das águas de poços rasos em área com déficit de saneamento básico em cuiabá, mt: avaliação microbiológica, físicoquímica e fatores de risco à saúde. **HOLOS**, v. 2, p. 179-188, 2016.

CAMPINAS. **Resolução conjunta SVDS/SMS N° 09**, de 04 de agosto de 2014. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso não potável de água, provenientes de Estações de Tratamento de Esgotos (ETES) de sistemas públicos para fins de usos múltiplos no município de Campinas. 04 ago. 2014.

CAVALCANTI, P.F.F. et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoas de polimento. In: CHERNICHARO, C.A.L. (coord). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. p. 105–170. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

CAVALCANTI, P. F. F. **Integrated Application of the UASB reactor and Ponds for domestic Sewage Treatment in Tropical Regions**. 2003. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Sub-Department of Environmental Technology, Wageningen University, Wageningen, Netherlands, 2003.

CEARÁ. GOVERNO DO ESTADO. **Resolução COEMA n° 2 de 02/02/2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE n° 154, de 22 de julho de 2002 e n° 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE n° 151, de 25 de novembro de 2002. 02 fev. 2017.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1997

CHERNICHARO, C. A. L. et al. Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Cap. 3. p. 63 - 110.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Anaerobic reactors**. London: IWA Publishing, 2007.

(CONAMA 430/2011) BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n. 430 - 13 maio 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União**: Brasília, 16 maio 2011.

(CONAMA 357/2005) BRASIL. Secretaria Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 - 17 mar. 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 mar. 2005.

DE SOUZA, José Tavares. et al. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semiárido nordestino. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.10, p.260-265, 2005.

DE SOUSA, José Tavares et al. II-104-Desempenho de lagoa de polimento no pós-tratamento de efluente aneróbio para reúso na agricultura. In: **23º congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental**.(ABES), 2005.

DÍAZ FLÓREZ, C. A. **Avaliação de protocolos de descarte e desidratação da espuma acumulada no interior de separadores trifásicos de reatores UASB**. Dissertação (Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2016.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES (USEPA). Guidelines for Water Reuse. Washington: USEPA, 2012.

FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M., (Coordenadores). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. PROSAB 4 Tema 2, 427p. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

FUNASA – Fundação Nacional da Saúde. **Manual de Saneamento**. 4 ed. Brasília: MS/FNS, 2015.

GONÇALVES, R. F. (coord) **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas**. PROSAB – Edital 3. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003.

HENRIQUE, Israel Nunes et al. II-116-Utilização de esgotos tratados no desenvolvimento da cultura pimentão (*Capsicum annum L.*). In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental** (ABES), 2005.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 07, n. 4, p. 75-95. 2003.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas do Brasil** – período (1981-2010). Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 20 jan. 2020.

JANSEN, M. Water supply and sewage disposal at Mohenjo-Daro. **World archaeology**, 21 2, 177-92. 1989.

JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

KREUTZBERGER, B. et al. Elaboração de proposta do plano de ação para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no brasil: **Produto III – Critérios de qualidade da água (RP01B)**. INTERÁGUAS. 25 de ago. 2017.

LARI, K.S. A note on baffle orientation in long ponds. **Journal of Environmental Informatics**, v. 21, n. 2, p. 136–141, 2013.

LETTINGA, G., HULSHOFF POL, L.W. UASB - Process design for various types of wastewaters. **Water Science Technology**, v. 24, n. 8, p. 87-107, 1991.

LOFRANO, G., & BROWN, J.E. Wastewater management through the ages: a history of mankind. **The Science of the total environment**, 408 22, 5254-64 . 2010.

MARA, D. Duncan. **Domestic wastewater treatment in developing countries**. Londres: Earthscan, 2004.

MASCARENHAS, L.C.A; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.AL. Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.9, n.1, p.45-54. Jan/mar, 2004.

MOTA, Francisco Suetônio Bastos et al. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. v. 430. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

NUNES, Ana Paula et al. Qualidade da água subterrânea e percepção dos consumidores em propriedades rurais. v. 7, n. 2. **Nucleus**, 2010.

PIANOWSKI, E. H; JANISSEK, P. R. Desinfecção de efluentes sanitários com uso de cloro: avaliação da formação de trihalometanos. v.20, n.20, p. 6-17. **Sanare - Revista Técnica da Sanepar**. Curitiba, 2003.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO. Goiânia: Prefeitura de Goiânia, 2019.

ROCHA, Christiane Maria Barcellos Magalhães da et al. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. v. 22, p. 1967-1978. **Cadernos de Saúde Pública**, 2006.

SÃO PAULO (ESTADO). **Resolução conjunta ses/sima nº 01, de 13 de fevereiro de 2020**. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. São Paulo, 2020.

SILVA, A. C., Dourado, J. C., Krusche, A. V., & Gomes, B. M. (2009). Impacto físico-químico da deposição de esgotos em fossas sobre as águas de aquífero freático em Jiparaná-RO. **Revista de Estudos Ambientais**, 11(2), 101-112.

SILVEIRA, B. et al. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015.

SOBRINHO, Pedro Alem. TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

SOUZA, C. L. Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada em reatores UASB tratando esgotos domésticos. 2006. Dissertação (Mestrado em saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

TCHOBANOGLIOUS, George; BURTON, Franklin L.; STENSEL, H. David. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. Metcalf & Eddy Inc, 2003.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 1996.

