

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JULIANA BRANCO  
VALÉRIA DE ALMEIDA**

**PROPOSTA DE TRATAMENTO E REÚSO DO ESGOTO SANITÁRIO DO  
CAMPUS UVARANAS DA UEPG**

**PONTA GROSSA**

**2022**

**JULIANA BRANCO  
VALÉRIA DE ALMEIDA**

**PROPOSTA DE TRATAMENTO E REÚSO DO ESGOTO SANITÁRIO DO  
CAMPUS UVARANAS DA UEPG**

Trabalho apresentado à disciplina de OTCC como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Civil, da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Magdalena Ribas Döll

**PONTA GROSSA**

**2022**

**JULIANA BRANCO  
VALÉRIA DE ALMEIDA**

**PROPOSTA DE TRATAMENTO E REÚSO DO ESGOTO SANITÁRIO  
DO CAMPUS UVARANAS DA UEPG**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Magdalena Ribas Döll  
Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

---

Prof. Dr. Guilherme Araujo Vuitik  
Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

---

Prof<sup>a</sup>. M. Sc. Marina Gadens Berton Zaika  
Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Ponta Grossa, 18 de abril de 2022

## **AGRADECIMENTOS**

A nossos familiares, Jeferson, Sônia, Helena, Janes e Felipe, por todo o apoio, dedicação, carinho e por nos inspirarem a sermos sempre melhores. Agradecemos por serem a fundação inabalável que sustenta nossas vidas e nos torna capazes de tocar as estrelas.

A todos os professores, que pavimentaram nossos caminhos rumo ao conhecimento e à uma vida melhor, tornando este trabalho possível. À professora Maria Magdalena Ribas Döll, nossa orientadora, que nos guiou e acolheu de forma tão solícita e inspiradora. Especialmente aos professores Guilherme Araújo Vuitik e Marina Gadens Berton Zaika, pela disponibilidade e considerações tão valiosas, e também aos professores Elias Pereira, Andrea Tedesco e Emmanuel Ribeiro Lautenshläger, por toda a ajuda prestada.

Ao Chefe do Setor de Hidráulica da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Amadeus de Moraes, pelo empenho imensurável em amparo às nossas visitas ao Campus.

A nossos colegas, em especial Edson Siqueira Vallis, Gabriel Vinícius Silveira e Matheus Cardoso, por disporem de seu tempo para nos auxiliar em nossa pesquisa.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa, principalmente aos setores Pró-Reitoria de Planejamento (PROPLAN) e Pró-Reitoria de Recursos Humanos (PRORH), e também a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), pelas informações disponibilizadas.

## RESUMO

O gerenciamento do esgoto é essencial do ponto de vista sanitário, visto que, quando negligenciado pelas unidades geradoras, provoca impactos ambientais e compromete a saúde pública. Tendo em vista o papel das universidades como promotoras do desenvolvimento sustentável, às instituições cabe a responsabilidade de garantir que o esgoto produzido por suas unidades esteja adequado para o lançamento junto à rede coletora pública ou que possua uma destinação final condizente com o ponto de vista ecológico. Nesse cenário, a implementação de um sistema de tratamento reflete a preocupação da instituição em incorporar práticas ecologicamente responsáveis, bem como levanta a questão ambiental e econômica de aproveitamento do efluente e lodo tratados. Diante disso, o presente trabalho visa propor um sistema de tratamento descentralizado para o Campus Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa e avaliar a possibilidade de reúso do efluente e lodo tratados para outras atividades dentro da instituição. Nesse contexto, a metodologia deste trabalho consistiu no estudo de aspectos pertinentes ao processo de dimensionamento, por meio do levantamento e análise de estudos de caracterização do esgoto gerado em instituições de ensino superior, pela identificação da rede coletora do Campus Uvaranas e pela estimativa da população que contribui para o sistema. Por meio do dimensionamento realizado, de acordo com as diretrizes e recomendações de normas e da literatura, os resultados obtidos demonstram a possibilidade operacional de uma Estação de Tratamento de Esgoto projetada para atender uma parcela da área do Campus, a um horizonte de projeto de 20 anos, com espaço físico viável para implementação, composto por unidades de grades, desarenador, calha Parshall, reator UASB e lagoa facultativa. O lodo gerado pelo reator UASB pode ser direcionado ao reúso agrícola após desinfecção com cal e tempo de armazenamento de dois meses, enquanto o efluente da lagoa facultativa pode ser utilizado para a irrigação de cereais, culturas industriais, forrageiras, pastagens e árvores.

**Palavras-chave:** Esgoto de campus universitário. Sistema descentralizado de tratamento. Reúso agrícola de efluente tratado.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente em escala piloto da UTFPR .....	27
Figura 2 – Órgãos acessórios mais utilizados .....	29
Figura 3 – Desarenador de fluxo horizontal.....	37
Figura 4 – Sistema de tratamento preliminar de esgoto .....	38
Figura 5 – Tanques de floculação da ETA Miringuava, PR.....	38
Figura 6 – Lagoas de tratamento de Brazlândia, DF .....	41
Figura 7 – Sistema de lodos ativados .....	41
Figura 8 – Filtro biológico por gotejamento ( <i>trickling filter</i> ) .....	43
Figura 9 – Sistema de biodiscos .....	44
Figura 10 – Suporte plástico de baixa densidade.....	44
Figura 11 – Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB).....	45
Figura 12 – Tratamento terciário por radiação ultravioleta .....	47
Figura 13 – Sistema de infiltração no solo .....	48
Figura 14 – Sistema de alagados construídos .....	49
Figura 15 – Planta arquitetônica do Campus Uvaranas da UEPG .....	61
Figura 16 – Curvas de nível do Campus Uvaranas da UEPG.....	62
Figura 17 – Traçado da rede coletora de esgoto atual do Campus Uvaranas .....	82
Figura 18 – Áreas definidas para o sistema de tratamento de esgoto e reúso do efluente .....	83
Figura 19 – Comportamento da curva de crescimento populacional geométrico .....	86
Figura 20 – Ilustração esquemática do sistema de tratamento proposto .....	91

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Publicações agrupadas por localidade .....	75
Gráfico 2 – Comparação entre os valores de pH das publicações nacionais e internacionais .....	78
Gráfico 3 – Comparação entre os valores de DBO e DQO das publicações nacionais e internacionais .....	78
Gráfico 4 - Comparação entre os valores de nitrogênio das publicações nacionais e internacionais .....	79
Gráfico 5 – Comparação entre os valores de fósforo das publicações nacionais e internacionais .....	80
Gráfico 6 – Comparação entre os valores de ST e SST das publicações nacionais e internacionais .....	81
Gráfico 7 – Crescimento populacional do Campus Uvaranas no período de 2002 a 2021 .....	85
Gráfico 8 – Projeção geométrica da população do Campus Uvaranas para o ano de 2041 .....	87

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Níveis de tratamento de esgoto.....	35
Quadro 2 – Dados de referência das publicações analisadas .....	69
Quadro 3 – Dimensionamento do tratamento preliminar .....	88
Quadro 4 – Dimensionamento do reator UASB de formato retangular .....	89
Quadro 5 – Dimensionamento da lagoa facultativa.....	90

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Metais de importância em gestão de esgoto sanitário.....	23
Tabela 2 – Características físico-químicas do esgoto sanitário bruto para os autores Von Sperling (2007), Metcalf & Eddy (2016) e Jordão e Pessoa (2011).....	25
Tabela 3 – População ativa de alunos e servidores do Campus Uvaranas da UEPG, CAIC e CAAR* .....	63
Tabela 4 - Levantamento de docentes e vagas dos cursos presenciais de graduação ofertados no Campus Uvaranas em 2021 (continua).....	64
Tabela 5 - Levantamento de docentes e vagas dos cursos de pós-graduação ofertados no Campus Uvaranas em 2021.....	66
Tabela 6 – Parâmetros de qualidade do esgoto bruto extraídos das publicações nacionais e internacionais .....	76
Tabela 7 – Estatística aplicada aos parâmetros extraídos das publicações nacionais e internacionais .....	77
Tabela 8 – Consumo de água mensal do Campus Uvaranas da UEPG .....	87
Tabela 9 – Vazões de esgoto atuais e de projeto .....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACTV	Academia de Ciência e Tecnologia do Vietnã (em inglês: <i>Vietnam Academy of Science and Technology</i> )
ASSEPLAN	Assessoria de Planejamento
CAAR	Colégio Agrícola Estadual Augusto Ribas
CAIC	Centro de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Caixa de Passagem
CPS	Comissão Permanente de Seleção
CRRQ	Central de Reagentes e Resíduos Químicos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
HU	Hospital Universitário Regional dos Campos Gerais
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada (em inglês: <i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i> )
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OMS	Organização Mundial da Saúde
PDI	Plano de Desenvolvimento Institucional
pH	Potencial Hidrogeniônico
PI	Poço de Inspeção

PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PRECAM	Prefeitura do Campus
PROPLAN	Pró-Reitoria de Planejamento
PRORH	Pró-Reitoria de Recursos Humanos
PV	Poço de Visita
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SECATE	Setor de Engenharias, Ciências Agrárias e de Tecnologia
SEBISA	Setor de Ciências Biológicas e da Saúde
SECIHLA	Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SEXATAS	Setor de Ciências Exatas
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
TIL	Tubo de Inspeção e Limpeza
TL	Terminal de Limpeza
UASB	Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (em inglês: <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> )
UATXA	Universidade de Arquitetura e Tecnologia de Xi'an (em inglês: <i>Xi'an University of Architecture and Technology</i> )
UDT	Universidade Democritus de Thrace (em inglês: <i>Democritus University of Thrace</i> )
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa

UESA	Universidade Estadual de Surabaya (em inglês: <i>State University of Surabaya</i> )
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
UFPeI	Universidade Federal de Pelotas
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UGL	Unidade de Gerenciamento de Lodo
ULPGC	Universidade de Las Palmas de Gran Canaria (em inglês: <i>University of Las Palmas de Gran Canaria</i> )
UNCK	Universidade Nacional de Cheng-Kung (em inglês: <i>National Cheng-Kung University</i> )
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas
UNISC	Universidade de Santa Cruz do Sul
URS	Universidade da República de Sivas (em inglês: <i>Sivas Cumhuriyet University</i> )
USD	Universidade Suleyman Demirel (em inglês: <i>Süleyman Demirel University</i> )
USP	Universidade de São Paulo
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
3.1. PARÂMETROS DE QUALIDADE DO ESGOTO .....	18
3.1.1. Potencial hidrogeniônico (pH) .....	18
3.1.2. Matéria orgânica.....	18
3.1.3. Nitrogênio.....	19
3.1.4. Fósforo .....	20
3.1.5. Sólidos .....	21
3.1.6. Metais potencialmente tóxicos .....	22
3.2. DEFINIÇÕES E TERMINOLOGIAS .....	24
3.3. CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO GERADO EM UNIVERSIDADES .....	24
3.4. SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	27
3.4.1. Estudos preliminares.....	27
3.4.2. Componentes de um sistema de esgotamento sanitário.....	28
3.4.3. Traçado da rede coletora .....	31
3.4.4. Vazão do esgoto sanitário.....	32
3.4.5. Critérios de projeto da rede coletora .....	32
3.5. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	33
3.5.1. Sistemas centralizados e descentralizados de tratamento.....	33
3.5.2. Níveis de tratamento de esgoto .....	34
3.5.3. Tratamento preliminar .....	36
3.5.4. Tratamento primário.....	38
3.5.5. Tratamento secundário .....	39

3.5.5.1.	Lagoas de estabilização .....	40
3.5.5.2.	Lodos ativados.....	41
3.5.5.3.	Sistemas aeróbios de biofilme .....	42
3.5.5.4.	Reator anaeróbio de manta de lodo (UASB).....	45
3.5.6.	Tratamento terciário .....	46
3.6.	MÉTODOS ALTERNATIVOS DE MANEJO DO ESGOTO.....	47
3.6.1.	Sistemas de infiltração .....	48
3.6.2.	<i>Wetlands</i> construídos.....	49
3.7.	TRATAMENTO E DESCARTE DO LODO .....	51
3.8.	REÚSO DE EFLUENTE LÍQUIDO TRATADO PARA IRRIGAÇÃO.....	52
3.9.	UTILIZAÇÃO DE BIODOSSÍLIDOS NA AGRICULTURA .....	55
3.10.	OUTRAS UTILIZAÇÕES DO LODO DO TRATAMENTO DE ESGOTO .....	58
3.10.1.	Fonte energética .....	58
3.10.2.	Cinzas de lodo .....	59
<b>4.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>60</b>
4.1.	ÁREA DE ESTUDO.....	60
4.2.	DADOS DE POPULAÇÃO.....	62
4.3.	SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EXISTENTE .....	67
4.4.	ANÁLISE DE DADOS EM ESTUDOS SIMILARES .....	68
4.5.	PROPOSTA DE TRATAMENTO DO ESGOTO E REÚSO .....	70
4.6.	DIRETRIZES E RECOMENDAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO .....	70
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>75</b>
5.1.	ANÁLISE DE DADOS EM ESTUDOS SIMILARES .....	75
5.2.	SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO .....	81
5.2.1.	Área de implantação .....	81
5.2.2.	Escolha do método de tratamento de esgoto.....	83
5.2.3.	Horizonte de projeto, estimativa populacional e de vazões do esgoto .....	84

5.2.4.	Tratamento preliminar .....	88
5.2.5.	Reator UASB e leito de secagem.....	89
5.2.6.	Lagoa facultativa .....	90
5.2.7.	Eficiência do sistema de tratamento.....	91
5.3.	REÚSO DO LODO E EFLUENTE TRATADOS.....	91
5.3.1.	Reúso do lodo proveniente do reator UASB .....	92
5.3.2.	Reúso do efluente proveniente da lagoa facultativa.....	92
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>94</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS .....</b>	<b>95</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>96</b>
	<b>APENDICE I – CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO DA ETE .....</b>	<b>117</b>
	<b>ANEXO I – REDE COLETORA DE ESGOTO DO CAMPUS UVARANAS .....</b>	<b>128</b>
	<b>ANEXO II – IMAGENS DOS POÇOS DE VISITA E CAIXAS DE PASSAGEM DA REDE COLETORA DE ESGOTO DO CAMPUS UVARANAS .....</b>	<b>129</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O tratamento de esgotos configura uma necessidade básica de higiene e saúde humana, bem como de responsabilidade ambiental. É vital que cada pessoa, empreendimento e instituição colabore, na responsabilidade que lhe cabe, na manutenção da efetividade do sistema.

As instituições de ensino superior não apenas possuem o dever de transmitir conhecimento e fomentar o desenvolvimento tecnológico, mas também o de preparar as futuras gerações para construir uma sociedade sustentável e justa. Dessa forma, é fundamental que essas organizações invistam na conscientização ecológica dos indivíduos envolvidos – atingindo professores, funcionários e alunos – e no emprego de práticas que busquem amenizar os impactos ambientais de suas atividades. (TAUCHEN; BRANDLI, 2006).

A Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, estabelece no Artigo 14 § 1º que “é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade” (BRASIL, 1981, p. 6). Desde que seja possível estabelecer a relação entre o dano ambiental e seu causador, a responsabilidade objetiva dispensa a prática de um ato ilícito. (NOLASCO; TAVARES; BENDASSOLLI, 2006).

Nesse contexto, a instituição Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) possui a responsabilidade de garantir que o esgoto produzido por suas unidades condiga com o perfil adequado de lançamento para a rede pública, como é feito atualmente. Conforme a NBR 9800 o esgoto liberado para a rede deve estar isento de substâncias que interfiram nos processos biológicos de tratamento de esgoto; que causem danos ao corpo receptor; que obstruam a rede coletora; que sejam capazes de causar prejuízo público ou risco à vida; que sejam capazes de provocar incêndio, explosão ou outros danos ao sistema de esgotos. (ABNT, 1987).

Levando em consideração a responsabilidade ambiental e o papel das universidades para o desenvolvimento sustentável da sociedade, a implementação de um sistema de tratamento próprio para o esgoto gerado contribuiria de maneira prática e didática nesse aspecto. É um meio de gerar oportunidades de pesquisa e extensão, promover a educação ambiental a partir do Campus, demonstrar a preocupação da

instituição em incorporar práticas ecologicamente responsáveis e aproveitar a matéria orgânica dos resíduos para fertirrigar culturas, por exemplo, arbóreas para geração de renda para o Campus. Por fim, um sistema de tratamento descentralizado contribui para o alívio operacional da rede coletora de esgoto, interessante no contexto de crescimento populacional urbano que solicita cada vez mais a rede pública.

Tendo em vista o contexto de sustentabilidade e consciência ambiental, o uso do efluente e lodo tratados para novos fins configura um avanço necessário na área de Saneamento da Engenharia Civil, abordando aspectos como economia de água potável para fins de consumo direto, por meio do emprego de água de reúso para atividades que assim permitirem. A utilização agrícola do lodo também configura um aspecto vantajoso, de interesse não só ambiental, como sanitário e econômico.

Diante disso, o presente trabalho visa elaborar um sistema de tratamento de esgoto descentralizado para suprir a demanda da instituição e estudar o possível aproveitamento do efluente e lodo tratados para reúso agrícola, como alternativa de disposição final.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho era elaborar um sistema de tratamento descentralizado para o Campus Uvaranas da UEPG e avaliar a possibilidade de reúso do lodo e efluente tratados para atividades agrícolas.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os resultados de caracterização do esgoto sanitário gerado em campi de universidades no âmbito nacional e internacional;
- Propor e dimensionar um sistema de tratamento descentralizado, baseado nas operações unitárias dos sistemas convencionais (preliminar, primário, secundário e terciário) para esgoto sanitário;
- Avaliar a possibilidade de reúso do lodo e efluente tratados para fins agrícolas dentro do Campus Uvaranas.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. PARÂMETROS DE QUALIDADE DO ESGOTO

##### 3.1.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH indica o potencial ácido ou básico de substâncias através de uma escala logarítmica. Em esgotos, o parâmetro interfere tanto na etapa de tratamento quanto no descarte em corpos hídricos, sendo o pH próximo da neutralidade a condição mais estável. O monitoramento do parâmetro é essencial no controle operacional de estações de tratamento, principalmente na digestão anaeróbia, e nos processos oxidativos. (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Nos reatores anaeróbios, a instabilidade do meio pode ser acusada pela acidificação do mesmo, por exemplo, significando que as arqueobactérias metanogênicas não estão utilizando os ácidos orgânicos voláteis produzidos pelas bactérias acidificadoras. (CETESB, 2018).

Quanto ao descarte do efluente em corpos hídricos, o pH influencia na fisiologia de espécies aquáticas como demonstrado no estudo realizado em Goiás com alevinos da espécie *Piaractus mesopotamicus*, que apresentaram taxa de sobrevivência em pH 5,0 de 73,3% e em pH 9,0 de 13,3%, além de demonstrarem menor taxa de crescimento devido ao custo energético para a manutenção do pH interno. (NASCIMENTO; BOIJINK; PÁDUA, 2007). O pH também exerce influência no equilíbrio da amônia, entre as suas formas iônica ( $\text{NH}_4^+$ ) e a molecular gasosa ( $\text{NH}_3$ ),

##### 3.1.2. Matéria orgânica

Compostos orgânicos são usualmente constituídos por carbono, hidrogênio e oxigênio, e ligados a outros elementos como nitrogênio, fósforo e enxofre. Em grandes quantidades, a matéria orgânica pode ser mensurada diretamente pela medição de carbono orgânico total (COT) ou indiretamente pelos parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). (METCALF & EDDY, 2016).

O teste de COT utiliza métodos para converter carbono orgânico a dióxido de carbono, o qual pode ser medido por um analisador de raios infravermelhos ou outros meios. Para garantir a medição de apenas carbono orgânico, formas inorgânicas devem ser retiradas antes da análise ou corrigidas posteriormente. (METCALF & EDDY, 2016; ECKENFELDER, 1980 citado por VON SPERLING, 2007b).

A DBO corresponde ao oxigênio consumido pelos microrganismos durante a degradação da matéria orgânica. A medição é considerada ineficiente na presença de produtos químicos, produtos tóxicos e materiais não-biodegradáveis, devido à inibição da ação bacteriana. (METCALF & EDDY, 2016).

A DBO<sub>5,20</sub> consiste na medição do oxigênio dissolvido em dois momentos: no início do teste e após um período de incubação de 5 dias a 20 °C. A medição após 20 dias corresponde à DBO última. Sendo a taxa de oxidação proporcional à quantidade de matéria orgânica remanescente, considera-se que após 5 dias a taxa varia de 60% a 70% e após 20 dias atinge 95 a 99%. (VON SPERLING, 2007b).