VON SPERLING, Marcos. **Lodos ativados**. 2. ed. 4ª Reimpressão. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

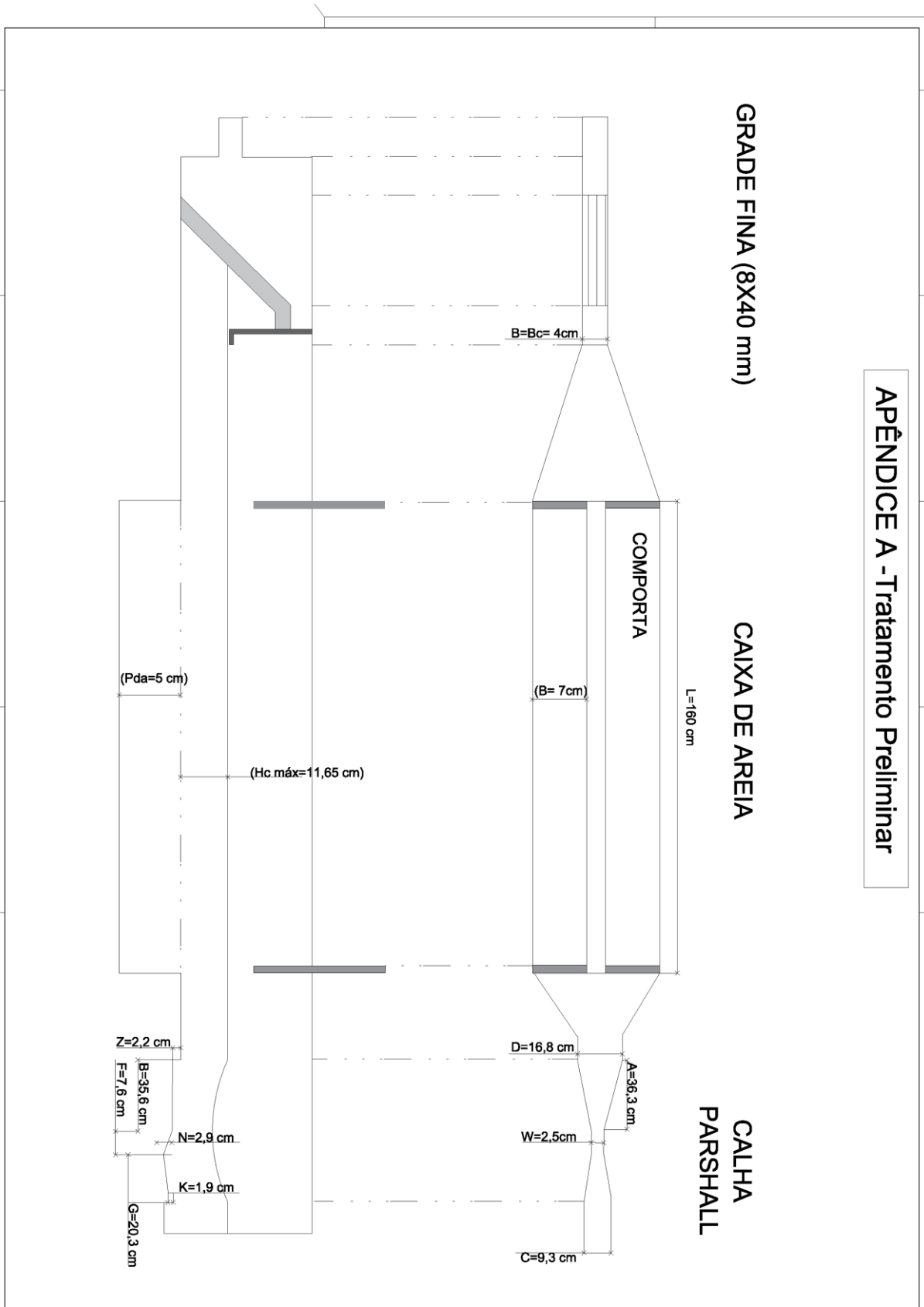
VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de Estabilização - Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. v. 3 (2ª Edição ampliada). Belo Horizonte: UFMG, 2009.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater**. Volume 2: Wastewater use in agriculture. 213p. Geneva: WHO, 2006.

WOLFE, P. (ed) World of Water 2000 – The Past, Present and Future (1999). **Water World**/Water and Wastewater International Supplement to PennWell Magazines, Tulsa, OH, USA, pp. 166.

APÊNDICE A – TRATAMENTO PRELIMINAR

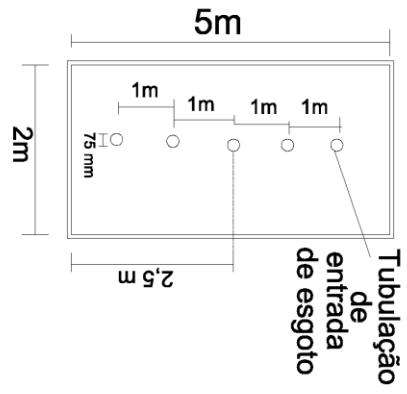
APÊNDICE A - Tratamento Preliminar



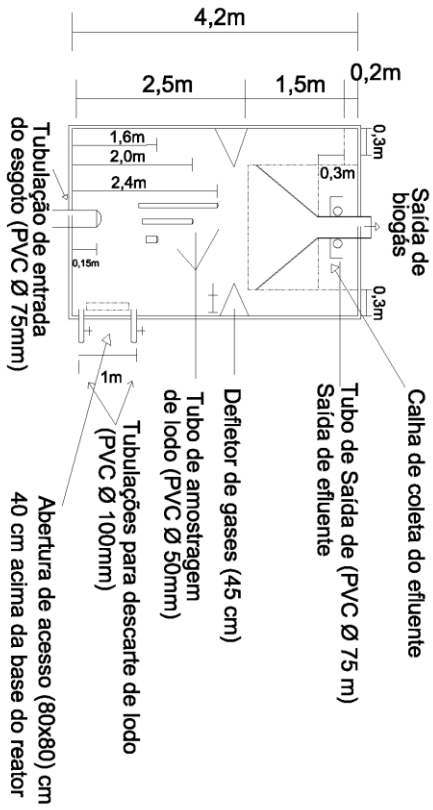
APÊNDICE B – REATOR UASB

APÊNDICE B - Reator UASB

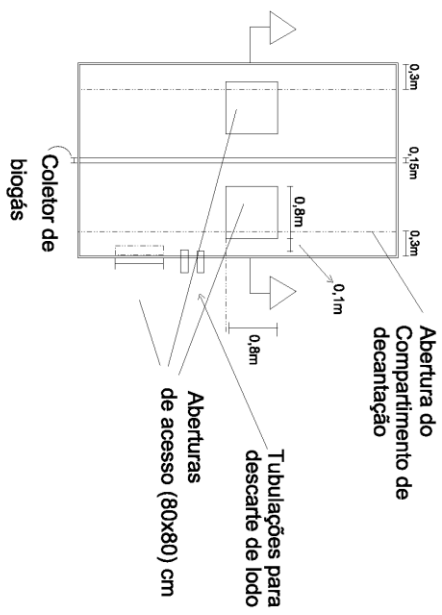
Vista Superior



Vista Superior



Vista Superior

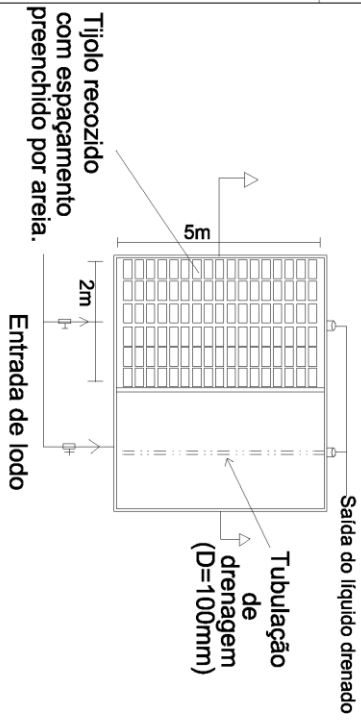


APÊNDICE C – LEITO DE SECAGEM

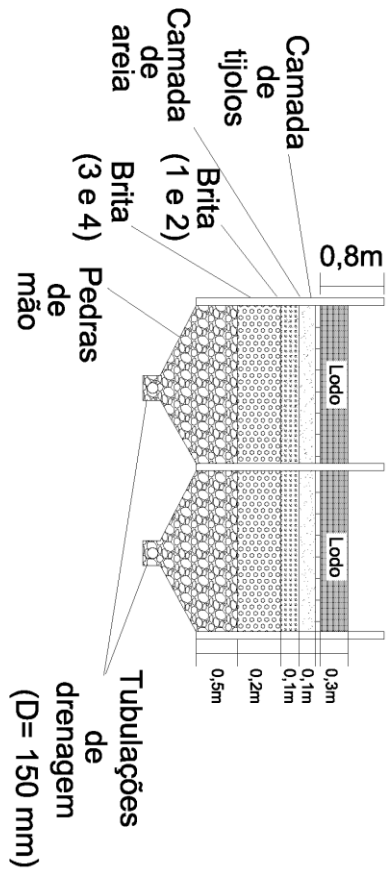
APÊNDICE C - Leito de Secagem

LEITO DE SECAGEM

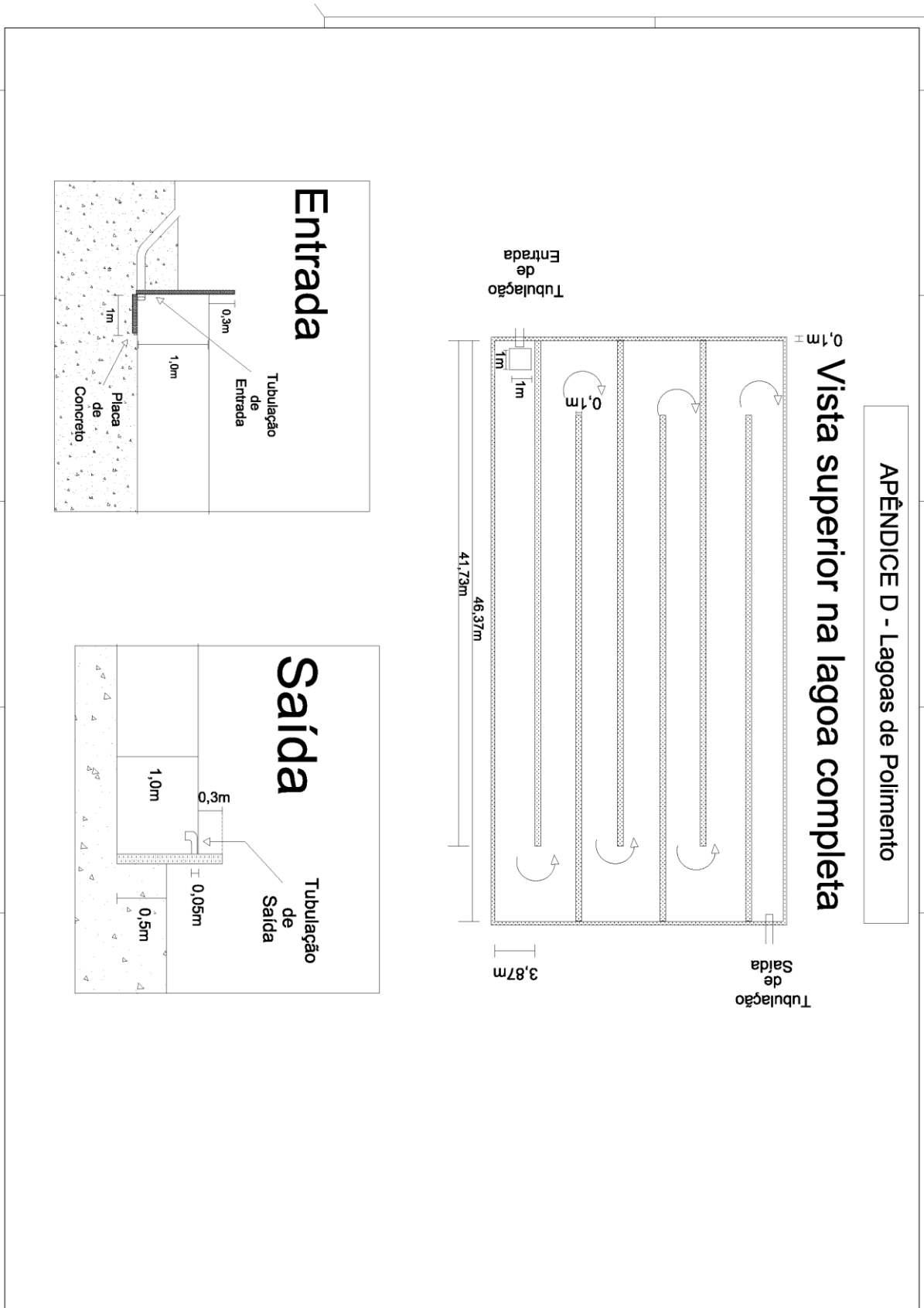
Vista Superior



Vista Corte



APÊNDICE D – LAGOAS DE POLIMENTO



ANEXO A – PLANILHA DE CÁLCULOS

CÁLCULO DAS VAZÕES

Vazões para população inicial (488 hab):

Vazão média: $(Q_{méd} = Pop \times \frac{q_e}{86400})$

Pop = 488 hab;

$q_e = 160\text{L/hab.dia}$

$Q_{méd} = 0,9037\text{ L/s}$

Vazão mínima: $(Q_{mín} = Q_{méd} \times K3)$

$Q_{méd} = 0,9037\text{ L/s}$

$K3 = 0,5$

$Q_{mín} = 0,4518\text{ L/s}$

Vazão máxima: $(Q_{máx} = Q_{méd} \times K1 \times K2)$

$Q_{méd} = 0,9037\text{ L/s}$

$K1 = 1,2$

$K2 = 1,5$

$Q_{máx} = 1,6267\text{ L/s}$

Vazões para população final (852 hab):

Vazão média: $(Q_{méd} = Pop \times \frac{q_e}{86400})$

Pop = 852 hab;

$q_e = 160\text{L/hab.dia}$

$Q_{méd} = 1,5778\text{ L/s}$

Vazão mínima: $(Q_{mín} = Q_{méd} \times K3)$

$Q_{méd} = 1,5778\text{ L/s}$

$K3 = 0,5$

$Q_{mín} = 0,7889\text{ L/s}$

Vazão máxima: $(Q_{máx} = Q_{méd} \times K1 \times K2)$

$Q_{méd} = 1,5778\text{ L/s}$

$K1 = 1,2$

$K2 = 1,5$

$Q_{máx} = 2,8400\text{ L/s}$

1- Caracterização dos esgotos afluentes à ETE:

Volume de esgoto: $(V = q_e \times Pop)$

$q_e = 160\text{ L/hab.dia}$

Pop = 488 hab

$V = 78080\text{ L/dia} = 78,080\text{ m}^3/\text{dia}$

DBO:

Carga de DBO: $(Ca_{DBO} = q_{DBO} \times Pop)$