A DQO equivale ao oxigênio consumido quimicamente pelo processo de oxidação da matéria orgânica, utilizando um agente químico e catalisador. Comparada à DBO, uma das maiores vantagens do teste de DQO é a redução do tempo de espera para 2 horas, ou minutos em aparelhos específicos. No entanto, o poder de oxidação do agente químico é superior ao dos microrganismos, resultando em valores de degradação superestimados. Por esse motivo, é preferível para a análise de despejos industriais, que em geral são menos facilmente biodegradáveis. (VON SPERLING, 2007b; JORDÃO; PESSOA, 2011).

Quanto ao lançamento em corpos d'água, o excesso de matéria orgânica promove a proliferação de microrganismos, que por sua vez consomem o oxigênio no meio, extinguindo formas de vida aquáticas. Isso ocorre devido aos processos de estabilização da matéria orgânica pelas bactérias, que utilizam o oxigênio dissolvido para sua respiração. (CETESB, 2018).

### 3.1.3. Nitrogênio

Segundo Metcalf & Eddy (2016), o nitrogênio pode ser proveniente da fixação atmosférica, do nitrato de sódio e de compostos nitrogenados de origem animal ou vegetal. No esgoto bruto, grande parte do nitrogênio encontra-se combinado com

matéria protéica e ureia, a qual é rapidamente decomposta pelas bactérias para sua forma amoniacal.

As formas do nitrogênio encontradas em esgotos sanitários são: amônia livre ( $\text{NH}_3$ ), íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), íon nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), íon nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e frações orgânicas correspondentes a grupamentos de amina. O nitrogênio total (NT) é composto por todas as formas citadas anteriormente. (PROSAB, 2009).

O nitrogênio total Kjeldahl (NTK) equivale ao somatório da fração orgânica, amônia e íon amônio presentes na amostra. Usualmente, os compostos nitrito e nitrato correspondem a uma fração pequena no esgoto sanitário. (VON SPERLING, 2007b).

Concentrações elevadas de nitrogênio no meio aquático podem levar a fenômenos prejudiciais como a eutrofização, redução de oxigênio dissolvido na água pela oxidação da amônia, morte de peixes pela toxicidade da amônia livre e doenças em humanos após a ingestão, como a meta-hemoglobinemia e a formação de compostos cancerígenos. (PROSAB, 2009).

#### 3.1.4. Fósforo

O fósforo pode ser encontrado em esgotos sanitários na forma inorgânica, proveniente de detergentes e outros produtos de limpeza, e na forma orgânica, originado fisiologicamente. A fração solúvel é composta principalmente de ortofosfatos e polifosfatos e uma fração menor de fosfato orgânico. A fração particulada apresenta-se totalmente na forma orgânica. No esgoto sanitário típico, até 50% do fósforo total pode ser proveniente da utilização de detergentes. (VON SPERLING, 2007b).

As formas reativas de fósforo reagem a testes colorimétricos, hidrólise ou digestão oxidativa, enquanto formas não reativas incluem as hidrolisadas por ácido e formas digeríveis. Apesar da variedade de processos biológicos e químicos para a remoção de nutrientes, o fósforo na forma solúvel não reativa ainda é considerado de difícil remoção. (METCALF & EDDY, 2016).

Assim como o nitrogênio, quantidades elevadas de fósforo nos corpos hídricos podem promover o crescimento descontrolado de algas e plantas aquáticas, fenômeno denominado eutrofização. (PROSAB, 2009).

### 3.1.5. Sólidos

Os sólidos encontrados em esgotos são inicialmente separados pelo tamanho das partículas em suspensos e dissolvidos. A classificação advém do processo de filtração da amostra, onde a fração suspensa corresponde aos sólidos retidos e a fração dissolvida aos filtrados. A fração intermediária, representada pelos coloides, é usualmente classificada como dissolvida devido à dificuldade de identificação pelo processo de filtração. (VON SPERLING, 2007b).

Segundo Metcalf & Eddy (2016), o filtro de fibra de vidro Whatman é o filtro mais comumente utilizado, com tamanho nominal de poro de 1,58  $\mu\text{m}$ . Para Jordão e Pessoa (2011), a membrana usual possui tamanho do poro de 1,2  $\mu\text{m}$ . Conforme o “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” (APHA, 2017), o filtro empregado deve possuir o tamanho nominal de poro igual ou inferior a 2  $\mu\text{m}$ .

De maneira geral, Von Sperling (2007b) apresenta a distribuição de partículas entre: sólidos dissolvidos abaixo de  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$ , coloides entre  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  e  $10^0$   $\mu\text{m}$ , e sólidos suspensos acima de  $10^0$   $\mu\text{m}$ .

A exposição da amostra a altas temperaturas volatiliza a fração orgânica, enquanto a fração inorgânica permanece, sendo denominada fixa. Os sólidos sedimentáveis são determinados após o período de 1 hora em repouso em um cone de Imhoff de 1 litro. Usualmente, cerca de 60% de sólidos suspensos em um esgoto municipal são sedimentáveis. (METCALF & EDDY, 2016).

Após delinear cada fração sólida, é possível estabelecer relações para auxiliar no trabalho com o esgoto. A relação entre os sólidos suspensos voláteis (SSV) por sólidos suspensos totais (SST) está associada à presença de compostos orgânicos na matéria particulada suspensa, por exemplo. No esgoto bruto, a relação apresenta os valores aproximados de 0,70 a 0,85. Em lodos ativados e reatores aeróbios de biofilme, a fração de SSV representa a parcela orgânica da biomassa, a qual é utilizada para expressar a concentração de microrganismos no meio. (VON SPERLING, 2007a).

### 3.1.6. Metais potencialmente tóxicos

Os elementos metálicos são definidos quimicamente como “elementos que conduzem eletricidade, têm brilho metálico, são maleáveis e dúcteis, formam cátions e óxidos básicos.” (ATKINS; JONES, 1997 citado por DUFFUS, 2002, p. 794).

Os metais potencialmente tóxicos à organismos vivos são frequentemente associados ao termo “metais pesados”. Segundo Pourret e Hursthouse (2019), a expressão é utilizada há décadas no cenário científico, com predominância em ciências ambientais e particularmente no estudo de impactos da poluição, associando o significado à contaminação e toxicidade.

No entanto, não existe um consenso na comunidade científica quanto à definição de “metais pesados”. Duffus (2002) reúne, em seu relatório técnico à União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), 38 definições químicas para o termo, que variam conforme os critérios de massa específica, massa atômica, número atômico, toxicidade e outras propriedades químicas, como a capacidade de formar sabões.

Dessa forma, será adotado o termo “metais potencialmente tóxicos” para aqueles elementos que prejudicam ou inibem a ação de organismos vivos, inclusive aqueles utilizados pelo tratamento biológico de esgoto.

Nesse contexto, o critério de toxicidade depende das propriedades químicas do metal, do composto no qual o elemento metálico está inserido e as características biológicas dos organismos em risco. Baird e Cann (2011) relatam que certos metais – como mercúrio, chumbo, cádmio, cromo e arsênio – são especialmente tóxicos em seres humanos na forma de cátion ou ligado a cadeias curtas de carbono. O radical sulfidrila (–SH) presente nas enzimas é naturalmente assimilado à cátions metálicos, afetando a estrutura proteica e, conseqüentemente, o comportamento metabólico e a saúde do indivíduo.

Quanto à presença de metais no esgoto sanitário, existem concentrações mínimas que são necessárias para garantir o crescimento dos microrganismos no tratamento biológico. Porém, quantidades excessivas retardam, inibem ou cessam o crescimento pela morte de microrganismos. A avaliação de metais para o uso agrícola

do efluente e lodo gerados também é necessária, a fim de evitar a bioacumulação. (METCALF & EDDY, 2016). A Tabela 1 exhibe os metais relevantes nesse contexto.

Tabela 1 – Metais de importância em gestão de esgoto sanitário

Metal	Símbolo	Necessários para o crescimento biológico		Inibição de organismos heterotróficos (mg/L)	Para o uso de efluente no solo <sup>a</sup>	Para o uso de biossólidos
		Macro	Micro <sup>b</sup>			
Arsênio	As			0,05		✓
Cádmio	Cd			1,0		✓
Cálcio	Ca	✓			✓	
Cromo	Cr		✓	10 <sup>c</sup> ; 1 <sup>d</sup>		
Cobalto	Co		✓			
Cobre	Cu		✓	1,0		✓
Ferro	Fe	✓				
Chumbo	Pb		✓	0,1		✓
Magnésio	Mg	✓	✓		✓	
Manganês	Mn		✓			
Mercúrio	Hg			0,1		✓
Molibdênio	Mo		✓			✓
Níquel	Ni		✓	1,0		✓
Potássio	K	✓				
Selênio	Se		✓			✓
Sódio	Na	✓			✓	
Tungstênio	W		✓			
Vanádio	V		✓			
Zinco	Zn		✓	1,0		✓

Fonte: METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. p. 112.

Notas: <sup>a</sup> Razão de adsorção de sódio (RAS)

<sup>b</sup> Comumente identificados como elementos de traço necessários para crescimento biológico

<sup>c</sup> Cromo total

<sup>d</sup> Cromo hexavalente

Em processos anaeróbios de tratamento, é pertinente atentar que a presença de sulfetos dissolvidos, gerados no processo em questão, minimizam o efeito de cátions metálicos presentes no esgoto, uma vez que serão formados sulfetos metálicos e o precipitado resultante é insolúvel. (GRADY, 1999).

### 3.2. DEFINIÇÕES E TERMINOLOGIAS

A NBR 9648 define como esgoto sanitário o “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária” (ABNT, 1987, p. 1), desde que o esgoto industrial respeite os critérios de lançamento estabelecidos.

O esgoto doméstico – advindo de residências, instituições e comércio – é composto majoritariamente por água (99,9%), enquanto a fração restante engloba sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Consequentemente, as particularidades de cada esgoto estão vinculadas ao uso à qual a água do local foi submetida. (VON SPERLING, 2007b).

Admite-se para o presente trabalho o termo esgoto sanitário ou esgoto bruto para o despejo líquido de campi universitários que são encaminhados à rede coletora. O termo efluente refere-se ao esgoto tratado, resultante após a passagem pelo sistema de tratamento.

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO GERADO EM UNIVERSIDADES

Os principais parâmetros para avaliação do esgoto sanitário, segundo Von Sperling (2007b), são: sólidos, indicadores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e indicadores de contaminação fecal. A Tabela 2 apresenta os valores para diferentes parâmetros do esgoto sanitário bruto e permite a comparação entre autores Von Sperling (2007b), Metcalf & Eddy (2016) e Jordão e Pessoa (2011).

Segundo Tauchen e Brandli (2006, p. 505), faculdades e universidades operam de maneira similar a pequenos núcleos urbanos, compostos por "atividades de ensino, pesquisa, extensão e atividades referentes à sua operação por meio de bares, restaurantes, alojamentos, centro de conveniência, entre outras facilidades."

O esgoto gerado em instituições de ensino superior pode ser proveniente de diversas atividades, abrangendo desde descargas de banheiros até o possível descarte inadequado de resíduos por laboratórios. Quando não há uma separação preliminar e criteriosa, o despejo incorreto de resíduos na pia do laboratório pode levar ao depósito de substâncias químicas e contaminantes no esgoto, as quais são prejudiciais ao tratamento biológico convencional.

Tabela 2 – Características físico-químicas do esgoto sanitário bruto para os autores Von Sperling (2007), Metcalf &amp; Eddy (2016) e Jordão e Pessoa (2011)

Parâmetro	Unidade	Von Sperling (2007)		Metcalf & Eddy (2016)			Jordão e Pessoa (2011)		
		Faixa	Típico	Esgoto Fraco	Esgoto Médio	Esgoto Forte	Esgoto Fraco	Esgoto Médio	Esgoto Forte
Sólidos Totais	mg/L	700 - 1350	1100	537	806	1612	370	730	1160
• Em suspensão	mg/L	200 - 450	350	130	195	389	250	500	800
- Fixos	mg/L	40 - 100	80	25	29	43	86	300	500
- Voláteis	mg/L	165 - 350	320	95	101	152	304	200	300
• Dissolvidos	mg/L	500 - 900	700	374	560	1121	120	230	360
- Fixos	mg/L	300 - 550	400	224	336	672	30	55	80
- Voláteis	mg/L	200 - 350	300	150	225	449	90	175	280
• Sedimentáveis	mg/L	10 - 20	15	8	12	23	5	10	20
Matéria Orgânica									
- DBO <sub>5,20</sub>	mg/L	250 - 400	300	133	200	400	100	200	400
- DQO	mg/L	450 - 800	600	339	508	1016	200	400	800
Nitrogênio Total	mg/L	35 - 60	45	23	35	69	20	40	85
• Nitrogênio orgânico	mg/L	15 - 25	20	10	14	29	10	20	35
• Amônia	mg/L	20 - 35	25	14	20	41	10	20	50
• Nitrito	mg/L	≈ 0	≈ 0	0	0	0	0	0,05	0,1
• Nitrato	mg/L	0 - 2	≈ 0	0	0	0	0,1	0,2	0,4
Fósforo	mg/L	4 - 15	7	3,7	5,6	11	5	10	20
• Fósforo orgânico	mg/L	1 - 6	2	2,1	3,2	6,3	2	4	7
• Fósforo inorgânico	mg/L	3 - 9	5	1,6	2,4	4,7	3	6	13
pH	-	6,7 - 8,0	7,0	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de: VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. Biological Wastewater Treatment Series (Volume 1). London: IWA publishing, 2007. p. 57.

Adaptado de: METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. p. 214.

Adaptado de: JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. p. 47-60.

Segundo Gerbase *et al.* (2005), a maioria das instituições públicas brasileiras não apresentam uma política institucional que permita o gerenciamento adequado de resíduos químicos. Embora em baixo volume, a grande diversidade de composições dificulta o planejamento de uma disposição final padrão.

Dessa forma, não é possível desconsiderar a possibilidade do lançamento equivocado de resíduos de análises laboratoriais na rede coletora de esgoto, devido a fatores como falta de treinamento do pessoal envolvido ou condições operacionais insatisfatórias. Caso exista a incorporação de contaminantes no esgoto final, é de suma importância realizar sua caracterização, a fim de que seja possível averiguar a intensidade dos efeitos adversos gerados ao sistema de esgotamento sanitário.

Diversos autores realizaram a caracterização do esgoto sanitário gerado em universidades, visando contribuir para discussões na área de saneamento e desenvolvimento sustentável. Outras pautas abordadas conjuntamente incluem a avaliação do risco ambiental do esgoto, sua possibilidade de reúso e a implementação de estações de tratamento de esgoto dentro da instituição.

O Campus Aristóteles Calazans Simões da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) não possui separação preliminar do esgoto sanitário e químico. Após a caracterização do esgoto final, constatou-se a semelhança ao esgoto sanitário, devido sua contribuição predominante. O esgoto gerado possui alta compatibilidade com o tratamento biológico por via aeróbia (eficiência de 92%), entretanto, ainda possui boa remoção de DQO por via anaeróbia (ordem de 75%). (CAVALCANTE, 2017).

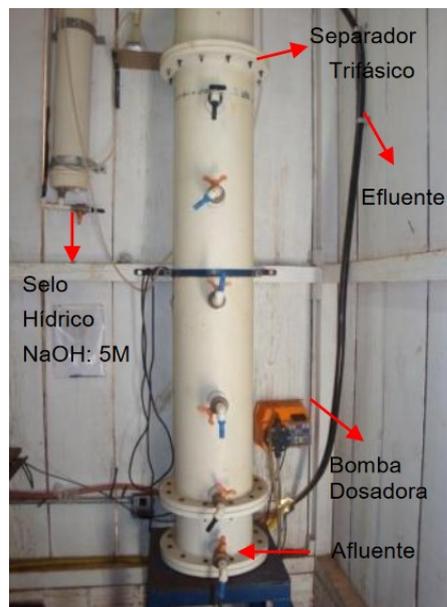
No Campus Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) os parâmetros foram analisados tanto no período letivo quanto de férias, em diversos perfis temporais. Os valores de contribuição per capita para os parâmetros analisados ficaram muito aquém dos encontrados na literatura, logo, uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) projetada com base nesses parâmetros não estaria compatível com a realidade. (MENEZES, 2017).

O esgoto final do Campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) foi classificado como esgoto sanitário médio conforme Metcalf & Eddy (2003), em termos de DQO e ST. Utilizando um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente em escala piloto (Figura 1), verificou-se maior eficiência de remoção de DQO (37% a 96%) na operação com vazão constante, após

o reator alcançar o estado de equilíbrio dinâmico aparente, onde há a estabilização do biofilme. (MARTINS, 2012).

Segundo Von Sperling (2007b), o sistema de tratamento empregado depende essencialmente dos ensaios de caracterização do esgoto e da quantidade gerada na área de estudo. A confiabilidade dos resultados nessa etapa é indispensável para garantir o tratamento adequado. Por fim, a viabilidade do método selecionado deve ser analisada com base nos recursos disponíveis e fatores econômicos.

Figura 1 – Reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente em escala piloto da UTFPR



Fonte: MARTINS, J. E. M. **Avaliação do Comportamento de um reator UASB tratando esgotos sanitários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão.** 2012. 104f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

### 3.4. SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

#### 3.4.1. Estudos preliminares

A NBR 9648 (ABNT, 1986) estabelece as terminologias, requisitos e condições gerais exigidas para o estudo de concepção de um sistema de esgotamento sanitário do tipo separador, o qual é responsável somente pelo transporte do esgoto. Os requisitos para o estudo de concepção incluem dados geográficos e demográficos da região, informações a respeito do sistema existente, disponibilidade de recursos, entre outros fatores.

Segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), os objetivos da concepção são: identificar e quantificar os fatores intervenientes; diagnosticar o sistema existente; estabelecer os parâmetros básicos de projeto; pré-dimensionar as unidades do sistema; escolher a alternativa mais adequada mediante a comparação técnica, econômica e ambiental; estabelecer diretrizes gerais e estimar os serviços de projeto.

De acordo com Bassani (2005), o estudo de concepção deve ser realizado de maneira rigorosa e disciplinada, pois o sucesso de implementação e a viabilidade econômica do sistema adotado depende, majoritariamente, das considerações iniciais realizadas nessa etapa.

### 3.4.2. Componentes de um sistema de esgotamento sanitário

Netto (1998) define o sistema de esgoto sanitário como o conjunto de obras e instalações responsáveis pela coleta, afastamento, condicionamento e disposição final do esgoto sanitário. O autor separa os componentes do sistema em: canalizações (coletores, interceptores, emissários, sifões invertidos), órgãos acessórios, estações elevatórias, estações de tratamento, obras de lançamento final e corpo receptor.

A rede coletora de esgoto é composta por trechos de tubulações, que recebem denominações específicas conforme sua disposição na rede, e órgãos acessórios, que consistem em “dispositivos fixos desprovidos de equipamentos mecânicos”, segundo a NBR 9649. (ABNT, 1986, p. 2).

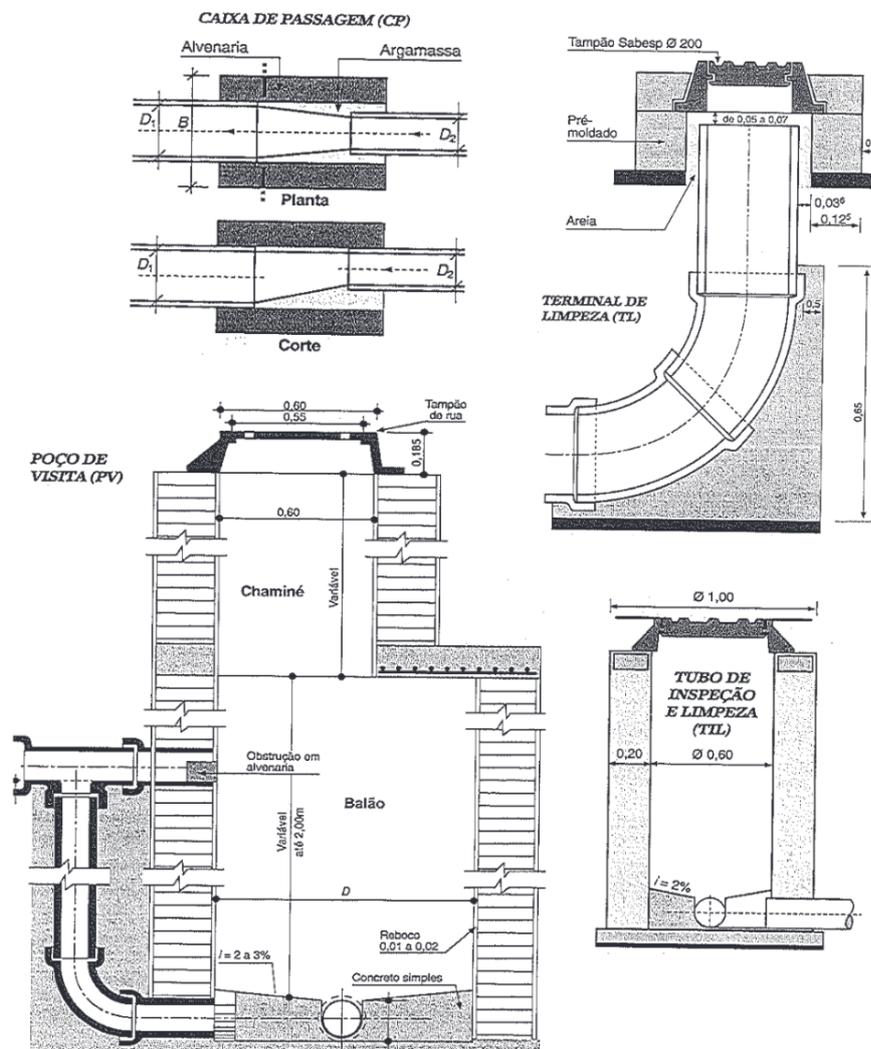
Os órgãos acessórios auxiliam na manutenção do bom funcionamento da rede coletora. São utilizados nos pontos singulares das tubulações (início de coletores, mudanças de direção, declividade, diâmetro, material e junção de tubulação) para evitar ou minimizar entupimentos, permitir manutenções ou a limpeza da tubulação. Definidos por Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), os principais dispositivos são:

- Poço de Visita (PV): câmara que permite o acesso de pessoas e equipamentos para efetuar inspeções. Podem ser substituídos pelo tubo de inspeção e limpeza, terminal de limpeza ou caixas de passagem;
- Tubo de Inspeção e Limpeza (TIL) ou Poço de Inspeção (PI): dispositivo não visitável, permite apenas a inspeção visual e limpeza por equipamentos;

- Terminal de Limpeza (TL): permite introdução de equipamentos e pode substituir o poço de visita no início de coletores;
- Caixa de Passagem (CP): permite a passagem de equipamentos de limpeza do trecho a jusante, pode substituir o poço de visita em pontos singulares (mudanças de direção, declividade, diâmetro e material) e pode ser substituída por conexões nas mudanças de direção e declividade, quando as deflexões coincidirem.

A Figura 2 apresenta ilustrações dos órgãos acessórios citados anteriormente.

Figura 2 – Órgãos acessórios mais utilizados



Fonte: NETTO, J. M. de A. (Org.). **Manual de Hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

Os interceptores recebem o esgoto exclusivamente dos coletores e, em razão da defasagem de contribuições, amortecem as vazões. É situado em áreas baixas, usualmente ao longo das margens d'água. (NUVOLARI, 2003 citado por CRUZ, 2016).

Recomenda-se que a defasagem de contribuições seja considerada apenas para o último trecho do interceptor, anteriormente à uma estação elevatória ou ETE, onde o amortecimento das vazões pode ser utilizado para amenizar o dimensionamento hidráulico destas instalações. No entanto, para vazões até 750 L/s, o efeito do amortecimento não é significativo. (NETTO, 1998).

A NBR 9649 define o emissário como uma “tubulação que recebe esgoto exclusivamente na extremidade de montante.” (ABNT, 1986, p. 1). Segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), o emissário conduz o esgoto até um destino conveniente, seja a ETE ou o lançamento no corpo receptor.

Nuvolari (2003), citado por Cruz (2016), destaca que o emissário pode ser a descarga de uma estação elevatória (emissário de recalque), a interligação de dois pontos de concentração de esgoto dos coletores e interceptores (emissário de gravidade), ou a descarga do efluente de uma ETE.

Para a transposição de obstáculos, é possível atravessar por cima, utilizando uma estação elevatória, ou por baixo, optando entre aprofundar a tubulação e manter o escoamento em conduto livre ou executar um sifão invertido em conduto forçado. Destaca-se que o sifão invertido é uma obra de custo relativamente elevado e de difícil limpeza e desobstrução, sendo recomendada somente após o estudo das demais alternativas. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

A estação elevatória é utilizada, também, quando existe uma diferença de cotas a ser vencida. É possível citar, por exemplo, o coletor predial situado abaixo do coletor de esgoto, redes novas em cotas inferiores às da rede existente, pontos de concentração que necessitam de recalque para um destino posterior e no tratamento ou disposição final, para alcançar as cotas compatíveis. Outra utilização é como alternativa para evitar o aprofundamento excessivo e antieconômico das tubulações. (NUVOLARI, 2003 citado por CRUZ, 2016).

A NBR 12209 (ABNT, 1992, p. 2) define a ETE como:

O conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento.

O destino final do esgoto é denominado corpo receptor, que em geral é um corpo hídrico superficial ou o solo, pelo sistema de disposição controlada.

### 3.4.3. Traçado da rede coletora

Para Alem Sobrinho e Tsutiya (2000), o custo de construção de um sistema de esgotamento sanitário pode ser distribuído da seguinte maneira: redes coletoras (75%), coletores-tronco (10%), elevatórias (1%) e estações de tratamento (14%).

Ferreira (2013) destaca que a profundidade da tubulação influencia diretamente no custo de implantação da rede coletora, em razão da quantidade de escavação, escoramento e reaterro necessários. O autor, ainda, considera o estudo de diferentes traçados como uma maneira de reduzir o custo final de implantação, ao optar pela alternativa menos onerosa.

A rede de esgotamento sanitário trabalha preferencialmente por gravidade, influenciada pela topografia da região. Potenciais obstáculos naturais e desníveis podem ser contornados com o uso de estações elevatórias e outras instalações, como visto anteriormente.

Para efetuar o traçado, delimita-se a partir da planta topográfica as áreas de esgotamento e expansão futura, identificando os pontos de contribuição. Conforme a topografia do terreno e o traçado das ruas, indica-se os trechos de coletores, seu sentido de escoamento e os órgãos acessórios – junto das canaletas de fundo, as quais determinam o fluxo do esgoto. Por fim, os coletores são identificados com números sequenciais, de forma que os números maiores contribuem para os menores, e os trechos de coletores são numerados de montante para jusante. (NETTO, 1998). Cada “trecho” é considerado do PV de montante até o próximo PV de jusante.

O traçado de uma rede pode ser classificado como perpendicular, leque ou radial. No traçado perpendicular, um interceptor próximo ao curso d'água recebe a contribuição de diversos coletores tronco perpendiculares. O traçado em leque é característico de terrenos acidentados e com diversas sub-bacias, onde os coletores troncos passam pelas partes baixas e neles se ligam os coletores secundários. Em cidades planas, utiliza-se o traçado radial ou distrital, onde criam-se pontos baixos para o escoamento do esgoto em diversos setores, que posteriormente é recalçado para o destino final. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

#### 3.4.4. Vazão do esgoto sanitário

A vazão média do esgoto sanitário é calculada em função do consumo de água efetivo *per capita* e o coeficiente de retorno, o qual representa a relação entre o volume de esgoto gerado e o volume de água fornecido. São utilizados coeficientes de variação para contabilizar contribuições máximas e mínimas. Para o projeto de uma rede, é necessário determinar a vazão gerada por uma população inicial e por uma final, representativa do tempo de alcance do projeto, além de acrescentar as vazões de infiltração e lançamentos industriais. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

A variação da vazão de esgoto diária, observada em estações de tratamento, assemelha-se à curva de consumo de água com um atraso de diversas horas, em razão do tempo de transporte do esgoto. As variações são suavizadas conforme o crescimento da população, devido ao aumento da capacidade de armazenamento do sistema de coleta e às alterações econômicas e sociais. (METCALF & EDDY, 2016).

A população prevista conforme o tempo de alcance do projeto pode ser calculada por diversos métodos, sendo a análise de regressão recomendada por Von Sperling (2007b) sempre que possível, por permitir a incorporação de uma maior série histórica. Segundo o autor, o consumo de água é influenciado por diversos fatores, como o clima, a disponibilidade de água, o nível econômico da população e perdas na distribuição, por exemplo.

#### 3.4.5. Critérios de projeto da rede coletora

As canalizações são projetadas para funcionar como condutos livres, com regime de escoamento permanente e uniforme. A parte superior livre, reservada para a ventilação e flutuações do nível de esgoto, é calculada com base no diâmetro da tubulação e, portanto, funciona como um dos critérios para determinar o diâmetro adequado. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

Em relação à profundidade, Netto (1998) recomenda no mínimo 1,5 m em relação à geratriz inferior, a fim de possibilitar ligações prediais e proteger as tubulações de cargas externas. Já a NBR 9649 estabelece que a profundidade entre a geratriz superior e a cota da superfície não pode ser inferior a 0,90 m quando

instalada na via de tráfego e de 0,65 m quando instalada no passeio. (ABNT, 1986). Segundo Netto (1998), o valor ótimo de profundidade está entre 1,8 e 2,5 m.

Escoamentos turbulentos são situações propícias para a entrada de ar na superfície do líquido, gerando bolhas que aumentam a lâmina d'água e modificam o regime de escoamento de livre para forçado. (NETTO, 1998).

Segundo Alem Sobrinho e Tsutiya (2000, p. 94), a mudança de escoamento deve ser evitada pois “a tubulação poderá ser destruída por pressões geradas pelas permutações aleatórias entre escoamento livre e forçado.” A velocidade necessária para o início desse fenômeno é denominada crítica e, caso seja ultrapassada, a lâmina d'água máxima deve ser reduzida para 50% do diâmetro do coletor, conforme a NBR 9649. (ABNT, 1986).

A tensão trativa, segundo Netto (1998, p. 514), consiste na “componente tangencial do peso líquido sobre a unidade de área da parede do coletor”, a qual promove o arraste de sedimentos na tubulação, garantindo sua autolimpeza. A recomendação por norma é de 1,0 Pa por trecho, garantida por uma declividade mínima, calculada a partir da vazão inicial no início de plano. (ABNT, 1986).

A influência de remanso deve ser verificada sempre que a cota do nível de saída de um PV ou TIL seja superior à cota de entrada. Na prática, é possível evitar o remanso ao coincidir a geratriz superior dos tubos, em casos onde há o aumento do diâmetro da tubulação e forem adotadas profundidades mínimas. Caso a profundidade seja superior, pode ser realizada a coincidência dos níveis de água de entrada e saída. (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

Ao chegar na ETE, o esgoto sanitário passará por diversas unidades operacionais para adequação de sua qualidade antes de ser lançado em corpos hídricos superficiais.

### 3.5. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

#### 3.5.1. Sistemas centralizados e descentralizados de tratamento

Em sistemas centralizados de tratamento, o esgoto coletado pela rede é afastado das edificações contribuintes e encaminhado a estações de tratamento, que

são construídas em regiões periféricas das cidades (SANTOS et al., 2015). Consistem em sistemas de dimensões consideráveis, onde o esgoto é proveniente de um grande e diversificado número de contribuintes, no qual redes de tubulações interconectadas com estações de bombeamento permitem a coleta e o afastamento do esgoto sanitário dos locais de geração (DEGEN, 2018).

Em contrapartida, sistemas descentralizados de tratamento são autônomos, projetados para receber pequenas vazões, provenientes de residências, condomínios, construções isoladas e até pequenas comunidades, por exemplo (ROCHA, 2021). A coleta e tratamento do esgoto, bem como a disposição final ou reúso do efluente tratado são realizados em local próximo a sua geração (TONETTI, 2018).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução CONAMA 377/2006, juntamente com a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (SEMA), por meio da Resolução nº 021/09 definem unidades de tratamento de esgoto de pequeno porte aquelas com vazão nominal de projeto menor ou igual a 50l/s ou com capacidade para atendimento de até 30.000 habitantes.

Existem diversas vantagens na adoção de sistemas descentralizados de tratamento em relação a sistemas centralizados, como menor custo de implementação, a contribuição com a sustentabilidade local, o alívio operacional da rede coletora e a oportunidade de reúso de água e nutrientes localmente. Contudo, diversos são os desafios desse sistema, em questões ambientais, econômicas, sociais e de gestão, que vão desde a escolha de tecnologias adequadas a situação e ao local, até a possível contaminação do solo e de lençóis freáticos (TONETTI, 2018; METCALF & EDDY, 2003; GIKAS; TCHOUBANOUGLOUS, 2008; BUENO, 2017).

### 3.5.2. Níveis de tratamento de esgoto

Em um sistema de tratamento de esgoto convencional é possível agrupar os processos de tratamento em níveis distintos, sendo eles: preliminar, primário, secundário e terciário. O Quadro 1 apresenta uma descrição sucinta de cada nível, elaborada por Metcalf & Eddy (2016).

Quadro 1 – Níveis de tratamento de esgoto

Nível de tratamento	Descrição
Preliminar	Remoção de constituintes, como trapos, galhos, flotáveis, areia e graxa, que possam causar problemas operacionais ou de manutenção às operações e aos processos de tratamento e sistemas auxiliares.
Primário	Remoção de parte de sólidos suspensos e matéria orgânica do esgoto.
Primário avançado	Remoção melhorada de sólidos suspensos e de matéria orgânica do esgoto. Tipicamente efetuado pela adição de compostos químicos ou filtração.
Secundário	Remoção de matéria orgânica biodegradável (em solução ou em suspensão) e sólidos suspensos. A desinfecção é, também, tipicamente incluída na definição de tratamento secundário convencional.
Secundário com remoção de nutrientes	Remoção de compostos orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio, fósforo ou ambos).
Terciário	Remoção de sólidos suspensos residuais (após tratamento secundário), usualmente por filtros granulares, filtros de pano ou microtelas. A desinfecção é, também, um componente típico do tratamento terciário. A remoção de nutrientes é, geralmente, incluída nesta definição.
Terciário avançado	Remoção de materiais, suspensos ou dissolvidos, que permanecem após tratamento biológico, quando requerido para aplicações diversas de reúso.

Fonte: Adaptado de: METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 2016. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

Os processos físicos são predominantemente empregados no tratamento preliminar e primário, visando a remoção de sólidos grosseiros, sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. As formas de tratamento biológicas são utilizadas no estágio secundário, com o objetivo de remover a matéria orgânica e nutrientes. Por fim, o tratamento terciário engloba processos especiais para complementar os anteriores ou efetuar a remoção de poluentes específicos (geralmente tóxicos ou não biodegradáveis). (VON SPERLING, 2007b).

No referencial teórico analisado, é notável a preferência pelo tratamento do esgoto gerado nas instituições de ensino pelo processo anaeróbio, especificamente o reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB, em inglês: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).

Bertolino (2007) menciona o baixo consumo energético e a reduzida produção de lodo como as maiores vantagens em relação aos processos aeróbios. Villela e Foresti (1997) apontaram o suporte do reator a altas taxas orgânicas, a capacidade dos microrganismos de permanecerem longos períodos sem alimentação e a possibilidade de combinação do sistema à métodos de pós-tratamento, caso exista necessidade.

### 3.5.3. Tratamento preliminar

O tratamento preliminar visa a remoção de areia, sólidos grosseiros, óleos e graxas, (PRADO, 2006), protegendo as tubulações e equipamentos a jusante de problemas como desgaste e obstruções, além de promover a atenuação da carga orgânica do esgoto, aumentando assim a eficiência dos tratamentos posteriores. (WEF, 2010b citado por ALBORNOS, 2017).

Sólidos grosseiros são os resíduos de maiores dimensões presentes no esgoto, tal como pedras, galhos, folhas e raízes. (SPELLMAN, 2009). Tais sólidos são resultado de uso irregular no sistema, seja nas instalações prediais ou industriais, nos coletores públicos ou demais componentes do sistema de esgotamento sanitário. (JORDÃO; PESSOA, 2011).

Segundo Albornoz (2017), os principais sistemas preliminares de tratamento a serem citados são o gradeamento e a caixa de areia. Tomiello (2008) mencionou o emprego de peneiras e trituradores conforme a necessidade de tratamento do esgoto.

Segundo Prado (2006), o gradeamento consiste em barras paralelas com espaçamento uniforme, instaladas verticalmente ou inclinadas ao longo da largura do canal de escoamento de esgoto. Segundo Jordão e Pessoa (2011), as principais características são o espaçamento das barras, suas dimensões, inclinação, forma, materiais e o dispositivo de limpeza da unidade.

As caixas de areia ou desarenadores, segundo Mendonça e Mendonça (2017), são responsáveis pela remoção de sólidos suspensos fixos de menores dimensões, como os detritos de minerais pesados.

A remoção pode ser realizada por meio de sedimentação e centrifugação (JORDÃO; PESSOA, 2011), sendo a primeira mais utilizada, por representar um menor custo de implantação e operação, uma vez que necessita de menor nível de automação. (TOMIELLO, 2008). A Figura 3 ilustra um desarenador de fluxo horizontal utilizado para sedimentação.

Figura 3 – Desarenador de fluxo horizontal



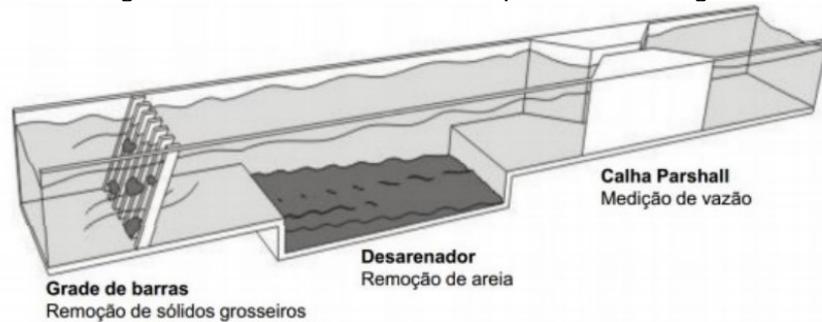
Fonte: RIBEIRO, T. B. *et al.* **Parte 2: Tratamento preliminar, bombeamento e distribuição de vazão.** 1º Fórum Técnico ETEs Sustentáveis. INCT, CREA – MG e COPASA, 2018.

Segundo Giordano (2005), o peneiramento é utilizado para remoção de sólidos com diâmetros superiores a 1 mm, com carga orgânica considerável e que poderiam causar entupimentos.

O emprego de trituradores tem a finalidade de reduzir as dimensões dos sólidos grosseiros, permitindo que as operações subsequentes não tenham os incômodos que teriam com sólidos de grandes dimensões. (TOMIELLO, 2008).

Segundo Mendonça e Mendonça (2017), a fase preliminar de tratamento também conta com uma unidade para medir a vazão de esgoto que entra na estação, que pode ser do tipo vertedor ou do tipo Parshall, sendo este mais utilizado. (NUVOLARI, 2011). A Figura 4 apresenta a configuração esquemática de um sistema de tratamento preliminar composto por gradeamento, desarenador e medidor de vazão.

Figura 4 – Sistema de tratamento preliminar de esgoto



Fonte: JORDÃO, E.P; VOLSCHAN JR., I. **Tratamento de Esgotos Sanitários em Empreendimento Habitacionais**. 1. ed. Brasília: CAIXA, 2009, 132p.

#### 3.5.4. Tratamento primário

O tratamento primário destina-se à remoção de sólidos em suspensão e sólidos flutuantes, que sedimentam ou flutam, após a adição de produtos químicos (VON SPERLING, 1996; ALBORNOZ *et al.*, 2016). Segundo Tomiello (2008), os tratamentos primários mais utilizados são: decantação, sedimentação, coagulação, floculação, flotação e filtração.

Para tais processos, são necessários tanques nos quais o esgoto possa fluir. “Os decantadores podem ser circulares ou retangulares, com limpeza de fundo por pressão hidrostática ou com remoção mecanizada por raspagem ou sucção” (GIORDANO, 2005, p. 26). Na presença de materiais flutuantes, é necessário um removedor de espuma. A massa de sólidos que sedimenta no tratamento primário é denominada de lodo primário bruto. (VON SPERLING, 1996). A Figura 5 exibe tanques de floculação em Miringuava, no Paraná.

Figura 5 – Tanques de floculação da ETA Miringuava, PR



Fonte: KNAPIK, H. G. **Saneamento Ambiental I – Coagulação e floculação**. Notas de aula (Engenharia Ambiental) da Universidade Federal do Paraná, 2016.

A sedimentação é um processo que ocorre naturalmente por meio da ação da gravidade, diferentemente da coagulação e floculação, que ocorrem por meio da adição de substâncias químicas ao esgoto, com o intuito de unir em flocos as partículas de matéria em suspensão sedimentável, não sedimentável e coloidal. (JORDÃO; PESSOA, 2011).

A filtração “consiste na passagem do líquido através de um meio poroso, sendo o filtro de areia o mais utilizado seguido pelo carvão ativado. A distribuição granular e a porosidade do meio têm grande influência na remoção dos sólidos.” (RICHTER, 2011 citado por ALBORNOZ, 2017, p. 16).

Von Sperling (1996) cita ainda as fossas sépticas e suas variantes como formas de tratamento a nível primário, que consistem basicamente em decantadores onde os sólidos sedimentáveis são removidos para o fundo, permanecendo um tempo longo o suficiente para a sua estabilização, em condições anaeróbias.