$q_{DBO} = 60\text{ g/hab.dia}$

Pop = 488 hab

$Ca_{DBO} = 29280\text{ g/dia} = 29,280\text{ kg/dia}$

Concentração de DBO: $(C = Ca_{DBO}/V)$

$Ca_{DBO} = 29280\text{ g/dia}$

$V = 78080\text{ L/dia}$

$C = 0,375\text{ gDBO/L} = 375\text{ mgDBO/L}$

DQO:**Carga de DQO:** ($Ca_{DQO} = q_{DQO} \times Pop$)

$$q_{DQO} = 120 \text{ g/hab.dia}$$

$$Pop = 488 \text{ hab}$$

$$Ca_{DQO} = 58560 \text{ g/dia} = 58,560 \text{ kg/dia}$$

Concentração de DQO: ($C = Ca_{DQO}/V$)

$$Ca_{DQO} = 58560 \text{ g/dia}$$

$$V = 78080 \text{ L/dia}$$

$$C = 0,75 \text{ g DQO/L} = 750 \text{ mg DQO/L}$$

SST:**Carga de SST:** ($Ca_{SST} = q_{SST} \times Pop$)

$$q_{SST} = 70 \text{ g/hab.dia}$$

$$Pop = 488 \text{ hab}$$

$$Ca_{SST} = 34160 \text{ g/dia} = 34,160 \text{ kg/dia}$$

Concentração de SST: ($C = Ca_{SST}/V$)

$$Ca_{SST} = 34160 \text{ g/dia}$$

$$V = 78080 \text{ L/dia}$$

$$C = 0,437 \text{ g SST/L} = 437 \text{ mg SST/L}$$

NTK:**Carga de NTK:** ($Ca_{NTK} = q_{NTK} \times Pop$)

$$q_{NTK} = 12 \text{ g/hab.dia}$$

$$Pop = 488 \text{ hab}$$

$$Ca_{NTK} = 5856 \text{ g/dia} = 5,856 \text{ kg/dia}$$

Concentração de NTK: ($C = Ca_{NTK}/V$)

$$Ca_{NTK} = 5856 \text{ g/dia}$$

$$V = 78080 \text{ L/dia}$$

$$C = 0,075 \text{ g NTK/L} = 75 \text{ mg NTK/L}$$

Ptotal:**Carga de Ptotal:** ($Ca_{Ptotal} = q_{Ptotal} \times Pop$)

$$q_{Ptotal} = 1,6 \text{ g/hab.dia}$$

$$Pop = 488 \text{ hab}$$

$$Ca_{Ptotal} = 780,8 \text{ g/dia} = 0,7808 \text{ kg/dia}$$

Concentração de Ptotal: ($C = Ca_{Ptotal}/V$)

$$Ca_{Ptotal} = 780,8 \text{ g/dia}$$

$$V = 78080 \text{ L/dia}$$

$$C = 0,01 \text{ g Ptotal/L} = 10 \text{ mg Ptotal/L}$$

2- TRATAMENTO PRELIMINAR

3.1- Calha Parshall:

$$\text{Altura da lâmina d'água: } H_p = \left[\frac{Q}{2,2 \times W} \right]^2$$