Contudo, o grau de tratamento das fossas sépticas é compatível com sua simplicidade e custo. (JORDÃO; PESSOA, 2011). O sistema funciona como um digestor anaeróbio, no entanto, pelo longo tempo de detenção e falta de controle, não é adequado para grandes aplicações, sendo indicado apenas para pequenas instalações, como residências unifamiliares. (SPELLMAN, 2009).

### 3.5.5. Tratamento secundário

A função do tratamento secundário é a remoção da matéria orgânica por meio da inclusão de uma etapa biológica, podendo, em alguns casos, incluir desinfecção. Para tal, geralmente inclui o tratamento preliminar, mas pode ou não incluir o tratamento primário. (VON SPERLING, 1996; ORTIZ *et al.*, 2018).

Caso não haja tratamento primário, o tratamento secundário fica responsável por remover não apenas a DBO solúvel, como também a DBO particulada. (FREITAS, 2020). De qualquer modo, o processo de tratamento biológico ocorre pela conversão da matéria orgânica em produtos finais estabilizados mediante reações bioquímicas aeróbias ou anaeróbias (KLÜSENER, 2006, p. 19).

Os processos biológicos de tratamento procuram replicar os fenômenos de degradação da matéria orgânica encontrados na natureza, realizados por bactérias e

outros microrganismos, utilizando dispositivos específicos idealizados para tal, que atendam a carga existente no espaço e tempo desejados. (JORDÃO; PESSOA, 2011; TONETTI *et al.*, 2018).

Von Sperling (1996) cita como os principais sistemas de tratamento, a nível secundário: lagoas de estabilização, lodos ativados, sistemas aeróbios com biofilmes, sistemas anaeróbios e disposição no solo.

#### 3.5.5.1. Lagoas de estabilização

“As lagoas de estabilização podem ser definidas como um corpo de água lântico, construído pelo homem, e destinado a armazenar e tratar resíduos líquidos de natureza orgânica.” (KLÜSENER, 2006 p. 26). “São sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica e/ou redução fotossintética das algas.” (JORDÃO; PESSOA, 2011, p. 702).

A função principal que caracteriza as lagoas de estabilização é a de prover o tempo de detenção necessário para que o esgoto possa ser estabilizado por processos naturais. (SPELLMAN; DRINAN, 2014). O grau de tratamento de fato atingido pela lagoa depende do tipo e do número de lagoas associadas. (SPELLMAN, 2009).

As lagoas de estabilização podem ser classificadas de acordo com as características biológicas em anaeróbias, aeróbias e facultativas, e de acordo com a finalidade em remover matéria orgânica ou patógenos, sendo estas denominadas lagoas de polimento ou lagoas de maturação. (KAWAI citado por KLÜSENER, 2006).

Segundo Von Sperling (1996), as principais vantagens desse sistema são a simples construção, operação e manutenção, bem como o baixo custo de construção e implantação. As principais desvantagens são o requerimento de grandes áreas e a dificuldade de atingir padrões restritivos de tratamento. A Figura 6 mostra as lagoas de tratamento da ETE Brazlândia, em Brasília.

Figura 6 – Lagoas de tratamento de Brazlândia, DF



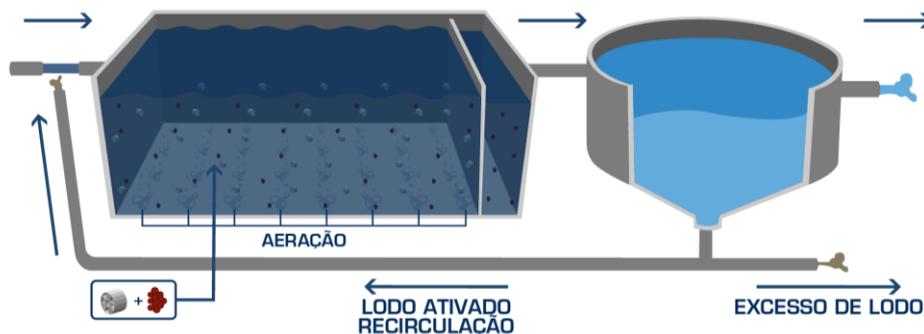
Fonte: DESETUPIR JÁ. **Conheça as estações de tratamento de esgoto de Brasília.** Disponível em: <https://www.desentupirja.com.br/conheca-estacoes-de-tratamento-de-brasilia/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

### 3.5.5.2. Lodos ativados

O sistema de tratamento de lodos ativados é referente ao processo no qual uma massa ativada de microrganismos biodegradam a matéria orgânica dissolvida e em suspensão, por via aeróbia, transformando-a em gás carbônico, água e flocos biológicos, estes formados pelos microrganismos presentes no processo. (GIORDANO, 2005; LANGE, 2012).

Nesse sistema, sólidos são recirculados do fundo da unidade de decantação, por meio de bombeamento, para a unidade de aeração. Os dispositivos necessários são o tanque de aeração (reator), tanque de decantação (decantador secundário) e estação elevatória de recirculação de lodo. (VON SPERLING, 1996). Na Figura 7 é possível observar o esquema geral de um sistema de lodos ativados.

Figura 7 – Sistema de lodos ativados



Fonte: UCELO. **MBBR - Reator biológico de leito móvel.** Disponível em: <https://www.ucelo.com.br/produtos-mbbr> Acesso em: 17 de agosto de 2021.

Para que as condições ideais aos microrganismos sejam atendidas, é necessário atenção quanto a temperatura, pH, oxigênio dissolvido, nutrientes, substrato, toxicidade e sólidos suspensos voláteis no reator. (ALBUQUERQUE, 2012).

Existem diversas variações de processos de tratamento com lodos ativados, como convencional, de estabilização por contato, de mistura completa, aeração estendida, oxigênio de alta pureza e batelada sequencial. (GRADY, 1999).

Segundo Von Sperling (1996) e Lange (2012), as principais vantagens desse sistema são requerer pequenas áreas, alta remoção de DBO e possibilidade de remoção de nitrogênio e fósforo. As principais desvantagens o alto custo construtivo e operacional, o alto consumo de energia, o alto nível de mecanização, a sofisticação da operação e a geração de lodo, que necessita de tratamento e descarte.

### 3.5.5.3. Sistemas aeróbios de biofilme

Biofilme se refere a camada de lodo que se desenvolve naturalmente, quando bactérias aderem a um meio de suporte inerte, como pedras, metal ou madeira. Uma vez que os nutrientes tendem a se concentrar em superfícies sólidas, tal processo representa uma economia de energia aos microrganismos, que deixam de obter nutrientes aleatoriamente no meio. (CHEREMISINOFF, 2002).

Os microrganismos presentes em biofilmes possuem maior resistência a variações de cargas, compostos tóxicos e variações ambientais que microrganismos em suspensão. A fixação ao meio suporte ainda aumenta o tempo de detenção celular, melhorando a eficiência do processo de tratamento (BENTO, 2005).

Os filtros de biofilme podem ter sistemas de distribuição fixos ou rotatórios, e podem ser classificados por meio da carga hidráulica ou orgânica a que são submetidos, conforme Gonçalves (2001) adaptado de Metcalf & Eddy (1991) e WEF (1996):

- Baixa taxa: taxa de aplicação superficial de 1,0 a 4,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e carga orgânica volumétrica de 0,1 a 0,4 kgDBO/m<sup>3</sup>.d;
- Taxa intermediária: taxa de aplicação superficial de 3,5 a 10,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e carga orgânica volumétrica de 0,2 a 0,5 kgDBO/m<sup>3</sup>.d;

- Alta taxa: taxa de aplicação superficial de 10,0 a 40,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e carga orgânica volumétrica de 0,5 a 1,0 kgDBO/m<sup>3</sup>.d;
- Taxa super alta: taxa de aplicação superficial de 12,0 a 70,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e carga orgânica volumétrica de 0,5 a 1,6 kgDBO/m<sup>3</sup>.d;
- Grosseiro: taxa de aplicação superficial de 40,0 a 185,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e carga orgânica volumétrica de até 8,0 kgDBO/m<sup>3</sup>.d;

Spellman (2009) citou o filtro biológico por gotejamento (*trickling filter*) como uma das formas mais antigas de tratamento biológico confiável. Os componentes desse sistema geralmente incluem um sistema rotatório aspensor de esgoto, uma estrutura de contenção, um meio de suporte, um dreno inferior e um sistema de ventilação. (WEF, 2010a). Estes filtros são conhecidos como filtros biológicos percoladores (ALMEIDA; OLIVEIRA; CHERNICHARO, 2011). A Figura 8 mostra um filtro por gotejamento.

Figura 8 – Filtro biológico por gotejamento (*trickling filter*)



Fonte: EXPOVAL. **Trickling filters**. Ministério Federal de Educação e Pesquisa da Alemanha. Disponível em: <https://www.expoval.de/en/subgroup-3-trickling-filters.html>. Acesso em: 17 nov. 2021.

Outro sistema de tratamento de biofilme consiste em biodiscos, que são grandes discos, parcialmente submersos, que rotacionam continuamente, com o intuito de expor repetidamente os microrganismos aderidos em sua superfície ao esgoto e ao ar. (CHERMISINOFF, 2002). A Figura 9 ilustra um sistema de biodiscos.

Figura 9 – Sistema de biodiscos



Fonte: OWLSHALL. **Biodisc sewage treatment plant residential installation**. Disponível em: <https://www.owlshall.co.uk/sewage-treatment/residential/installation/biodisc/>. Acesso em: 21 fev. 2022.

Há também os reatores biológicos de leito móvel, com biomassa aderida a suporte plástico de baixa densidade, o que confere a mobilidade necessária para que o conjunto suporte-biomassa seja mantido em suspensão. Sendo assim, configura-se como um reator biológico híbrido. (OLIVEIRA, 2008). A Figura 10 apresenta um exemplo de suporte plástico de baixa densidade utilizado em reatores biológicos de leito móvel.

Figura 10 – Suporte plástico de baixa densidade



Fonte: K3 BIO MEDIA PLUS. K3 **Bio Filter Media Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)** for Aquaponics, Aquaculture, Hydroponics - Ponds - Aquariums by Wholesale Koi Farm (2 Cubic Feet). Disponível em: <https://www.amazon.com/K3-Media-Aquaponics-Aquaculture-Hydroponics/dp/B00MMU2X7O>. Acesso em: 17 nov. 2021.

Segundo Von Sperling (1996), as vantagens do sistema de tratamento com biofilme são a remoção de DBO alta, a necessidade de pequenas áreas, ser um sistema relativamente simples e com baixa mecanização, e digestão do lodo no filtro. As desvantagens são: baixa eficiência de remoção de coliformes, alto custo construtivo, sensibilidade a temperatura e descargas tóxicas, requerer disposição de lodo e susceptibilidade a moscas.

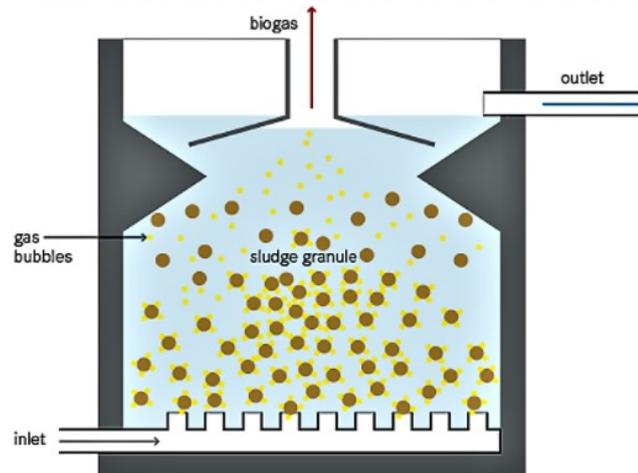
### 3.5.5.4. Reator anaeróbio de manta de lodo (UASB)

Os reatores UASB são unidades de tratamento anaeróbio destinados a remoção de matéria orgânica em suspensão ou dissolvida no esgoto. (LOBATO, 2011). A biomassa cresce dispersa no meio, em alta concentração, podendo formar pequenos grânulos, resultado da aglutinação de diversos microrganismos. (VON SPERLING; CHERNICHARRO, 2005).

O fluxo hídrico é ascendente em seu interior, sendo que o esgoto bruto é lançada ao fundo e o efluente tem saída na parte mais superior do reator. (SOUZA, 2006). Esse fluxo ascendente faz com que o reator sempre esteja cheio de esgoto. (TONETTI, 2018).

Devido ao carreamento de lodo pelos gases no esgoto, o reator UASB conta com um separador trifásico (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994 citado por LOBATO, 2011). O reator UASB é dividido em três zonas, sendo elas a zona de digestão, a zona de sedimentação ou decantação e a zona de liberação do biogás. (SOUZA, 2006). Tais zonas podem ser observadas na Figura 11.

Figura 11 – Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB)



Fonte: TILLEY *et al.* ***Pathogenic bacteria and antibiotic resistance gene removal in wastewater using upflow anaerobic sludge blanket (uasb) reactor***. Universidade de Stavanger, 2019.

A zona de digestão do reator possui camadas distintas em que o lodo varia de concentração e comportamento, sendo próximo ao fundo o lodo denso e melhor sedimentável, até uma camada de menor concentração, sendo uma área de crescimento mais disperso e piores condições de sedimentação, denominada manta de lodo. A matéria orgânica é estabilizada em todas as camadas, sendo a mistura promovida pelo fluxo ascendente do esgoto e das bolhas de gás. (LOBATO, 2011).

As vantagens para esse sistema são requerer pequenas áreas, baixo custo construtivo e operacional, baixa produção de lodo, baixo consumo de energia, remoção de DBO e DQO satisfatórias, alta concentração e bom comportamento de secagem do lodo. (CHERNICHARO, 2007).

As desvantagens são a dificuldade de atingir padrões restritivos, baixa eficiência de remoção de coliformes, possível geração de efluente com aspecto desagradável, possibilidade de mal odor, sensibilidade a variação de descarga e componentes tóxicos e a possibilidade de necessitar de tratamento posterior. (VON SPERLING, 1996).

### 3.5.6. Tratamento terciário

O tratamento terciário visa a eliminação de contaminantes específicos como compostos tóxicos e patógenos, bem como a remoção de matéria orgânica e nutrientes que permaneceram após o tratamento secundário. (PRADO, 2006; VON SPERLING, 1996).

O tratamento terciário é utilizado quando se requer efluente final com elevado grau de polimento, com baixo valor de demanda bioquímica de oxigênio e sólidos suspensos. Isso implica elevação dos custos e da complexidade do tratamento. (MENDONÇA; MENDONÇA, 2017; TAVARES *et al.*, 2008).

Segundo Spellman (2009), a desinfecção é importante quando há despejo em corpos hídricos, tanto na proteção da saúde pública (quando há captação à jusante para consumo, por exemplo), como para evitar problemas ao curso d'água, como eutrofização e nitrificação.

O tipo de tratamento terciário adotado depende das características do esgoto, da possível intenção de reúso após o tratamento, da compatibilidade das operações e processos, da disponibilidade de meios de disposição dos contaminantes finais e da viabilidade ambiental e econômica de cada método. (METCALF & EDDY, 2003).

Os processos podem ser químicos, físicos ou biológicos. Alguns métodos a serem citados são a coagulação, cloração, radiação ultravioleta (Figura 12), ozonização, calagem, adsorção por carvão, remoção biológica de nutrientes e disposição no solo. (SPELLMAN, 2009, TOSETTO, 2005).

Figura 12 – Tratamento terciário por radiação ultravioleta



Fonte: TREEBIO. Desinfecção de água e efluentes com raios ultravioletas. Disponível em: <<https://www.revistatae.com.br/Artigo/447/desinfeccao-de-agua-e-efluentes-com-raios-ultravioleta>>. Acesso em 15 out. 2021.

### 3.6. MÉTODOS ALTERNATIVOS DE MANEJO DO ESGOTO

A aplicação no solo pode constituir uma forma de disposição final, de tratamento (nível primário, secundário ou terciário), ou ambos, que conduzem à recarga do lençol subterrâneo e/ou à evapotranspiração, no qual o esgoto supre as necessidades de água e nutrientes das plantas. (BORGES, 2008; VON SPERLING, 1996).

Os métodos de disposição no solo são eficientes para remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica biodegradável, patógenos e nitrogênio, por meio de processos que podem ser físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, CHERNICHARO, 2005).

As vantagens são a simplicidade do sistema, necessidade de pouca manutenção, baixo custo de construção e operação, e possibilidade de recarga de aquíferos. As desvantagens são requerer grandes áreas, e a influência de diversos fatores ambientais limitantes à instalação do sistema e causadores de variações na qualidade do esgoto tratado. (TONETTI, 2018).

Os principais processos de disposição no solo consistem em infiltração lenta (irrigação ou baixa taxa), infiltração rápida (alta taxa), escoamento subsuperficial, escoamento superficial e sistemas alagados construídos. (SPELLMAN, 2009; VON SPERLING, CHERNICHARO, 2005). A aplicação de esgoto no solo pode ser realizada por inundação periódica, aspersão, aplicação em faixas ou sulcos, gotejamento ou outros. (VON SPERLING, 1996; FREITAS, 2020).

### 3.6.1. Sistemas de infiltração

O sistema de infiltração lenta pode ocorrer por aspensão, alagamento ou crista e vala. É o sistema que requer a maior área superficial por unidade de esgoto tratado. (VON SPERLING, 1996). Dentre os tipos de disposição no solo, é o que apresenta os melhores resultados de remoção de poluentes. Os valores esperados de remoção para esse sistema são cerca de 98% de DBO e SS, 85% de nitrogênio, 95% de fósforo e metais. (SPELLMAN, 2009).

No sistema de infiltração rápida, a disposição do esgoto no solo é feita em valas rasas e sem revestimento, nas quais o líquido atravessa o fundo poroso e percola rumo à água subterrânea. (VON SPERLING, CHERNICHARO, 2005). Esse sistema pode tratar uma maior quantidade de esgoto em uma menor área que outros sistemas de aplicação no solo. (EPA, 2003).

No sistema de infiltração subsuperficial, ilustrado na Figura 13, o esgoto pré-tratado (normalmente por fossas sépticas) é aplicado abaixo do nível do solo, em locais escavados, preenchidos com um meio poroso. Ao final, os esgotos tratados juntam-se à água subterrânea local. (VON SPERLING, 1996).

Figura 13 – Sistema de infiltração no solo



Fonte: ECOFOSSA. Vala de infiltração. Disponível em: <https://ecofossa.com/produto/vala-de-infiltracao/>. Acesso em 15 out. 2021.

Os valores esperados para de remoção para esse sistema são de 85% a 99% de DBO, 98% de SS, de 0% a 50% de nitrogênio, entre 60 e 95% de fósforo e metais. (SPELLMAN, 2009). Unidades representativas desse sistema são a vala, que consiste em uma escavação longitudinal, e o sumidouro, que consiste em um poço, mais profundo que a vala, no qual a depuração ocorre por percolação. (TONETTI, 2018).

No sistema de escoamento superficial, o esgoto é aplicado em terrenos de certa inclinação, de baixa permeabilidade, nos quais escoam, sujeito à evapotranspiração e com baixa percolação, até serem coletados por valas na parte inferior do terreno. (VON SPERLING, CHERNICHARO, 2005).

Os valores esperados para de remoção para esse sistema são 92% de DBO, 92% de SS, entre 70% e 90% de nitrogênio, entre 40% e 80% de fósforo e 50% de metais. (SPELLMAN, 2009).

### 3.6.2. *Wetlands* construídos

Os *wetlands* construídos ou sistemas alagados construídos compreendem diversos meios de simulação de ecossistemas naturais, tendo como base princípios básicos de depuração das áreas alagadas naturais (WOLVERTON, 1989; SALATI, 1998 citado por SALATI, 2003). Por esse motivo, apresentam similaridade conceitual ao funcionamento de lagoas de estabilização. (SPERLING, CHERNICHARO, 2005).

Os *wetlands* construídos empregam o princípio de solo úmido cultivado, no qual a depuração do esgoto é realizada pelo solo e pela zona de raízes das plantas, podendo desempenhar partes ou todo o tratamento convencional dos esgotos domésticos, por meio de processos físicos, químicos e biológicos. (SILVA, 2007). A Figura 14 mostra um sistema de alagados construídos.

Figura 14 – Sistema de alagados construídos



Fonte: L&L Engenharia Ambiental. Efluentes sanitários. Disponível em: <https://lengenhariaambiental.com.br/c ategory/efluentes-sanitarios/>. Acesso em 15 out. 2021.

Segundo Tonetti (2018), águas cinzas, após submetidas a tratamento preliminar, podem ser encaminhadas diretamente para os sistemas de *wetlands* construídos, contudo, esse sistema deve ser apenas complementar para esgotos mais complexos, não dispensando unidades anteriores como tanque séptico, biodigestor ou reator anaeróbico compartimentado.

Os *wetlands* podem ser divididos em fluxo vertical e horizontal. (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005). Os seus principais elementos são o meio suporte de material particulado, como solo, areia, brita ou outro material, espécies vegetais específicas de áreas alagadas, além de microrganismos associados, que são os principais responsáveis pelo tratamento do esgoto recebido. (VALENTIM, 2003).

Tais elementos são agrupados em áreas alagadas, como lagos ou canais rasos, que geralmente possuem uma camada impermeável de material sintético ou argila, e estruturas para o controle do fluxo, detenção hidráulica e nível d'água. (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

- Sistemas alagados construídos com plantas flutuantes:

Canais rasos com uma ou mais variedades de plantas (macrófitas). Utilizados tanto para tratamento terciário, para remoção de nutrientes como fósforo e nitrogênio, como em sistemas integrando o tratamento secundário e terciário (nesse caso, com redução de DBO e DQO). (SALATI, 2003).

As espécies mais utilizadas, segundo Silva (2007), são: jacinto d'água (*Eichhornia crassipes*), também conhecido como aguapé, baronesa, orelha-de-jegue, lírio d'água, rainha dos lagos, bandeja d'água e miriru; e as lemnáceas (*Lemna*) também conhecidas como lentilhas d'água.

- Sistemas alagados construídos com plantas emergentes:

“Estes sistemas de utilizam plantas que se desenvolvem tendo o sistema radicular preso ao sedimento e o caule e as folhas parcialmente submersos. Podem ser Sistemas com fluxo superficial; subsuperficial horizontal e fluxo vertical”. (SALATI, 2003 p. 114).

As espécies mais utilizadas são: *Phragmites australis*, a *Typha latifolia*, a *Scirpus lacustris* (SALATI, 2003), o Junco (*Juncus spp*) e Taboa (*Typha angustifolia* L. ou *Typha latifolia* L.). (SILVA, 2007).

- Sistemas alagados construídos com macrófitas fixas submersas:

A principal função desse sistema é o polimento de águas de esgoto após o tratamento secundário. Espécie mais utilizada: *Isoetes Lacustris*, *Lobelia Dortmanna* e a *Egéria sp.* (SALATI, 2003).

As espécies podem ser enraizadas, tendo o crescimento inteiramente abaixo d'água, podendo se prender a pecíolos e caules de outras macrófitas; ou livres, quando permanecem flutuando debaixo d'água (SILVA, 2007).

### 3.7. TRATAMENTO E DESCARTE DO LODO

A fase sólida gerada após o tratamento do esgoto recebe o nome de lodo (VON SPERLING, 1996). São gerados, basicamente, dois tipos, o primário, na sedimentação primária e o secundário, na sedimentação após o processo biológico. (PESCOD, 1992). Von Sperling e Chernicharo (2005) citam ainda a fase sólida proveniente do gradeamento, desarenadores, espuma e lodo químico (tratamento avançado).

O lodo poderá variar de qualidade e quantidade, de acordo com o tipo de esgoto, os processos, e o grau de tratamento podendo ser orgânico, inorgânico, biodegradável, inerte, combustível ou não (JORDÃO; PESSOA, 2011).

A coleta, processamento e descarte do lodo pode representar o aspecto mais caro e complexo do tratamento do esgoto. Os objetivos principais do tratamento do lodo são a sua estabilização, para que não cause problemas ambientais, e sua secagem, uma vez que o custo do descarte será relacionado ao volume do lodo. (SPELLMAN, 2009).

As fases principais do tratamento do lodo, segundo Von Sperling e Chernicharo (2005), são: espessamento (adensamento), estabilização, condicionamento, secagem (remoção de umidade), desinfecção e disposição final.

O espessamento do lodo é um processo usado para aumentar a porção sólida do lodo pela remoção de parte da sua porção líquida, tornando o processo de tratamento mais econômico. (SPELLMAN, 2009). Esse processo pode ser realizado por gravidade, flotação, centrifugação e filtros de esteira, por exemplo. (JORDÃO; PESSOA, 2011).

O propósito da estabilização do lodo é reduzir a putrescibilidade do lodo, diminuir sua massa, melhorar características como capacidade de secagem e, em muitos processos, até reduzir substancialmente a concentração de patógenos. (CHEREMISINOFF, 2002).

Os processos disponíveis de estabilização do lodo incluem biológico, por digestão aeróbia ou anaeróbia, compostagem, adição de cal, tratamento térmico, oxidação química e incineração. (SPELLMAN, 2009), sendo os dois últimos, métodos de redução térmica do lodo.

A secagem do lodo pode ser feita por processos naturais ou mecanizados, sendo os processos naturais mais baratos, mas dependentes de maiores áreas, em contraste com os processos mecanizados, que são mais caros, sofisticados e compactos. (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

Jordão e Pessoa (2011) citam os seguintes processos de secagem do lodo: leitos de secagem, lagoas de lodo, filtros prensa, filtros a vácuo, filtros de esteira, centrífugas e secagem térmica; além de métodos de redução térmica do lodo, como incineração e oxidação úmida.

Quando eficiente, o tratamento de esgoto gera um lodo livre de características desagradáveis, seja de aspecto ou de odor. Alguns métodos de disposição final do lodo consistem em aterros sanitários, áreas de recuperação do solo, disposição no mar, incineração, reúso agrícola e florestal. (BORGES, 2008).

### 3.8. REÚSO DE EFLUENTE LÍQUIDO TRATADO PARA IRRIGAÇÃO

A fase líquida do efluente equivale ao fluxo principal na estação de tratamento de esgotos (VON SPERLING, 1996). Segundo Leal (2009, p. 242) a irrigação com efluente tratado pode gerar benefícios agrícolas com água e nutrientes essenciais (especialmente nitrogênio), afetando também a química do solo.

Outros benefícios do reúso de água tratada são o aumento da oferta de água para outras regiões e atividades, a reciclagem de nutrientes e a redução do lançamento de esgoto tratado nos corpos hídricos, diminuindo sua poluição e contaminação. (TONETTI, 2018).

A utilização de água residuária para irrigação não é uma prática recente. (QUEIROZ, 2001). Segundo Veatch (1938) citado por Metcalf & Eddy (2003), com o advento de sistemas de esgoto no século 19, começaram a surgir fazendas de descarte na Europa e Estados Unidos, que eventualmente começaram a utilizar a água residuária para irrigação de culturas.

Westcot (1997) cita a fazenda de Werribee, de Melbourne, Austrália, como uma das mais antigas fazendas de reúso, estabelecida em 1897. Atualmente, segundo o site governamental *Melbourne Water* (2021), a fazenda Werribee funciona como estação de tratamento, e emprega efluente tratado para irrigação e outros fins não potáveis, seguindo as diretrizes de qualidade estabelecidas pelo governo do estado de Vitória.

Segundo Mara e Cairncross (1989), enquanto países como a Alemanha e Tunísia apresentam cidades com uso adequado de efluente tratado para irrigação, países como Índia e México possuem cidades em situações preocupantes de uso de efluente não tratado para irrigação de cultivos.

Apesar das diversas vantagens do reúso agrícola do esgoto tratado, é necessário muito cuidado para tal. Nem todas as culturas podem ser irrigadas com água de reúso, e é necessário monitorar o impacto causado nas águas subterrâneas e na segurança dos alimentos irrigados. (TONETTI, 2018).

No Brasil, não há uma legislação que regulamenta eficientemente o uso de efluente tratado para irrigação na agricultura, sendo o tema não mencionado na Política Nacional de Recursos Hídricos (1997). A irrigação com água de efluente tratado é realizado basicamente no âmbito da pesquisa. (SOUZA *et al.*, 2013).

A resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) N° 54/2005, que “estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água” (BRASIL, 2005, p. 1), traz em seu artigo terceiro § 2º, que “as diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reúso [...] serão estabelecidos pelos órgãos competentes”. (BRASIL, 2005, p. 2)

A resolução do CNRH N° 121/2010, que “estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal” (BRASIL, 2010, p. 1), também não menciona os valores limites de parâmetros, caracterização e monitoramento, atribuindo tal responsabilidade ao órgão ou entidade competente.

Segundo Hespanhol (2002, p. 83), “os governos estaduais e federais deveriam iniciar, imediatamente, processos de gestão para estabelecer bases políticas, legais e institucionais para o reúso.”

De maneira geral, o padrão de qualidade do efluente atualmente é definido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 430/11, que “dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos d’água receptores.” (BRASIL, 2011, p. 1).

A identificação de doenças de vinculação hídrica é difícil, onerosa e nem sempre acessível. Entre as principais, pode-se relacionar a febre tifóide, paratifóide, desenterias amebiana e bacilar, cólera, hepatite e esquistossomose. Nesse contexto, utiliza-se os coliformes fecais (sempre presentes nas fezes dos animais de sangue quente) como indicador de contaminação. (JORDÃO; PESSOA, 2011).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) (MARA; CAIRNCROSS, 1989) cita as Diretrizes Engelberg como recomendação de parâmetros microbiológicos para o efluente tratado, que definem a quantidade máxima de um (01) ovo viável de nematóides por litro (média aritmética) e máximo de mil (1000) coliformes fecais por 100 mililitros (média geométrica).

A OMS recomenda o sistema de tratamento de lagoas de maturação em série para que se atinjam tais parâmetros. Jordão e Pessoa (2011) evidenciam a elevada eficiência desse sistema na redução de organismos patogênicos, com mais de 99% de redução de vírus entéricos e bactérias e 100% de redução de protozoários e helmintos, considerando um sistema de 3 lagoas de maturação em série, com tempo de detenção mínimo de 25 dias.

As águas de reúso para irrigação devem ser utilizadas em atividades que não exijam qualidade de água potável, como irrigação de jardins, campos agrícolas, árvores, podendo ser frutíferas, culturas processadas e flores. De modo geral, não se recomenda a irrigação de culturas a serem consumidas cruas, hortaliças e frutas de ramas rastejantes com esgoto tratado. (TONETTI, 2018).

As características químicas do efluente a serem analisadas a fim de reúso são, principalmente “os sólidos dissolvidos totais, a condutividade elétrica, o índice de adsorção de sódio, íons específicos, elementos traço e metais pesados”, segundo Hespanhol (2002, p. 85).

Os requisitos para a devida utilização da água para a irrigação são, segundo Von Sperling (1996), o controle da salinidade e a ausência de substâncias químicas e

organismos nocivos, tanto ao solo quanto às plantas, bem como à saúde, ao se tratar de produtos cultivados para ingestão.

Segundo Brandão (2002), recomenda-se o uso de efluentes tratados em irrigação de culturas sem fins alimentícios, havendo a irrigação de verduras, hortaliças e frutas somente quando houver severo controle no tratamento e aplicação.

Segundo Hespanhol (2002), a prática da irrigação com efluentes tratados por longos períodos pode levar à acumulação de compostos tóxicos, orgânicos e inorgânicos, e ao aumento significativo de salinidade no solo.

Estudos sobre irrigação com esgoto tratado realizados por Herpin *et al.* (2007), em cultivos de café, e Gloaguen (2007), em cultivos de milho e girassóis, localizados em São Paulo, Brasil, constataram riscos relacionados a sodicidade do solo, redução da matéria orgânica e da capacidade de troca de cátions.

Estudos conduzidos por Gonçalves *et al.* (2007) e Leal *et al.* (2009), ambos na cidade de Lins, São Paulo, nos quais utilizou-se efluente proveniente de tratamento secundário na irrigação de pasto e cana-de-açúcar, respectivamente, os autores obtiveram resultados que reforçaram a necessidade de controle da salinidade e sodicidade do solo, para que o uso de efluente tratado para irrigação seja viável.

Pereira B. (2012) em seu estudo de um solo irrigado por 11 anos com efluente tratado, concluiu que a irrigação a longo prazo promove potencialmente a acumulação de metais pesados no solo, contudo, com mínimo risco de contaminação pela baixa concentração, e que o aumento de sodicidade e salinidade não representariam valores significativos em períodos de até 40 anos.

Após a implementação do sistema de reúso, cabe ainda a garantia efetiva de seu desempenho, por meio do monitoramento e avaliação de entidades competentes, que garantam a conformidade legal, de acordo com as normativas e diretrizes vigentes na legislação correspondente, como discorre Hespanhol (2002).

### 3.9. UTILIZAÇÃO DE BÍOSSÓLIDOS NA AGRICULTURA

Lodo é o termo comumente aceito para designar a porção sólida do esgoto, contudo, se inserido em um contexto benéfico de reutilização, como aperfeiçoamento do solo ou fertilização, o lodo então é referido como biossólidos. (VON SPERLING;

CHERNICHARO, 2005; SPELLMAN, 2009). Os biossólidos consistem em “uma rica fonte de nutrientes orgânicos.” (USMAN *et al.*, 2012, p. 1708).

Segundo Betiol e Camargo (2005) o uso de esgoto na agricultura é uma prática antiga, realizada por exemplo na China, na Prússia, desde 1560, e na Inglaterra, de maneira consolidada a partir do século 19 devido aos esforços de combate à cólera.

Os biossólidos, segundo Costa (2010), são utilizados pelos Estados Unidos, Canadá e diversos outros países europeus há mais de vinte anos como fertilizante agrícola, sendo que o Brasil continua incipiente nesse cenário. De acordo com o exposto por Pedroza *et al.* (2010, p. 89), estima-se “que a produção de lodo no Brasil está entre 150 a 220 mil toneladas por ano”, o que representa um grande potencial não aproveitado de utilização agrícola.

Como base, Khai (2007) citado por Pedroza *et al.* (2010) cita que metade do lodo de esgoto produzido nos Estados Unidos é aplicado ao solo, e que na comunidade europeia, mais de 30% do lodo de esgoto produzido é utilizado como fertilizante na agricultura.

O lodo vem sendo considerado para aplicação agrícola, por conter compostos de potencial valor ao meio ambiente, como concentração de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio (USMAN, *et al.*, 2012), além de provar uma alternativa de baixo custo para a sua disposição, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). (EMBRAPA, 2006).

Contudo, a viabilidade da utilização do lodo de esgoto deve ser estudada, levando em consideração a saúde humana e a segurança do meio ambiente, uma vez que “apresenta em sua composição diversos poluentes, tais como metais pesados, compostos orgânicos persistentes e organismos patogênicos ao homem, atributos que devem ser olhados com muito cuidado.” (BETIOL; CAMARGO, 2005, p. 26).

Segundo Lobo (2010), uma grande preocupação da utilização de lodo de esgoto na agricultura é o aumento da concentração de elementos tóxicos no solo. Para o uso eficiente, é necessário monitoramento constante dos parâmetros do solo e verificação quanto aos valores limites estabelecidos, para análise da influência da aplicação do lodo nas características locais do solo.

Segundo Pescod (1992) e Spellman (2009), para poder ser reutilizado e aplicado na agricultura, o lodo de esgoto precisa passar por tratamento prévio, biológico, químico ou térmico, ou ainda armazenado por longos períodos (mínimo de 3 meses) para sua estabilização, inativação de patógenos, diminuição da fermentação e dos perigos à saúde.

O CONAMA, por meio da Resolução nº 375/2006, “define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências” (BRASIL, 2006, p. 1), em documento que reconhece o potencial do lodo de riscos à saúde pública e ao ambiente, mas também o potencial benéfico à agricultura.

Tal resolução apresenta critérios para a caracterização química do lodo de esgoto e estipula a determinação das concentrações de coliformes, ovos viáveis de helmintos, Salmonella e vírus entéricos, para conhecimento dos agentes patogênicos.

O documento apresenta ainda a necessidade de uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) devidamente licenciada para liberação do uso agrícola do lodo, definida como unidade responsável pelo recebimento, processamento, caracterização, transporte, destinação do lodo e monitoramento dos efeitos ambientais, agronômicos e sanitários de sua aplicação. (BRASIL, 2006).

A Resolução nº 375/2006 ainda acrescenta diversas limitações ao uso do lodo, como proibição de uso em culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo (BRASIL, 2006), bem como em Áreas de Proteção Ambiental e em um raio mínimo de 100 metros de residências e 15 metros de vias públicas.

Quanto a experiência brasileira com a utilização do lodo, Bittencourt, Aisse e Serrat (2017) apontam que é uma prática limitada a estados como o São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Distrito Federal, apesar de ser uma tendência mundial consolidada, e que o Paraná tem na agricultura a destinação prioritária do lodo.

No Paraná, a utilização de lodo de esgoto na agricultura está sujeita a Resolução nº 021/2009, da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), que “Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento.” (BRASIL, 2009, p. 1).

No período de 2011 a 2013, verificou-se que 107 416 toneladas de lodo de esgoto higienizado foram aplicadas em 5.529 hectares de áreas agrícolas no Paraná, sendo a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) responsável por 54% da destinação. (BITTENCOURT; AISSE e SERRAT, 2017).

O estudo de caso de utilização de lodo para fim agrícola desenvolvido por Bittencourt, Aisse e Serrat (2017), verificou a complexidade de implementação do sistema e sua infraestrutura, bem como necessidade de profissionais capacitados na gestão dos processos.

Em um estudo de implementação de biossólidos na agricultura, realizado por Malta (2001) no município de Ostras, Rio de Janeiro, concluiu-se que, com controle adequado e regular dos parâmetros de qualidade e segurança definidos pela legislação, a boa qualidade tanto do biossólido quanto do produto por ele adubado pode ser garantida.

Observando os estudos, percebe-se a diferença quanto a simplificação na percepção do processo em vista da utilização de água de efluente tratado, uma vez que a legislação referente a utilização do lodo já norteia os parâmetros de qualidade para um espectro esperado de resultados conhecidos e aceitáveis.

### 3.10. OUTRAS UTILIZAÇÕES DO LODO DO TRATAMENTO DE ESGOTO

#### 3.10.1. Fonte energética

Segundo Sena (2005), o poder calorífico do lodo fresco seco é elevado, em comparação com outras biomassas tradicionais, o que possibilita a sua utilização como uma eficiente fonte energética.

Em estudo realizado por Borges, Sellin e Medeiros (2008), foram analisadas três amostras de lodo, em que se verificou alto poder calorífico, demonstrando capacidade para liberação de energia muito próxima a de outras biomassas já empregadas como combustível na geração de energia. (BORGES, SELLIN E MEDEIROS, 2008).

Quanto a questão econômica, um estudo realizado por Giroto, Anschau e Serpa (2018) sobre a queima de lodo como biomassa para geração de energia em

uma indústria avícola constatou que, para uma adição de 15% de lodo em relação a massa de lenha, a implementação do sistema apresentaria um retorno financeiro do investimento em 28 meses, com o efeito da redução de combustível necessário, e que o custo de manutenção do sistema equivaleria a 37% do custo do transporte e disposição do lodo que a empresa já realizava.

### 3.10.2. Cinzas de lodo

Diversas aplicações são conhecidas para as cinzas de lodo incinerado, dentre as quais Ingunza, Pereira e Junior (2015) citam o uso na produção de cimento, a adição ao concreto, a adição na pavimentação e na produção de cerâmicas.

Godoy (2013) aponta a possibilidade de incorporação de cinzas de lodo de esgoto na fabricação de produtos cerâmicos, como telhas, tubos, tijolos e lajotas, bem como a possibilidade de substituição de agregados leves (areias, pedriscos) na fabricação de cimento e concreto.

Tay (1987) conclui em seu trabalho que é viável a utilização de cinzas de lodo como substituição de uma porção do cimento no concreto. Nakic (2018) em seu estudo obteve concreto com as mesmas propriedades técnicas ao substituir 10% do cimento por cinzas de lodo, ao mesmo tempo em que reduziu em 9% os impactos ambientais do processo.

Resultados obtidos por Lima (2013) verificam a melhora da resistência mecânica à compressão e do comportamento microestrutural do concreto com adição de cinzas de lodo, além de melhores valores de índice de vazios e absorção, apesar da diminuição da trabalhabilidade.