Altura para vazão mínima ($H_{p\text{mín}}$)

$$Q_{\text{mín}}: 0,000452 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$W = 0,025 \text{ m}$$

$$H_{p\text{mín}} = \left[\frac{0,000452}{2,2 \times 0,025} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$H_{p\text{mín}} = 0,0407 \text{ m} = 4,07 \text{ cm}$$

Altura para vazão média ($H_{p\text{méd}}$)

$$Q_{\text{méd}} = 0,001578 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$W = 0,025 \text{ m}$$

$$H_{p\text{méd}} = \left[\frac{0,001578}{2,2 \times 0,025} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$H_{p\text{Méd}} = 0,0937 \text{ m} = 9,37 \text{ cm}$$

Altura para vazão máxima

$$Q_{\text{máx}} = 0,002840 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$W = 0,025 \text{ m}$$

$$H_{p\text{máx}} = \left[\frac{0,002840}{2,2 \times 0,025} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$H_{p\text{Máx}} = 0,1387 \text{ m} = 13,87 \text{ cm}$$

$$\text{Rebaixo da calha Parshall: } Z \text{ (m)} = \frac{(Q_{\text{máx}} \times H_{p\text{Mín}}) - (Q_{\text{mín}} \times H_{p\text{Máx}})}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}}$$

$$Q_{\text{máx}} = 0,002840 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{p\text{Máx}} = 0,1387 \text{ m}$$

$$Q_{\text{mín}} = 0,000452 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{p\text{mín}} = 0,0407 \text{ m}$$

$$Z = 0,0222 \text{ m} = 2,22 \text{ cm}$$

3.2- DIMENSIONAMENTO DA CAIXA DE AREIA

Altura da lâmina d'água na caixa de areia: $H_c = H_p - Z$

Altura para vazão mínima: $H_{c\text{mín}} = H_{p\text{mín}} - Z$

$$H_{p\text{mín}} = 0,0407 \text{ m}$$

$$Z = 0,0222 \text{ m}$$

$$H_{c\text{mín}} = 0,0185 \text{ m} = 1,85 \text{ cm}$$

Altura para vazão média: $H_{c\text{méd}} = H_{p\text{méd}} - Z$

$$H_{p\text{méd}} = 0,0937 \text{ m}$$

$$Z = 0,0222 \text{ m}$$

$$H_{c\text{méd}} = 0,0715 \text{ m} = 7,15 \text{ cm}$$

Altura para vazão máxima: $H_{c\text{máx}} = H_{p\text{máx}} - Z$

$$H_{p\text{máx}} = 0,1387 \text{ m}$$

$$Z = 0,0222 \text{ m}$$

$$H_{c\text{máx}} = 0,1165 \text{ m} = 11,65 \text{ cm}$$

Largura da caixa de areia: $B(m) = \frac{Q_{\text{méd}}}{(Hc_{\text{méd}}) \times U_e}$

$$Q_{\text{méd}} = 0,001578 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Hc_{\text{méd}} = 0,0715 \text{ m}$$

$$U_e = 0,3 \text{ m/s}$$

$$B = 0,0736 \text{ m} = \text{Adotou-se: } B = 7 \text{ cm.}$$

Verificação das velocidades de fluxo na caixa de areia: $U = \frac{Q}{H \times B}$

Para vazão mínima: $U_{\text{mín}} = \frac{Q_{\text{mín}}}{Hc_{\text{mín}} \times B}$

$$Q_{\text{mín}} = 0,000452 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Hc_{\text{mín}} = 0,0185 \text{ m}$$

$$B = 0,07 \text{ m}$$

$$U_{\text{mín}} = 0,35 \text{ m/s}$$

Para vazão máxima: $U_{\text{máx}} = \frac{Q_{\text{máx}}}{Hc_{\text{máx}} \times B}$

$$Q_{\text{máx}} = 0,002841 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Hc_{\text{máx}} = 0,1165 \text{ m}$$

$$B = 0,07 \text{ m}$$

$$U_{\text{máx}} = 0,35 \text{ m/s}$$

Comprimento da caixa de areia: $L(m) = 15 \times Hc_{\text{méd}}$

$$Hc_{\text{méd}} = 0,0715 \text{ m}$$

$$L = 1,0725$$

Margem de segurança: $1,5 \times L$

$$L = 1,608 \text{ m} = \text{Adotou-se } L = 1,60 \text{ m}$$

Volume diário de sólidos sedimentados: $(V_a = 3 \times 10^{-5} \times V_e)$

$$V_e = q_e \times \text{Pop}(\text{máx})$$

$$q_e = 160 \text{ L/hab.dia}$$

$$\text{Pop}(\text{máx}) = 852 \text{ hab}$$

$$V_e = 136320 \text{ L/dia} = 136,320 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V_a = 3 \times 10^{-5} \times 136,320 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V_a = 0,000409 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Volume do depósito de areia: $(V_{da} = 14 \times V_a)$

$$V_a = 0,000409 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V_{da} = 14 \times 0,000409 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V_{da} = 0,005726 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Profundidade do depósito: $(P_{da} = V_{da}/Ac)$

$$Ac = (L \times B)$$

$$L = 1,6 \text{ m}$$

$$B = 0,07 \text{ m}$$

$$Ac = 0,112 \text{ m}^2$$

$$V_{da} = 0,005726 \text{ m}^3$$

$$P_{da} = 0,051125 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

3.3- DIMENSIONAMENTO DA GRADE

Área útil da grade: ($A_u = Q_{m\acute{a}x}/U_g$)