Estudos realizados por Pereira K. (2012) e Ingunza, Pereira e Junior (2015) confirmaram a viabilidade do uso de cinzas de lodo como aditivo estabilizante para misturas de solo-cimento em camadas de base e sub-base. Ambos encontraram cerca de 26% de ganho na resistência a compressão simples em traços de concreto com adição de cinzas de lodo, devido a suas propriedades pozolânicas, além da diminuição da massa específica da mistura.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

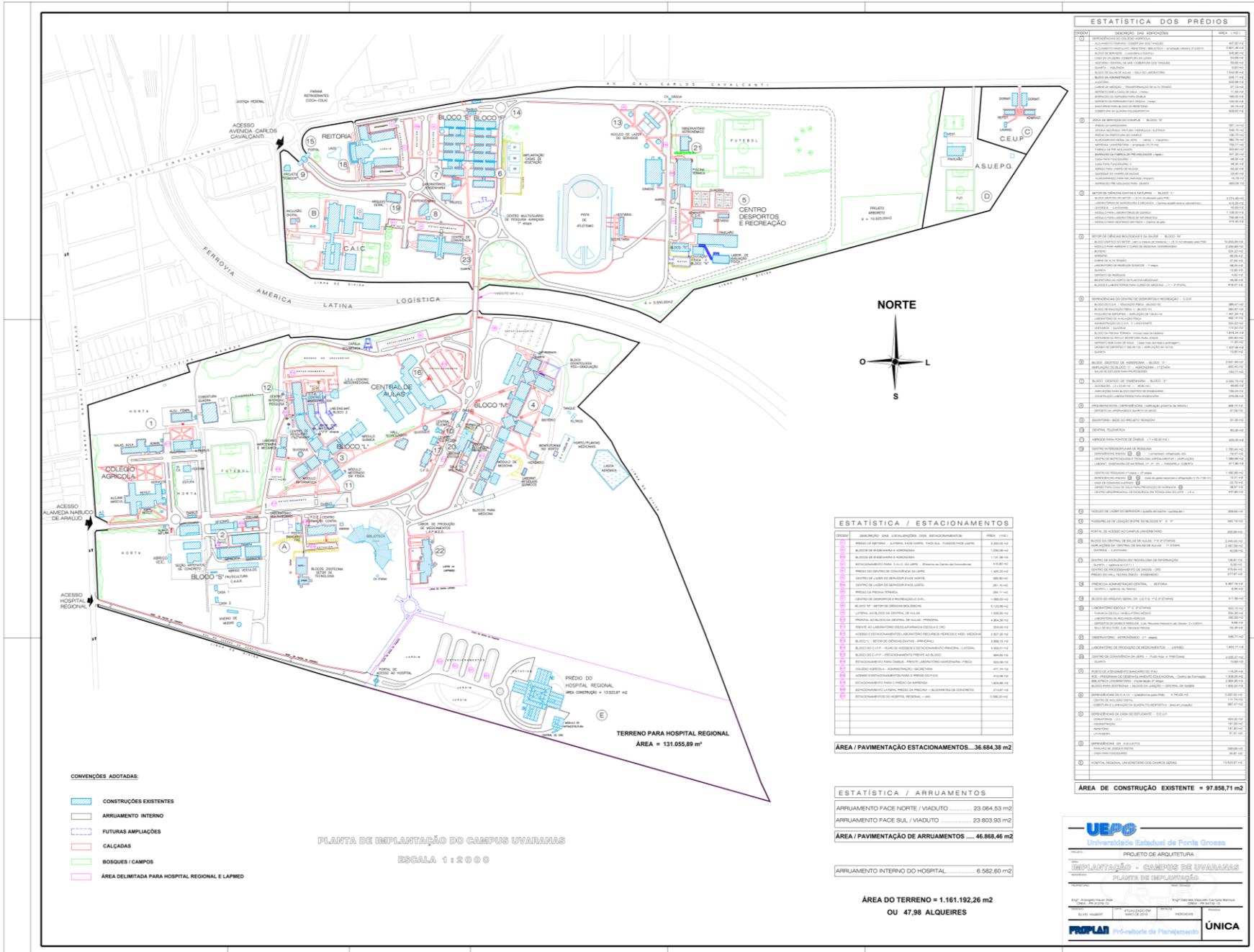
O local de estudo se trata do Campus Uvaranas da UEPG, situado no endereço Av. General Carlos Cavalcanti n° 4748, no município de Ponta Grossa, estado do Paraná. O campus universitário possui 1.161.192,26 m<sup>2</sup> de área física e 97.858,71 m<sup>2</sup> de área edificada. (PROPLAN, 2015).

A sede em Uvaranas compreende as edificações relacionadas aos setores de Ciências Exatas e Naturais; Engenharias, Ciências Agrárias e de Tecnologia; e ao setor de Ciências Biológicas e da Saúde. Ainda, engloba o Hospital Universitário Regional dos Campos Gerais (HU), as instalações utilizadas pela comunidade acadêmica e as edificações destinadas a outros serviços da instituição. O terreno também é ocupado pelo Colégio Agrícola Estadual Augusto Ribas (CAAR) e pelo Centro de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente (CAIC). (KRAINSKI, L. B.; LEPINSKI, J. C. K.; MAZER JUNIOR, A., 2014). A Figura 15 apresenta a planta arquitetônica do campus universitário.

No Bloco M estão situados os laboratórios do setor de Ciências Biológicas e da Saúde, ou seja, de cursos como Medicina, Farmácia e Odontologia. Já no Bloco L destaca-se a atuação do Departamento de Química. O Bloco E comporta os laboratórios referentes ao curso de Engenharia Civil, como o de Saneamento e Instalações Hidráulicas, e o Bloco F, os de Agronomia. Dessa forma, sabe-se que grande parte dos laboratórios da instituição faz o uso de produtos químicos em suas atividades, os quais necessitam de descarte adequado.

O território do estado do Paraná é dividido em 16 bacias hidrográficas, sendo o município de Ponta Grossa inserido nas bacias dos rios Ribeira e Tibagi, componentes da unidade hidrográfica Alto Tibagi. (PONTA GROSSA, 2019). O Campus Uvaranas está inserido na bacia hidrográfica do Rio Tibagi e o curso d'água mais próximo, denominado Rio Verde, está situado ao norte a aproximadamente 1,5 km de distância.

Figura 15 – Planta arquitetônica do Campus Uvaranas da UEPG



Fonte: PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **Espaço Físico:** Campus Uvaranas. Disponível em: <<http://www2.uepg.br/proplan/wp-content/uploads/sites/145/2020/10/Campus-Uvaranas.pdf>>. Acesso em: 09 de agosto de 2021.

A parcela norte do Campus, localizada antes da linha férrea, está situada majoritariamente entre as cotas de 900 m e 890 m. Após a linha férrea, o terreno apresenta declividade no sentido oeste-leste, com 905 m na cota mais alta e 865 m na cota mais baixa. A Figura 16 exhibe as curvas de nível da localização estudada, cedidas pela Pró-Reitora de Planejamento Andrea Tedesco.

Figura 16 – Curvas de nível do Campus Uvaranas da UEPG



Fonte: Adaptado de: TEDESCO, A. *et al.* **Cadastro técnico multifinalitário do Campus Uvaranas - UEPG**. Artigo. In: 18º CONEX - Encontro Conversando sobre Extensão. 2020.

#### 4.2. DADOS DE POPULAÇÃO

O Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) de 2018 revela que o corpo de agentes universitários é constituído por 775 agentes e o sistema de bibliotecas possui 30 funcionários, porém, o valor também inclui o Campus Central. (PROPLAN, 2018). A população do HU, CAIC e CAAR não foi documentada. Segundo o Relatório de Gestão UEPG em Números de 2014, há 194 laboratórios na instituição, sendo 80 situados no Bloco M e 75 situados no Bloco L. (KRAINSKI, L. B.; LEPINSKI, J. C. K.; MAZER JUNIOR, A., 2014).

Os dados demográficos do Campus Uvaranas foram extraídos dos relatórios de gestão “UEPG em números”, documentos divulgados pela Assessoria de

Planejamento (ASSEPLAN) e Pró-reitoria de Planejamento (PROPLAN), em anos específicos, como consta na Tabela 3, além dos valores referentes ao ano de 2021, fornecidos por meio de boletim extraordinário pela PROPLAN e pela secretaria do CAIC e CAAR.

Tabela 3 – População ativa de alunos e servidores do Campus Uvaranas da UEPG, CAIC e CAAR\*

	UEPG				Total	CAIC	CAAR	Total
	Docentes	Alunos	Pós grad.	Funcionários		Alunos	Alunos	
2002	400	3540	352	137	4429	676	211	5316
2003	417	3784	270	137	4608	630	221	5459
2004	417	3784	270	137	4608	630	221	5459
2005	392	3801	333	132	4658	665	258	5581
2006	445	3806	323	132	4706	649	251	5606
2007	422	3966	285	125	4798	648	238	5684
2009	469	4060	242	124	4895	677	250	5822
2010	486	3864	282	131	4763	669	250	5682
2011	495	4061	376	117	5049	675	250	5974
2012	513	3704	493	129	4839	650	272	5761
2013	524	3686	1030	126	5366	661	280	6307
2014	532	3730	957	**	5219	658	286	6163
2021	619	4059	1997	550	7225	693	302	8220

Fonte: ASSEPLAN, 2002, 2003, 2004, 2005; PROPLAN 2006, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2021; PROPLAN (2021).

Nota: (\*) Número de servidores do CAIC e CAAR não incluídos por falta de dados

(\*\*) Valor não informado

A Tabela 4 apresenta um levantamento do número de docentes e vagas dos cursos de graduação ofertados no Campus Uvaranas em 2021, além do bloco onde concentram suas atividades. A Tabela 5 apresenta o levantamento de docentes e vagas dos cursos de pós-graduação (mestrado e doutorado) ofertados no Campus Uvaranas em 2021. Foram contabilizados dados referentes aos setores de conhecimento de Ciências Exatas e Naturais (SEXATAS), Engenharias, Ciências Agrárias e de Tecnologia (SECATE) e Ciências Biológicas e da Saúde (SEBISA), além de dados de cursos específicos vinculados ao setor de Ciências Humanas, Letras e Artes, que são ofertados no Campus Uvaranas.

Tais levantamentos foram realizados para avaliar a capacidade atual da instituição, bem como constar como fonte discriminada de dados para identificação de população contribuinte para um ponto específico da rede de esgoto do Campus, no caso de ensaios futuros de caracterização.

Tabela 4 - Levantamento de docentes e vagas dos cursos presenciais de graduação ofertados no Campus Uvaranas em 2021 (continua)

Ciências Exatas e Naturais	Turno	Docentes	Vagas	Turmas	Alunos	Bloco*
Licenciatura em Matemática	Noturno	45	60	4	240	L
Bacharelado em Matemática	Integral		30	4	120	L
Licenciatura em Geografia	Noturno	29	40	4	160	L
Bacharelado em Geografia	Matutino		40	4	160	L
Licenciatura em Física	Noturno	31	30	4	120	L
Bacharelado em Física	Integral		30	4	120	L
Licenciatura em Química	Noturno	38	30	4	120	L
Bacharelado em Química Tecnológica	Integral		30	5	150	L
<b>Total</b>		<b>143</b>			<b>1190</b>	
Ciências Agrárias e de Tecnologia	Turno	Docentes	Alunos	Turmas	Total alunos	Bloco
Engenharia Civil	Integral	25	50	5	250	E
Agronomia	Integral	15	60	5	300	F
Engenharia de Materiais	Integral	16	50	5	250	L
Engenharia de Alimentos	Integral	17	40	5	200	CTA*
Bacharelado em Engenharia de Software	Noturno	28	40	5	200	L
Engenharia de Computação	Integral		45	5	225	L
Zootecnia	Integral	13	45	5	225	Z
<b>Total</b>		<b>114</b>			<b>1650</b>	

Fonte: Portal UEPG 2021; CPS, 2021.

Nota: (\*) Blocos de concentração das atividades presenciais dos cursos

(\*\*) Ciência e Tecnologia de Alimentos

(\*\*\*) Central de Salas

Tabela 4 – Levantamento de docentes e vagas dos cursos presenciais de graduação ofertados no Campus Uvaranas em 2021 (conclusão)

Ciências Biológicas e da Saúde	Turno	Docentes	Alunos	Turmas	Total alunos	Bloco
Medicina	Integral	56	40	5	200	M
Farmácia	Integral	44	45	5	225	M
Odontologia	Integral	59	60	5	300	M
Licenciatura em Ciências Biológicas	Vespertino		25	4	100	M
Licenciatura em Ciências Biológicas	Noturno	32	25	4	100	M
Bacharelado em Ciências Biológicas	Integral		25	4	100	M
Bacharelado em Educação Física	Integral		50	4	200	G
Licenciatura em Educação Física	Noturno	31	50	4	200	G
Bacharelado em Enfermagem	Integral	32	40	5	200	M
<b>Total</b>		<b>254</b>			<b>1625</b>	
Ciências humanas, letras e artes	Turno	Docentes	Alunos	Turmas	Total alunos	Bloco
Licenciatura em História	Noturno		40	4	160	CDS**
Bacharelado em História	Vespertino	33	40	4	160	CDS
Licenciatura em Música	Vespertino		20	4	80	CDS
Licenciatura em Artes Visuais	Vespertino	27	24	4	96	CDS
<b>Total</b>		<b>60</b>			<b>496</b>	

Fonte: Portal UEPG 2021; CPS, 2021.

Nota: (\*) Blocos de concentração das atividades presenciais dos cursos

(\*\*) Ciência e Tecnologia de Alimentos

(\*\*\*) Central de Salas

Tabela 5 - Levantamento de docentes e vagas dos cursos de pós-graduação ofertados no Campus Uvaranas em 2021

ENGENHARIAS, CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA	Docentes	Mestrado		Doutorado		Vagas
		Vagas	Turmas	Vagas	Turmas	
Agricultura	22	30	2	20	4	140
Biocombustíveis	5	6	2	0	0	12
Ciências e Tecnologia de Alimentos	14	20	2	20	4	80
Computação para Tecnologias em Agricultura	16	15	2	0	0	30
Desenvolvimento e Caracterização de Materiais	16	20	2	15	4	100
Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos	19	20	2	0	0	40
Produção Animal	11	12	3	0	0	36
<b>Total</b>	<b>92</b>					<b>402</b>
BIOLÓGICAS E DA SAÚDE	Docentes	Vagas	Turmas	Vagas	Turmas	Vagas
Biologia Evolutiva	16	15	2	0	0	30
Biologia Celular e Molecular Fisiologia e Fisiopatologia	12	12	2	0	0	24
Atenção Interdisciplinar em Saúde	23	16	2	0	0	32
Fármacos, Medicamentos e Biocências Aplicadas à Farmácia	10	30	2	46	4	244
Clínica Integrada Dentística Restauradora	15	27	2	29	4	170
<b>Total</b>	<b>76</b>					<b>500</b>
EXATAS E NATURAIS	Docentes	Vagas	Turmas	Vagas	Turmas	Vagas
Física	15	20	2	10	4	80
Ensino de Ciências e Educação Matemática	16	20	2	0	0	40
Gestão do Território: Sociedade e Natureza	20	22	2	10	4	84
Aplicada Química	25	40	2	40	4	240
<b>Total</b>	<b>76</b>					<b>444</b>
Mestrado Profissional - cursos	Docentes	Vagas	Turmas	Vagas	Turmas	Vagas
Ensino de Física	15	10	2	0	0	20
Ensino de História	11	15	2	0	0	30
Matemática	13	10	3	0	0	30
<b>Total</b>	<b>39</b>					<b>60</b>

Fonte: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA, 2021; SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA, 2021

Quanto à projeção dos dados demográficos, Sperling (2007b), apresenta (segundo FAIR et al., 1973; CETESB, 1978; BARNES et al., 1981; QASIM, 1985; METCALF & EDDY, 1991) os seguintes métodos: projeção aritmética ou linear, projeção geométrica, regressão multiplicativa, taxa decrescente de crescimento, curva logística, comparação gráfica entre comunidades similares, método de razão e correlação e previsão baseada em empregos e outros indicadores. Segundo Tsutiya (2006), dentre os métodos matemáticos de projeção populacional, se destacam o aritmético, o geométrico e a curva logística.

Neste trabalho, optou-se pelo método geométrico, pois o padrão de comportamento gráfico desse modelo matemático, apresentado por Sperling (2007b) e Tsutiya (2006) é o que mais se assemelha ao comportamento gráfico do crescimento populacional observado na UEPG nos anos com dados disponíveis entre 2002 e 2014, além de resultar em valores mais adequados que o método de regressão logística, também aplicado.

#### 4.3. SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EXISTENTE

No município de Ponta Grossa, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) desempenha os serviços de coleta e tratamento do esgoto sanitário desde 1975, por meio de Contrato de Concessão de Serviços Públicos. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município, revisado em 2019, a rede coletora de esgoto sanitário é composta por 1.821.950 metros de tubulações e 100.485 ligações na zona urbana. O sistema completo compreende 20 estações elevatórias e 10 estações de tratamento de esgoto, com capacidade total de 690 L/s. (PONTA GROSSA, 2019).

Antes da integração do Campus à rede coletora pública, por volta de 2012, o esgoto da instituição era destinado a conjuntos de fossas sépticas e sumidouros, situados próximos de cada edificação. O Restaurante Universitário e a Casa do Estudante eram as únicas instalações que despejavam o esgoto na rede pública. Atrás do Bloco M estava situada uma lagoa aeróbia, utilizada para tratar o esgoto proveniente do mesmo.

A Pró-Reitoria de Planejamento da instituição não dispõe do cadastro técnico da rede coletora de esgoto atualizado, porém, sabe-se que todo o esgoto do Campus

é direcionado para a rede pública atualmente. O traçado da rede atual, cedido pela SANEPAR, foi complementado com os trechos ausentes e com a identificação dos órgãos acessórios pertinentes, por meio de visitas ao Campus.

As visitas foram guiadas pelo agente universitário Amadeus de Moraes, Chefe da Seção Hidráulica da PRECAM, nos dias 02/09/2021 e 20/09/2021. Com o auxílio da planta arquitetônica do Campus impressa, o traçado da rede coletora foi percorrido e demarcado, bem como a localização dos poços de visita e caixas de inspeção. Quando necessário, tais órgãos acessórios foram abertos para identificar a direção do esgoto. Os registros fotográficos da visita foram inseridos na planta da rede em anexo.

#### 4.4. ANÁLISE DE DADOS EM ESTUDOS SIMILARES

O esgoto gerado em campi universitários é resultante de diversas atividades, abrangendo desde descargas de banheiros até a utilização de pias em laboratórios. Embora seja presumida sua similaridade ao esgoto sanitário, é pertinente analisar os parâmetros obtidos em demais publicações nesse contexto, bem como comparar com os dados disponíveis na literatura. Ao todo 19 publicações foram reunidas, datadas de 1997 a 2020, onde 11 são de origem nacional e 8 de origem estrangeira. A sigla, nome e autor de cada universidade está representada no Quadro 2.

Os parâmetros que foram avaliados neste trabalho foram dados das pesquisas de: pH,  $DBO_{5,20}$ , DQO, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal, fósforo total, sólidos totais, sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis.

Os dados reunidos correspondem à média de cada parâmetro encontrada pelo respectivo autor da pesquisa. No caso de diversos pontos de coleta, optou-se pelo ponto que melhor representa o esgoto bruto total da instituição. Quando não apresentada uma única média do parâmetro, efetuou-se a média dos valores disponíveis.

Os dados atípicos de publicações que demonstraram justificativa para sua anormalidade foram desconsiderados de todas as análises. Em caso de dados insuficientes para uma análise estatística confiável, foi realizada apenas a média simples dos valores.

As estatísticas aplicadas aos parâmetros extraídos das publicações nacionais e internacionais são: média aritmética simples, desvio padrão amostral, coeficiente de variação, valores mínimos e valores máximos.

Quadro 2 – Dados de referência das publicações analisadas

Sigla	Nome da universidade	Fonte
UFAL	Universidade Federal de Alagoas	Cavalcante (2017)
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto	Bertolino (2007)
UFPEl	Universidade Federal de Pelotas	Pereira (2014)
UNIFAL	Universidade Federal de Alfenas	Menezes (2017)
UNISC <sup>1</sup>	Universidade de Santa Cruz do Sul	Machado <i>et al.</i> (2009)
UNISC <sup>2</sup>	—	Düpont (2010)
USP <sup>1</sup>	Universidade de São Paulo - São Carlos	Sarti <i>et al.</i> (2006)
USP <sup>2</sup>	—	Villela e Foresti (1997)
USP <sup>3</sup>	—	Netto (2007)
UFV	Universidade Federal de Viçosa	Aquino (2013)
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Martins (2012)
ULPGC	Universidade de Las Palmas de Gran Canaria	Melián <i>et al.</i> (2009)
USD	Universidade Suleyman Demirel	Yigit <i>et al.</i> (2008)
UATXA	Universidade de Arquitetura e Tecnologia de Xi'na	Liu; Yang e Wan (2012)
URS	Universidade da República de Sivas	Coskuner e Ozdemir (2006)
UESA	Universidade Estadual de Surabaya	Winanti; Rahmadyanti e Fajarwati (2018)
UNCK	Universidade Nacional de Cheng-Kung	Ou <i>et al.</i> (2006)
UDT	Universidade Democritus de Thrace	Papaevangelou; Gikas e Tsihrintzis (2016)
ACTV	Academia de Ciência e Tecnologia do Vietnã	Huong; Costa e Hoi (2020)

Fonte: As autoras (2021).

Nota: O índice numérico atribuído à sigla identifica trabalhos diferentes realizados em uma mesma universidade.

#### 4.5. PROPOSTA DE TRATAMENTO DO ESGOTO E REÚSO

A partir do referencial bibliográfico, da área disponível para instalação e da possível destinação para o efluente, foi proposto um sistema que engloba as operações unitárias dos sistemas convencionais (preliminar, primário, secundário e terciário) adequado ao perfil do esgoto, ao volume gerado pela instituição e aos recursos disponíveis para a implantação.

Verificou-se a possibilidade de disposição do efluente e resíduos gerados pelo sistema de tratamento proposto dentro da própria instituição, por meio de reúso para outras atividades como irrigação de culturas, árvores e gramados e a utilização do lodo para fertilização.

A área destinada ao sistema de tratamento e reservada para cultivo e reúso foi determinada por meio de vistoria aérea da plataforma Google Earth e por meio de visitas nos locais.

#### 4.6. DIRETRIZES E RECOMENDAÇÕES DE DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento de todas as etapas do sistema de tratamento de esgoto foi baseado nos procedimentos descritos em “Tratamento de esgotos domésticos” por Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessoa, de 2011; e “*Biological wastewater treatment in warm climate regions*” por Marcos von Sperling e Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, de 2005.

- Vazões do esgoto

Os coeficientes de retorno, de máxima vazão diária, de máxima vazão horária e de mínima vazão horária foram retirados da NBR 9649 (ABNT, 1986) sendo, respectivamente: 0,8; 1,2; 1,5; 0,5. O consumo de água foi fornecido pela Prefeitura do Campus Uvaranas (PRECAM) para os anos de 2018 e 2019 e realizada a média simples dos valores. Para os demais dimensionamentos, as vazões máxima e média foram adotadas conforme a população de projeto e a vazão mínima conforme a população atual.

- Gradeamento

Acerca da velocidade de passagem entre barras, Jordão e Pessoa (2011) recomendam para a vazão máxima de projeto a velocidade mínima de 0,6 m/s e máxima de 1,0 m/s. A NBR 12208 (ABNT, 1992) define que, para a vazão máxima de projeto, a velocidade através da grade deve ser inferior a 1,2 m/s. Para o cálculo inicial, a velocidade de passagem entre barras foi fixada em 0,9 m/s e posteriormente recalculada para refletir as dimensões adotadas.

Pela NBR 12208 (ABNT, 1992), a perda de carga é calculada conforme às condições máximas de projeto. No caso de limpeza manual, deve ser calculada para 50% de obstrução da grade e possui um valor mínimo a ser considerado de 0,15 m.

- Desarenador

Optou-se pela utilização de um desarenador com seção retangular. Jordão e Pessoa (2011) recomendam a velocidade de escoamento horizontal no desarenador entre 0,15 e 0,3 m/s, não ultrapassando 0,4 m/s. Dessa forma, ao fixar a velocidade em 0,3 m/s, é possível determinar a largura e o comprimento. Posteriormente os valores foram recalculados para as dimensões adotadas.

Tratando-se de um desarenador por gravidade, a NBR 12209 (ABNT, 1992) define que a taxa de aplicação ou escoamento superficial esteja compreendida entre 600 a 1300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d.

- Calha Parshall

A calha Parshall possui dimensões padronizadas de acordo com a vazão máxima e mínima de esgoto. No entanto, empresas do mercado nacional atendem à duas normativas diferentes para definir as dimensões, a norma estrangeira D1941 (ASTM, 2013) e a brasileira NBR ISO 9826 (ABNT, 2009). Optou-se pela calha Parshall definida pela D1941 (ASTM, 2013) por atender a vazões menores.

- Reator UASB

O tempo de detenção hidráulica (TDH) do reator UASB foi adotado inicialmente como 8 horas e mantido em uma faixa de 8 a 10 horas, como recomenda Von Sperling e Chernicharo (2005) para o tratamento de esgoto sanitário a uma temperatura de aproximadamente 20°C. Segundo os mesmos autores, a altura do

reator deve estar entre 3 e 6 m, a velocidade ascensional do líquido entre 0,5 e 0,7 m/h para a vazão média e até 1,1 m/h para a vazão máxima.

Quanto aos tubos para a distribuição de esgoto no sistema, recomenda-se o diâmetro de 75 mm para assegurar uma velocidade descendente inferior a 0,2 m/s e utilizar de 2 a 3 m<sup>2</sup> de área de influência por tubo. De acordo com a carga orgânica volumétrica calculada e os valores de referência, adotou-se para cálculo o valor de 2 m<sup>2</sup> por tubo.

- Eficiência do reator UASB

Os autores Von Sperling e Chernicharo (2005) citam fórmulas que relacionam o TDH do reator à eficiência de remoção da matéria orgânica. Optou-se por uma redução de 5% do valor calculado como margem de segurança.

Os valores de referência utilizados para a DBO e DQO do esgoto bruto foram obtidos na análise de dados de outras universidades brasileiras, iguais a 283,6 mg/L e 528,6 mg/L, respectivamente.

- Leito de secagem de lodo

A produção de lodo pelo reator é calculada a partir da carga de DQO do esgoto afluente e de um coeficiente de produção de sólidos. Segundo Jordão e Pessoa (2011), o coeficiente possui valor típico entre 0,15 a 0,20 kgSST/kgDQO. O valor adotado foi de 0,15 kgSST/kgDQO.

Para o cálculo do volume de lodo, a densidade típica está entre 1.020 a 1.040 kg/m<sup>3</sup> e a taxa de concentração de sólidos de 3 a 5%, tendendo a aumentar se nenhum descarte for praticado ao longo do tempo de operação do sistema. Os valores utilizados foram 1.030 kg/m<sup>3</sup> e 4%, respectivamente.

O período de secagem do lodo foi estimado em 20 dias e o de limpeza do leito em 3 dias, resultando em um ciclo de 23 dias. A descarga de lodo para secagem deve estar limitada em até 15 kgSST/m<sup>2</sup> por ciclo de operação, conforme a NBR 12209 (ABNT, 1992).

- Lagoa facultativa

Segundo Jordão e Pessoa (2011), é preferível que o formato da lagoa seja retangular, tendendo a uma relação entre comprimento e largura da ordem de 2 a 5.

Adotou-se a relação de 1:3 para aproximar a lagoa ao regime de fluxo em pistão. Entre diversos métodos para o cálculo da área superficial, optou-se pelo valor pré-determinado de carga orgânica por área superficial.

Segundo Von Sperling e Chernicharo (2005), a taxa de carga orgânica aplicada por área para uma região com inverno frio e baixa insolação está entre 100 a 180 kgDBO/hab.d. O valor utilizado foi de 140 kgDBO5/hab.d.

A geometria da lagoa pode ser determinada a partir da profundidade e verificada para o TDH. Segundo Jordão e Pessoa (2011), a profundidade das lagoas facultativas está situada entre 1,2 e 2,0 m e o TDH de 15 a 45 dias.

Von Sperling e Chernicharo (2005) mencionam que as lagoas de profundidade rasa, de 0,8 a 1,0 m, favorecem a remoção de nutrientes e organismos patogênicos, enquanto lagoas mais profundas, de 1,5 a 3,0 m, contribuem para a remoção de matéria orgânica. Visto que o efluente da lagoa será reutilizado para fins agrícolas, foi adotado o valor inferior limite de 1,5 m, visando reduzir a matéria orgânica restante do reator UASB e promover uma possível redução de patógenos.

- Eficiência da lagoa facultativa

Os valores de DBO e coliformes no efluente final podem ser estimados a partir dos parâmetros do esgoto afluente, do TDH da lagoa e de coeficientes específicos. As fórmulas empregadas são baseadas no regime de fluxo em pistão, dada a relação entre comprimento e largura adotada, que reduz a dispersão longitudinal do líquido.

O modelo mais semelhante à uma lagoa real é o de regime de fluxo disperso, porém, os modelos matemáticos disponíveis são complexos. Dessa forma, utilizam-se modelos idealizados de mistura completa e de fluxo em pistão para obter estimativas da situação real.

Em lagoas secundárias, Jordão e Pessoa (2011) recomendam a faixa de 0,20 a 0,30 d<sup>-1</sup> para o coeficiente de degradação de matéria orgânica, admitindo um regime de mistura completa e temperatura do líquido de 20°C. Von Sperling e Chernicharo (2005) apresentam a faixa de 0,25 a 0,32 d<sup>-1</sup> para a mesma situação. No entanto, o valor da constante se aproxima da faixa de 0,10 a 0,20 d<sup>-1</sup> para uma lagoa de fluxo disperso, na mesma temperatura, segundo Jordão e Pessoa (2011).

Os valores de referência encontrados em outros estudos variam expressivamente conforme as considerações e circunstâncias. Dessa forma, optou-se pela utilização do valor médio de  $0,20 \text{ d}^{-1}$ , pois é próximo do valor recomendado para o fluxo disperso, considerado o mais próximo do real.

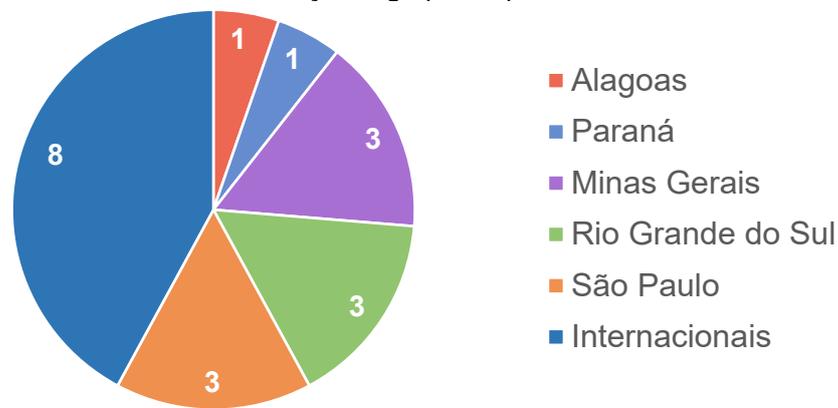
O valor de coliformes no esgoto afluente foi adotado como  $10^6 \text{ CF}/100 \text{ ml}$ , conforme Von Sperling e Chernicharo (2005). A fórmula escolhida para o cálculo do coeficiente de remoção de coliformes é derivada de um estudo brasileiro, por Von Sperling (1999), com 33 lagoas facultativas e de maturação situadas entre as latitudes  $7^\circ\text{S}$  a  $23,5^\circ\text{S}$  do país. Do número de lagoas, 13 eram em escala piloto e 20 em escala real, e o número de dados utilizado foi de 66. Empregando o regime hidráulico de fluxo disperso, foi possível encontrar uma relação entre o coeficiente de remoção de coliformes, a profundidade da lagoa e o tempo de detenção hidráulica, levando à fórmula utilizada.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. ANÁLISE DE DADOS EM ESTUDOS SIMILARES

O Gráfico 1 demonstra de maneira visual a distribuição das publicações selecionadas por estado brasileiro em comparação às internacionais. Observa-se que, das 11 publicações nacionais, 10 têm origem em estados da região sul e sudeste, favorecendo a similaridade de resultados em relação ao fator geográfico.

Gráfico 1 – Publicações agrupadas por localidade



Fonte: As autoras (2021).

Os parâmetros de qualidade do esgoto bruto retirados das publicações estão dispostos na Tabela 6, como também as médias nacional e internacional.

Dos dados disponíveis, apenas 4 valores apresentaram justificativa para a sua remoção da Tabela 6. O nitrogênio amoniacal de valor 139 mg/L, encontrado na Universidade de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), foi descartado devido a infiltração de nutrientes no sistema de coleta por uma pequena fazenda próxima ao campus. (MELIÁN *et al.*, 2009).

Os sólidos suspensos totais de valor 26,8 mg/L, obtido na Academia de Ciência e Tecnologia do Vietnã (ACTV), foi removido em virtude da coleta ser realizada após um tanque de sedimentação, o qual interfere na fração de sólidos (HUONG; COSTA e HOI, 2020). No mesmo parâmetro, o valor de 48,0 mg/L obtido na Universidade Nacional de Cheng-Kung (UNCK) foi retirado pela coleta ser efetuada após um tratamento prévio por tanque séptico. (OU *et al.*, 2006).

Tabela 6 – Parâmetros de qualidade do esgoto bruto extraídos das publicações nacionais e internacionais

Universidade	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	N - NTK (mg/L)	N - Amoniacal (mg/L)	Fósforo (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)
UFAL	7,0	416,9	471,7	62,08	35,93	5,56	585,0	201,0	-
UFOP	7,4	300,0	670,0	54,80	38,20	5,80	-	296,0	-
UFPEl	7,4	-	298,8	58,45	23,48	0,32	540,0	76,7	-
UNIFAL	7,1	-	625,4	-	9,30	-	507,6	134,5	102,8
UNISC <sup>1</sup>	-	147,4	169,4	52,10	56,45	7,17	-	78,3	-
UNISC <sup>2</sup>	8,4	176,6	561,4	-	50,58	2,88	-	236,6	-
USP <sup>1</sup>	6,9	-	563,0	-	-	-	-	250,0	203,0
USP <sup>2</sup>	6,8	377,0	639,0	-	26,00	18,00	676,0	216,0	181,0
USP <sup>3</sup>	6,8	-	639,5	39,33	26,67	-	-	190,5	24,7 (*)
UFV	7,7	-	-	-	42,76	-	-	269,6	-
UTFPR	7,0	-	648,0	-	-	-	637,0	140,0	120,0
<b>Média brasileira</b>	<b>7,2</b>	<b>283,6</b>	<b>528,6</b>	<b>53,35</b>	<b>34,37</b>	<b>6,62</b>	<b>589,1</b>	<b>189,9</b>	<b>151,7</b>
ULPGC	-	314,0	416,0	-	139,0 (*)	-	-	158,0	-
USD	7,9	205,0	316,0	34,00	24,00	4,80	-	109,0	-
UATXA	7,3	-	215,2	-	33,20	2,43	-	-	-
URS	-	105,8	-	-	9,00	-	-	78,3	-
UESA	8,2	220,0	356,0	-	-	21,95	-	84,0	-
UNCK	8,2	98,7	166,8	64,57	-	11,40	-	48,0 (*)	-
UDT	7,5	241,6	350,2	85,40	73,40	9,80	-	130,7	-
ACTV	-	149,7	185,4	48,90	22,50	5,10	-	26,8 (*)	-
<b>Média estrangeira</b>	<b>7,8</b>	<b>190,7</b>	<b>286,5</b>	<b>58,22</b>	<b>32,42</b>	<b>9,25</b>	<b>-</b>	<b>112,0</b>	<b>-</b>

Fonte: As autoras (2021).

Nota: (\*) Valores desconsiderados por apresentarem anormalidade justificável.

Os sólidos suspensos voláteis de valor 24,7 mg/L, encontrado no estudo de Netto (2017) da Universidade de São Paulo (USP), apresentou grande divergência em relação aos outros valores da mesma universidade obtidos pelos demais autores.

A fase experimental de Netto (2007) durou de março a dezembro de 2006 e teve por objetivo avaliar o desempenho de um reator anaeróbio-aeróbio em diferentes configurações. A medição de sólidos suspensos voláteis do afluente e efluente foi repetida 2 vezes por semana, em cada configuração. Os dados brutos da dissertação demonstram que, em todas as condições operacionais, o esgoto do campus utilizado como afluente não apresentou valores expressivos ou grande variação do parâmetro. Em razão do valor atípico, o resultado foi retirado.

Utilizando os demais dados levantados, a Tabela 7 exibe a média aritmética simples, desvio padrão amostral, coeficiente de variação, valores mínimos e valores máximos extraídos das publicações nacionais e internacionais.

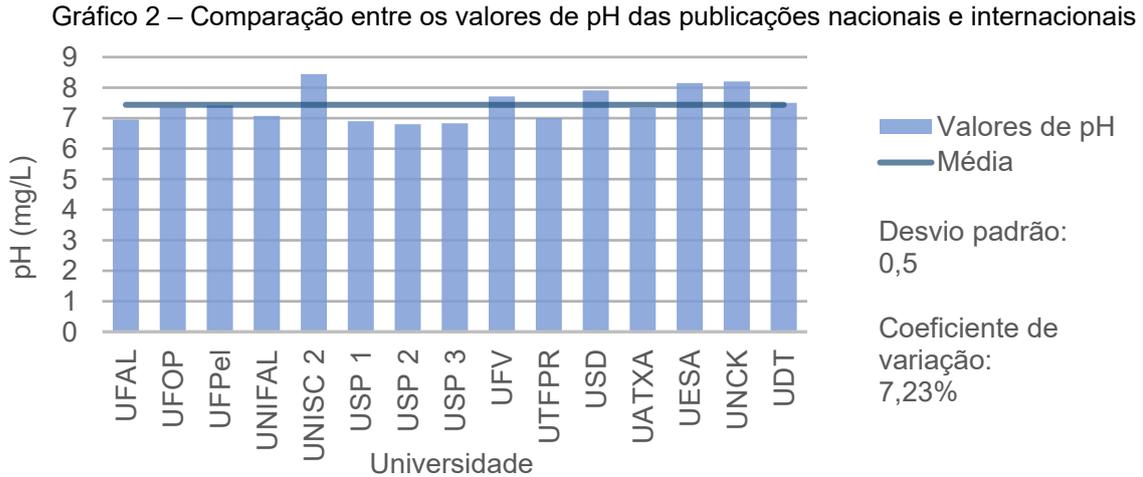
Tabela 7 – Estatística aplicada aos parâmetros extraídos das publicações nacionais e internacionais

Parâmetro	N° de amostras	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
pH	15	7,4	0,5	6,8	8,4
DBO (mg/L)	12	229,4	103,6	98,67	416,9
DQO (mg/L)	17	428,9	185,9	166,8	670,0
N-NTK (mg/L)	09	55,51	15,03	34,00	85,40
N-Amoniacal (mg/L)	14	33,68	17,81	9,00	73,40
Fósforo (mg/L)	12	7,93	6,44	0,32	21,95
ST (mg/L)	05	589,1	68,77	507,6	676,0
SST (mg/L)	16	165,6	73,17	76,66	296,0
SSV (mg/L)	04	151,7	(*)	(*)	(*)

Fonte: As autoras (2021).

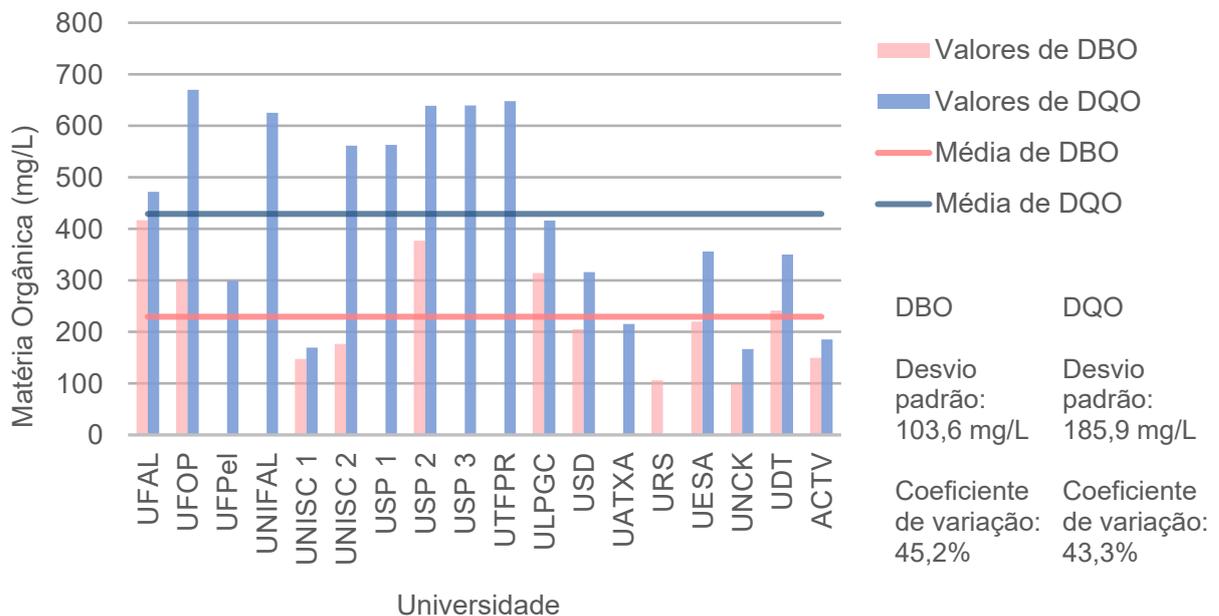
Nota: (\*) Dados insuficientes para uma análise estatística significativa.

A comparação entre os dados de pH disponíveis está representada no Gráfico 2. O pH médio no valor de 7,4 está próximo da neutralidade e apresenta o menor coeficiente de variação entre todos os parâmetros, igual a 7,23%. Conforme a faixa típica de 6,7 a 8,0, estipulada por Von Sperling (2007b), o valor mínimo de 6,8 encontra-se inserido no intervalo e o valor máximo de 8,4 está ligeiramente acima.



O Gráfico 3 exibe a comparação entre os dados de DBO e DQO disponíveis nas publicações. É notável como as universidades brasileiras demonstram as maiores concentrações de DQO, onde 8 valores estão acima da média global.