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,00284 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$U_g = 1 \text{ m/s}$$

$$A_u = 0,00284 \text{ m}^2$$

Área transversal do canal: ($S = A_u \times \frac{a+t}{a}$)

$$A_u = 0,00284 \text{ m}^2$$

$$a = 0,0015 \text{ m}$$

$$t = 0,0008 \text{ m}$$

$$S = 0,00435 \text{ m}^2$$

Largura do canal: $B_c = \frac{S}{H_{c_{m\acute{a}x}}}$

$$S = 0,00435 \text{ m}^2$$

$$H_{c_{m\acute{a}x}} = 0,1165 \text{ m}$$

$$B_c = 0,0373 \text{ m} = 0,04 \text{ m}$$

Perdas de carga: $h_f = 1,43 \times (V_{50\%}^2 - V_{m\acute{a}x}^2)/(2 \times g)$

$$V_{50\%} = 2 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{H_{c_{m\acute{a}x}} \times B_c}$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,00284 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{c_{m\acute{a}x}} = 0,1165 \text{ m}$$

$$B_c = 0,04 \text{ m}$$

$$V_{m\acute{a}x} = 0,61 \text{ m/s}$$

$$h_f = 0,272 \text{ m}$$

3.4- DIMENSIONAMENTO DO REATOR UASB

Carga afluenta média de DQO: $L_0 = S_0 \times Q_{m\acute{e}d}$

$$S_0 = 0,750 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{m\acute{e}d} = 136,3392 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$L_0 = 102,2544 \text{ kg/dia}$$

Cálculo do volume do reator: $V_{UASB} = Q_{m\acute{e}d} \times TDH$

$$Q_{m\acute{e}d} = 5,6808 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$TDH = 7 \text{ h}$$

$$V_{UASB} = 39,7665 \text{ m}^3 = 40 \text{ m}^3$$

Área do reator: $A_u = V_t/H_u$

$$V_t = 40 \text{ m}^3$$

$$H_u = 4 \text{ m}$$

$$A_u = 10 \text{ m}^2$$

Verificação das cargas aplicadas

Carga orgânica volumétrica: $COV = Q_{m\acute{e}d} \times S_0/V$

População máxima:

$Q_{\text{méd}} = 136,3392 \text{ m}^3/\text{dia}$
 $S_0 = 0,750 \text{ kg/m}^3$
 $V = 40 \text{ m}^3$
 $\text{COV} = 2,55636 \text{ kg DQO/m}^3.\text{dia}$

População mínima:
 $Q_{\text{méd}} = 78,1056 \text{ m}^3/\text{dia}$
 $S_0 = 0,750 \text{ kg/m}^3$
 $V = 40 \text{ m}^3$
 $\text{COV} = 1,46448 \text{ kg DQO/m}^3.\text{dia}$

Carga hidráulica volumétrica: $\text{CHV} = \frac{Q}{V}$
 $Q = 136,3392 \text{ m}^3/\text{dia}$
 $V = 40 \text{ m}^3$
 $\text{CHV} = 3,41 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{dia}$

Verificação das velocidades ascensionais: $V = \frac{Q}{A}$
 Para vazão média (população final):
 $Q = 5,6808 \text{ m}^3/\text{h}$
 $A = 10 \text{ m}^2$
 $V = 0,57 \text{ m/h}$

Para vazão máxima (população final):
 $Q = 10,224 \text{ m}^3/\text{h}$
 $A = 10 \text{ m}^2$
 $V = 1,02 \text{ m/h}$

Número de tubos de alimentação: $n = \frac{A}{A_i}$
 $A = 10 \text{ m}^2$
 $A_i = 2 \text{ m}^2/\text{tubo}$
 $n = 5 \text{ tubos}$

Eficiência na remoção de DQO: $E_{\text{DQO}} = 100 \times (1 - 0,68 \times \text{TDH}^{-0,35})$
 $\text{TDH} = 7 \text{ h}$
 $E_{\text{DQO}} = 65,6\%$

Eficiência na remoção de DBO: $E_{\text{DBO}} = 100 \times (1 - 0,70 \times \text{TDH}^{-0,5})$
 $\text{TDH} = 7 \text{ h}$
 $E_{\text{DBO}} = 73,5 \%$

Concentração de DQO no efluente: $S_{\text{DQO}} = S_0 - \frac{E_{\text{DQO}} \times S_0}{100}$
 $S_0 = 750 \text{ mg DQO/L}$
 $E_{\text{DQO}} = 65,6 \%$
 $S_{\text{DQO}} = 258 \text{ mg DQO/L}$

Concentração de DBO no efluente: $S_{\text{DBO}} = S_0 - \frac{E_{\text{DBO}} \times S_0}{100}$

$S_0 = 375 \text{ mg DBO/L}$

$E_{\text{DBO}} = 73,5 \%$

$S_{\text{DBO}} = 99,4 \text{ mg DBO/L}$

Produção teórica de metano: $\text{DQO}_{\text{ch4}} = \text{DQO}_{\text{removida}} - (\text{DQO}_{\text{cel}} + \text{DQO}_{\text{ret}})$

$\text{DQO}_{\text{removida}} = Q_{\text{méd}} * (S_0 \text{ dco} - S_{\text{dco}})$

$\text{DQO}_{\text{cel}} + \text{DQO}_{\text{ret}} = \text{Plodo} = Y_{\text{obs}} * \text{DQO}_{\text{apl}}$

$\text{DQO}_{\text{ch4}} = Q_{\text{méd}} * (S_0 \text{ dco} - S_{\text{dco}}) - [Y_{\text{obs}} * \text{DQO}_{\text{aplicada}}]$

$Q_{\text{méd}} = 136,3392 \text{ m}^3/\text{dia}$

$S_0 \text{ dco} = 0,750 \text{ kg DQO/m}^3$

$S_{\text{dco}} = 0,258 \text{ kg DQO/m}^3$

$Y_{\text{obs}} = 0,17 \text{ kg DQO lodo/ kg DQO aplicada}$

$\text{DQO}_{\text{aplicada}} = 0,750 \text{ kg DQO/m}^3$

$\text{DQO}_{\text{ch4}} = 49,69 \text{ kg DQO/dia}$

Fator de correção da temperatura do reator: $K(T) = P(\text{atm}) \times K / R \times (273 + T)$

$P(\text{atm}) = 1 \text{ atm}$

$K = 64 \text{ g DQO/mol}$

$R = 0,08206 \text{ atmL/molK}$

$T = 22^\circ \text{ C}$

$K(T) = 2,64 \text{ kg DQO/m}^3$

Vazão de metano: $Q_{\text{CH}_4} = \text{DQO}_{\text{ch4}} / K(T)$

$\text{DQO}_{\text{ch4}} = 49,69 \text{ kg DQO/dia}$

$K(T) = 2,64 \text{ kg DQO/m}^3$

$Q_{\text{CH}_4} = 18,82 \text{ m}^3/\text{dia}$

Vazão de biogás: $Q_{\text{biogás}} = \frac{Q_{\text{CH}_4}}{0,75}$

$Q_{\text{CH}_4} = 18,82 \text{ m}^3/\text{dia}$

$Q_{\text{biogás}} = 25,09 \text{ m}^3/\text{dia}$

Dimensionamento do coletor de gases

Área total do coletor: $A_g = C_g \times L_g$

$C_g = 5 \text{ m}$

$L_g = 0,15 \text{ m}$

$A_g = 0,75 \text{ m}^2$

Taxa de liberação de biogás no coletor: $V_g = \frac{Q_{\text{biogás}}}{A_g}$

$Q_{\text{biogás}} = 1,04 \text{ m}^3/\text{h}$

$A_g = 0,75 \text{ m}^2$

$V_g = 1,39 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$

Dimensionamento das aberturas para o decantador

Área de cada abertura: $A_a = L_a \times B_a$

$L_a = 5 \text{ m}$

$B_a = 0,3 \text{ m}$

$$Aa = 1,5 \text{ m}^2$$

Área total das aberturas: $A_{ta} = Aa \times n^\circ \text{ de aberturas}$

$$Aa = 1,5 \text{ m}$$

$$n^\circ \text{ de aberturas} = 2$$

$$A_{ta} = 3 \text{ m}^2$$

Velocidades através das aberturas: $Va = \frac{Q}{A}$

Para vazão média da população final:

$$Q_{\text{méd}} = 5,6808 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = 3 \text{ m}^2$$

$$Va = 1,89 \text{ m/h}$$

Para vazão máxima da população final:

$$Q_{\text{máx}} = 10,224 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = 3 \text{ m}^2$$

$$Va = 3,41 \text{ m/h}$$

Dimensionamento do compartimento de decantação

Largura do compartimento de decantação: $Bd = Ba - Bg$

$$Ba = 2 \text{ m}$$

$$Bg = 0,2 \text{ m}$$

$$Bd = 1,8 \text{ m}$$

Área total de decantador: $Ad = Bd \times La$

$$Bd = 1,8 \text{ m}$$

$$La = 5 \text{ m}$$

$$Ad = 9 \text{ m}^2$$

Verificação das taxas de aplicação superficiais nos decantadores: $V_d = \frac{Q}{A_d}$

Para vazão média da população final:

$$Q_{\text{méd}} = 5,6808 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Ad = 9 \text{ m}^2$$

$$V_d = 0,63 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$$

Para vazão máxima da população final:

$$Q_{\text{máx}} = 10,224 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Ad = 9 \text{ m}^2$$

$$V_d = 1,13 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$$

Produção de lodo no reator: $Plodo = Y \times DQO_{\text{apl}}$

$$Y = 0,15 \text{ kg SST/kg DQO afluente}$$

$$DQO_{\text{apl}} = 102,2544 \text{ kg DQO/dia}$$

$$Plodo = 15,34 \text{ kg SST/dia}$$

Volume gerado de lodo: $V_{\text{lodo}} = \frac{Plodo}{\gamma \times C}$

$$Plodo = 138,91 \text{ kg SST/dia}$$

$$\gamma = 1030 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 0,04$$

$$V_{\text{lodo}} = 0,376 \text{ m}^3/\text{dia}$$

3.5- LEITO DE SECAGEM DE LODO

Volume de lodo gerado por ciclo: $V = V_{\text{dia}} \times n^{\circ}$ de dias do ciclo

$$V_{\text{dia}} = 0,376 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$n^{\circ} \text{ de dias do ciclo} = 15 \text{ dias}$$

$$V = 5,64 \text{ m}^3$$

Área de secagem: $A = V/h$

$$V = 5,64 \text{ m}^3$$

$$h = 0,3 \text{ m}$$

$$A = 18,8 \text{ m}^2 = 20 \text{ m}^2$$

Taxa de aplicação resultante: $T_{\text{ls}} = P_{\text{lodo}} \times n^{\circ}$ de dias/A

$$P_{\text{lodo}} = 15,34 \text{ kg SST}/\text{dia}$$

$$n^{\circ} \text{ de dias} = 15 \text{ dias}$$

$$A = 20 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{ls}} = 11,51 \text{ kg SST}/\text{m}^2$$

Área de cada unidade: $A_u = A_t/n^{\circ}$ de unidades

$$A_t = 20 \text{ m}^2$$

$$n^{\circ} \text{ de unidades} = 2 \text{ unidades}$$

$$A_u = 10 \text{ m}^2$$

3.6- DIMENSIONAMENTO DAS LAGOAS DE POLIMENTO

Temperatura do líquido no mês mais frio: $T_{\text{lagoa}} = 10,443 + 0,688 \times T_{\text{ar}}$

$$T_{\text{ar}} = 21,8^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{lagoa}} = 25,44 = 25^{\circ}\text{C}$$

Coliformes no efluente do reator UASB: $N = N_0 \times \left(\frac{1-E}{100}\right)$

$$N_0 = 10^7 \text{ CF}/100 \text{ mL}$$

$$E = 80 \%$$

$$N = 2 \times 10^6 \text{ CF}/100 \text{ mL}$$

Ovos de helmintos no efluente do reator UASB: $C_C = C_0 \times \left(1 - \frac{E}{100}\right)$

$$C_0 = 200 \text{ ovos}/\text{L}$$

$$E = 60 \%$$

$$C_C = 80 \text{ ovos}/\text{l}$$

Cálculo das lagoas

Coefficiente de decaimento bacteriano: $K_{\text{bhT}} = K_b/H * \theta^{(T-20)}$

$$K_b = 1,36 \text{ dia}^{-1}$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$\theta = 1,07$$

$$T = 25^{\circ}\text{C}$$

$$K_{\text{bhT}} = 2,0 \text{ dia}^{-1}$$

Tempo de detenção hidráulica necessário para fluxo pistão:

$$\frac{N_e}{N_a} = \exp(-K_b \times \Theta)$$

$$\frac{N_e}{N_a} = 10^{-4}$$

Substituindo, temos:

$$\ln(10^{-4}) = -K_b \times \Theta$$

$$-4 \times \ln(10) = -K_b \times \Theta$$

$$\Theta = 2,3 \times 4 / K_b$$

$$K_b = 2,0 \text{ dia}^{-1}$$

$$\Theta_{\min} = 4,6 \text{ dias}$$

Tempo de detenção para lagoa com chicanas:

$$t = \text{fator de correção} \times \Theta_{\min}$$

$$\text{fator de correção} = 2$$

$$\Theta_{\min} = 4,6 \text{ dias}$$

$$t = 9,2 \text{ dias}$$

Número de lagoas:
$$\frac{N_e}{N_a} = \frac{1}{\left(1 + \frac{K_b \Theta_h}{M}\right)^M}$$

$$\frac{N_e}{N_a} = 0,0001$$

$$K_b = 2,0 \text{ dia}^{-1}$$

$$\Theta = 9,2 \text{ dias}$$

$$M = 7 \text{ lagoas}$$

Eficiência na remoção de ovos de helmintos em cada lagoa:

$$E = 100 \times \left[1 - \left(0,41 \times e^{(-0,49 \times t + 0,0085 \times t^2)}\right)\right]$$

$$t = 1,3 \text{ dia}$$

$$E = 78,00\%$$

Eficiência de remoção das 7 lagoas:

$$E_n = 1 - (1 - E_1)^n$$

$$n = 7$$

$$E_1 = 0,7800$$

$$E_7 = 0,9999 = 99,99\%$$

Concentração de ovos de helmintos no efluente da última lagoa:

$$C_c = C_0 \times \left(1 - \frac{E}{100}\right)$$

$$C_0 = 80 \text{ ovos/L}$$

$$E_7 = 0,9999$$

$$C_c = 0,008 \text{ ovos/L}$$

Eficiência global na remoção de ovos de helmintos (UASB + Lagoas de polimento):

$$E (\text{sistema}) = \frac{C_i - C_f}{C_i}$$

$$C_i = 200 \text{ ovos/L}$$

$$C_f = 0,008 \text{ ovos/L}$$

$$E = 0,9999 = 99,99\%$$

Dimensões da lagoa:

Volume total das lagoas: $V_{\text{total}} = Q_{\text{méd}} \times \text{TDH}$

$$Q_{\text{méd}} = 136,3392 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$\text{TDH} = 9,2 \text{ dias}$$

$$V_{\text{total}} = 1254,3206 \text{ m}^3$$

Área total das lagoas: $A_{\text{total}} = V_{\text{total}}/H$

$$V_{\text{total}} = 1254,3206 \text{ m}^3$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$A_{\text{total}} = 1254,3206 \text{ m}^2$$

Dimensões de cada lagoa:

Área unitária: $A_{\text{lagoa}} = \frac{A_{\text{total}}}{7\text{lagoas}}$

$$A_{\text{total}} = 1254,3206 \text{ m}^2$$

$$\text{Área unitária: } 179,1886 \text{ m}^2$$

Relação entre comprimento e largura:

Foi adotada uma relação ($L/B = 12$)

Comprimento (L):

$$A = B \times L$$

$$179,1886 \text{ m}^2 = \frac{L}{12} \times L$$

$$L = 46,3709 \text{ m}$$

$$\text{Adotado valor de } L = 46,37 \text{ m}$$

Largura (B):

$$B = A/L$$

$$B = 179,1886 \text{ m}^2/46,37\text{m}$$

$$B = 3,8643 \text{ m}$$

$$\text{Adotado valor de } B = 3,87\text{m}$$

Comprimento das chicanas:

$$L_c = 0,9 \times L(\text{lagoa})$$

$$L(\text{lagoa}) = 46,37 \text{ m}$$

$$L_c = 41,73 \text{ m}$$