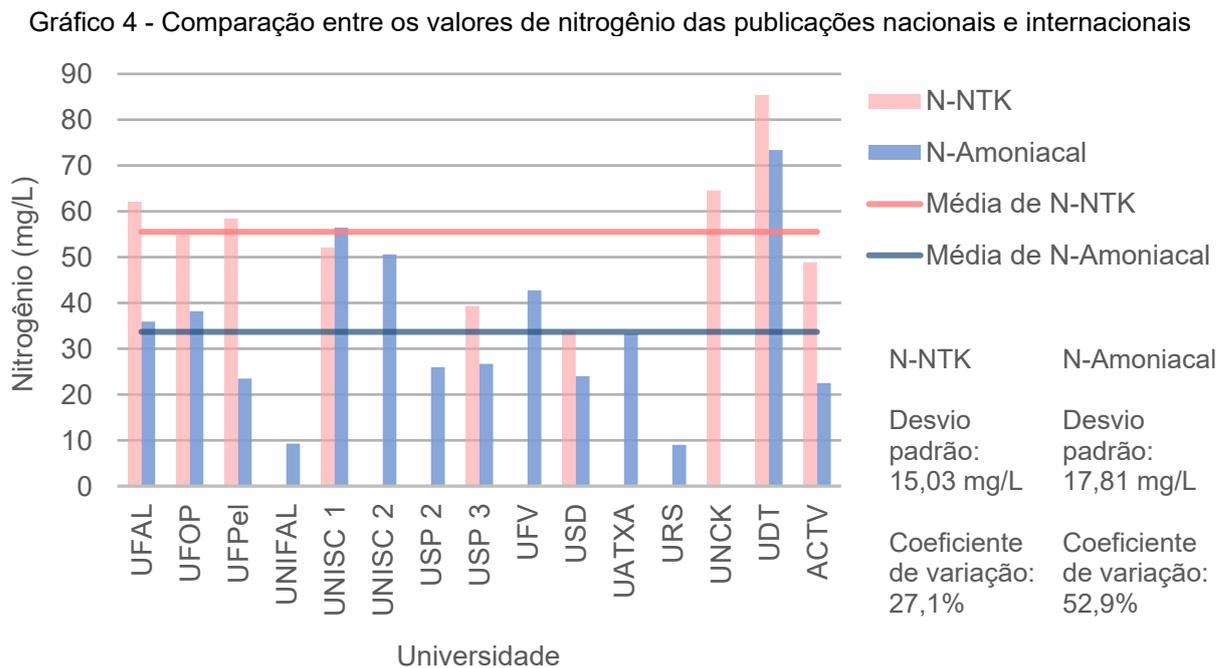
Gráfico 3 – Comparação entre os valores de DBO e DQO das publicações nacionais e internacionais



Segundo Jordão e Pessoa (2011), o parâmetro de DBO para um esgoto fraco está em torno de 100 mg/L, um esgoto médio apresenta 200 mg/L e um esgoto forte atinge 400 mg/L. Dessa forma, a média brasileira de 283,6 mg/L está entre o esgoto médio e forte, enquanto a média exterior de 190,7 mg/L assemelha-se ao esgoto médio. O parâmetro de DQO apresentou comportamento semelhante ao de DBO, onde a média brasileira é superior à média estrangeira.

Porém, no âmbito internacional, é importante atentar à condição de coleta das amostras das universidades ACTV e UNCK, mencionadas anteriormente, onde o ponto de coleta estava situado após o tanque de sedimentação e o tanque séptico, respectivamente. Além da influência na fração de sólidos, o provável tempo de detenção nesses tanques contribuiu para a degradação da matéria orgânica do esgoto, justificando os valores inferiores. Entretanto, as demais publicações internacionais não mencionaram qualquer forma de tratamento prévio à coleta do esgoto bruto.

Quanto aos nutrientes, o Gráfico 4 demonstra a relação de dados disponíveis para nitrogênio total Kjeldahl e amoniacal. A média de nitrogênio total Kjeldahl de 55,51 mg/L está contida entre o esgoto médio e forte para Metcalf & Eddy (2016), que apresenta as concentrações de 40 mg/L e 70 mg/L, respectivamente. Para o mesmo autor, a média de nitrogênio amoniacal de 33,68 mg/L enquadra-se da mesma maneira, entre os valores de 25 mg/L e 45 mg/L.



Fonte: As autoras (2021).

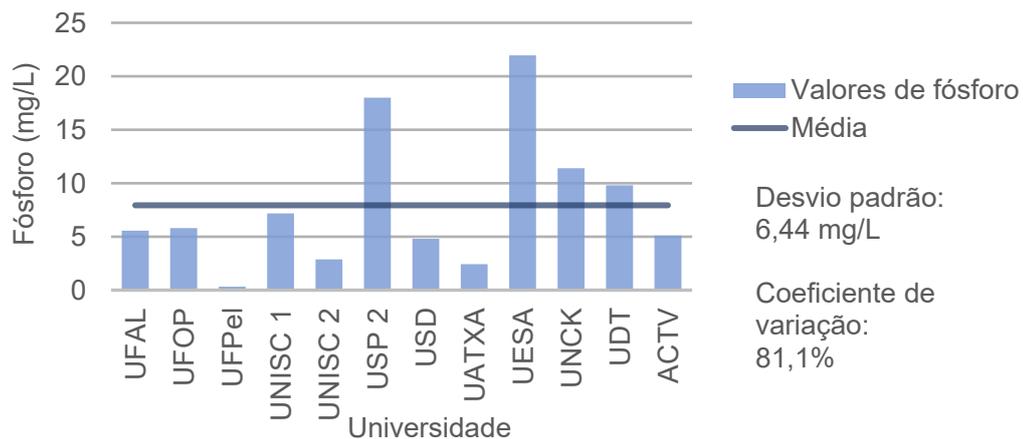
No entanto o valor máximo de nitrogênio amoniacal, igual a 73,40 mg/L, está acima das faixas consultadas na literatura. A instituição que apresenta o valor, a Universidade Democritus de Thrace (UDT), possui média de nitrogênio total Kjeldahl de 85,40 mg/L, considerada forte para Jordão e Pessoa (2011).

Apesar do valor máximo atípico, a alta proporção de nitrogênio amoniacal em relação ao total também é observada em outros esgotos. Para o estudo realizado na Universidade Süleyman Demirel (USD), a taxa entre as formas de nitrogênio é de 71%.

Avaliando a concentração média de fósforo das publicações, o valor próximo a 7 mg/L é indicativo de um esgoto entre médio e forte para Metcalf & Eddy (2016). Porém, o parâmetro apresenta coeficiente de variação de 81,1%, com três valores abaixo de 4 mg/L – o mínimo admitido pelo mesmo autor e Von Sperling (2007b). O valor máximo é enquadrado como esgoto forte para Jordão e Pessoa (2011), em torno de 20 mg/L. Os dados disponíveis para o parâmetro estão apresentados no Gráfico 5.

Os valores discrepantes de fósforo foram mantidos em razão do número de ocorrências abaixo da faixa esperada, além da falta de um contexto que justifique sua retirada.

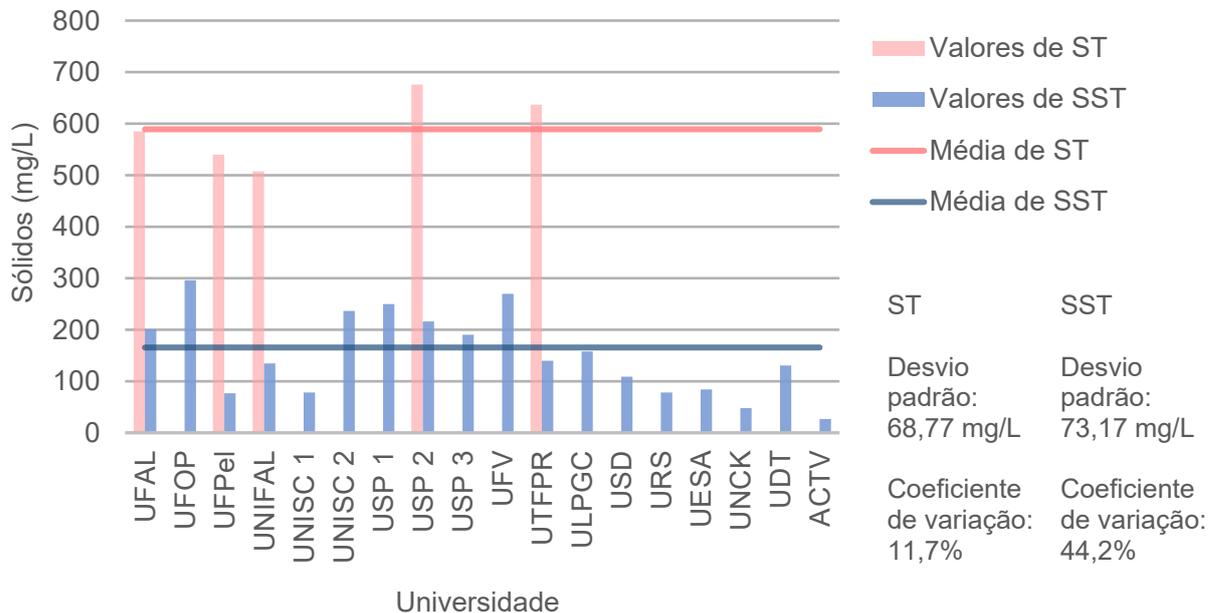
Gráfico 5 – Comparação entre os valores de fósforo das publicações nacionais e internacionais



Fonte: As autoras (2021).

O Gráfico 6 demonstra a relação de dados disponíveis para sólidos. Apenas estudos nacionais apresentaram o parâmetro de sólidos totais, definindo o segundo menor coeficiente de variação, igual a 11,67%. Os valores de média, mínimo e máximo estão inseridos entre a classificação de esgoto fraco e médio para Jordão e Pessoa (2011), que estipulou as concentrações de 370 mg/L e 730 mg/L, respectivamente.

Gráfico 6 – Comparação entre os valores de ST e SST das publicações nacionais e internacionais



Fonte: As autoras (2021).

A média de sólidos suspensos totais está compreendida entre o esgoto fraco e médio para Metcalf & Eddy (2016), que apresenta as concentrações de 130 mg/L e 195 mg/L, respectivamente. Dos 16 valores utilizados, 5 estão abaixo do valor mínimo encontrado na literatura, sendo 2 brasileiros e 3 estrangeiros.

Analisando apenas a média simples dos 4 valores obtidos para sólidos suspensos voláteis, o resultado de 151,7 mg/L está próximo do esgoto médio para Metcalf & Eddy (2016), que definiu o valor de 152 mg/L.

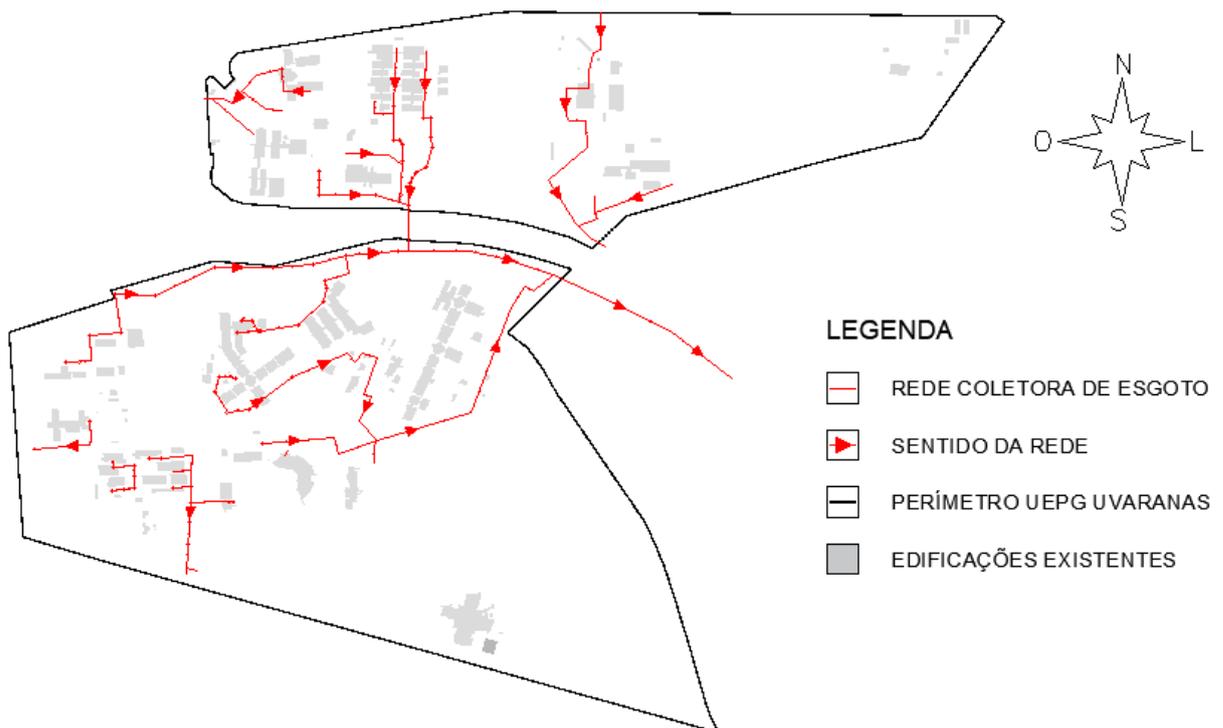
## 5.2. SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO

### 5.2.1. Área de implantação

O Campus Uvaranas dispõe de 106,22 hectares de área não edificada, concentrada majoritariamente na região nordeste e sudeste da instituição. Conforme as curvas de nível apresentadas na Figura 16 da seção 4.1, a região ao norte não demonstra variação de cotas expressiva, enquanto a região ao sul da linha férrea apresenta declividade no sentido oeste-leste, o qual favorece o escoamento do esgoto em relação às edificações.

A fim de evitar o replanejamento da rede de esgoto da instituição, a área de implantação do sistema de tratamento deve oferecer a menor interferência no traçado atual possível. O traçado da rede coletora de esgoto do Campus Uvaranas, cedido pela SANEPAR e complementado pelas autoras, está exibido de maneira simplificada na Figura 17, e consta nos anexos de maneira detalhada, com indicação de caixas de inspeção e poços de visita.

Figura 17 – Traçado da rede coletora de esgoto atual do Campus Uvaranas

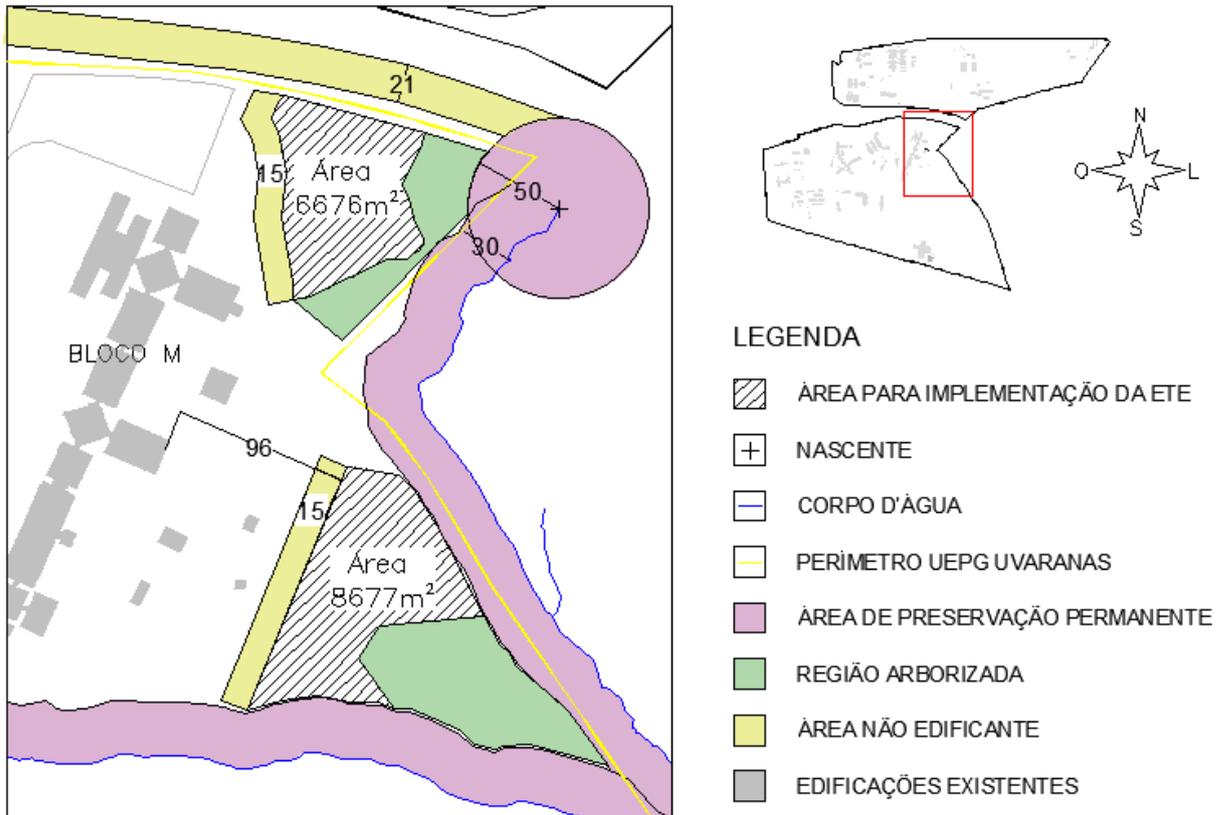


Fonte: As autoras (2022).

O número de edificações contribuintes para o sistema de tratamento também deve ser considerado, em vista da possibilidade do alívio operacional da rede coletora do município. Nesse contexto, torna-se vantajosa a utilização da área adjacente ao estacionamento do Bloco M, visto que a interseção de tubulações no local é responsável por reunir o maior número de contribuições. A área destinada ao reúso agrícola foi definida com base na proximidade do sistema de tratamento.

A Figura 18 apresenta as áreas definidas para implementação: 6.676 m<sup>2</sup> para o sistema de tratamento de esgoto e 8.677 m<sup>2</sup> disponíveis para o reúso agrícola do efluente e lodo gerado.

Figura 18 – Áreas definidas para o sistema de tratamento de esgoto e reúso do efluente



Fonte: As autoras (2022).

Para a implantação do sistema no local, deve ser previsto um Projeto de Cortinamento Vegetal e Tratamento Paisagístico, especialmente devido à proximidade das edificações. O cortinamento pode ser realizado a uma faixa de 15 m da área reservada para a ETE, e exemplos de espécies nativas da Região Sul do Brasil recomendadas para essa finalidade são, segundo EMBRAPA (2017): Sabugueiro (*Sambucus australis*), Aroeira-cinzenta (*Schinus lentiscifolius*), Canudo-de-pito (*Escallonia bifida*), Corticeira-do-banhado (*Erythrina cristagalli*), Maricá (*Mimosa bimucronata*), Chá-de-bugre (*Casearia sylvestris*) e Salgueiro (*Salix humboldtiana*).

### 5.2.2. Escolha do método de tratamento de esgoto

Entre os processos simplificados para tratamento secundário de esgoto, destacam-se as lagoas de estabilização e os reatores anaeróbios, especialmente o reator UASB. Em países emergentes de clima quente, como o Brasil, ambos são recomendados devido ao clima favorável e ao baixo custo de operação e manutenção. (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

As lagoas de estabilização apresentam como significativa desvantagem a demanda por extensas áreas de implantação, enquanto o tratamento exclusivamente por reator UASB demonstra dificuldade para atingir padrões de qualidade restritivos, necessitando de outro método de tratamento posterior para adequar o efluente aos parâmetros exigidos.

Na associação do reator UASB à uma lagoa facultativa, o reator reduz inicialmente as concentrações de matéria orgânica e sólidos suspensos, resultando em um TDH menor na lagoa e, conseqüentemente, diminuindo a área necessária. Por sua vez, a lagoa complementa a remoção de parâmetros pouco afetados pelo tratamento anaeróbio, como organismos patogênicos. Outras características aprimoradas pela ação conjunta incluem a redução de mau odor e menor acúmulo de lodo na lagoa. (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

Existem diversos métodos de tratamento que podem ser associados ao reator UASB, como lodos ativados, disposição no solo e filtros biológicos. No entanto, priorizou-se a simplicidade do sistema, o baixo custo de implantação e a facilidade de operação. Outro critério foi a remoção satisfatória de coliformes e outros organismos patogênicos, visando a reutilização do efluente para fins agrícolas.

Dessa forma, optou-se pela utilização do reator UASB seguido de uma lagoa facultativa, visando corresponder aos critérios estabelecidos. O sistema de tratamento adotado possui apenas as etapas preliminar e secundária, sendo composto por: gradeamento, desarenador, calha Parshall, reator UASB e lagoa facultativa.

### 5.2.3. Horizonte de projeto, estimativa populacional e de vazões do esgoto

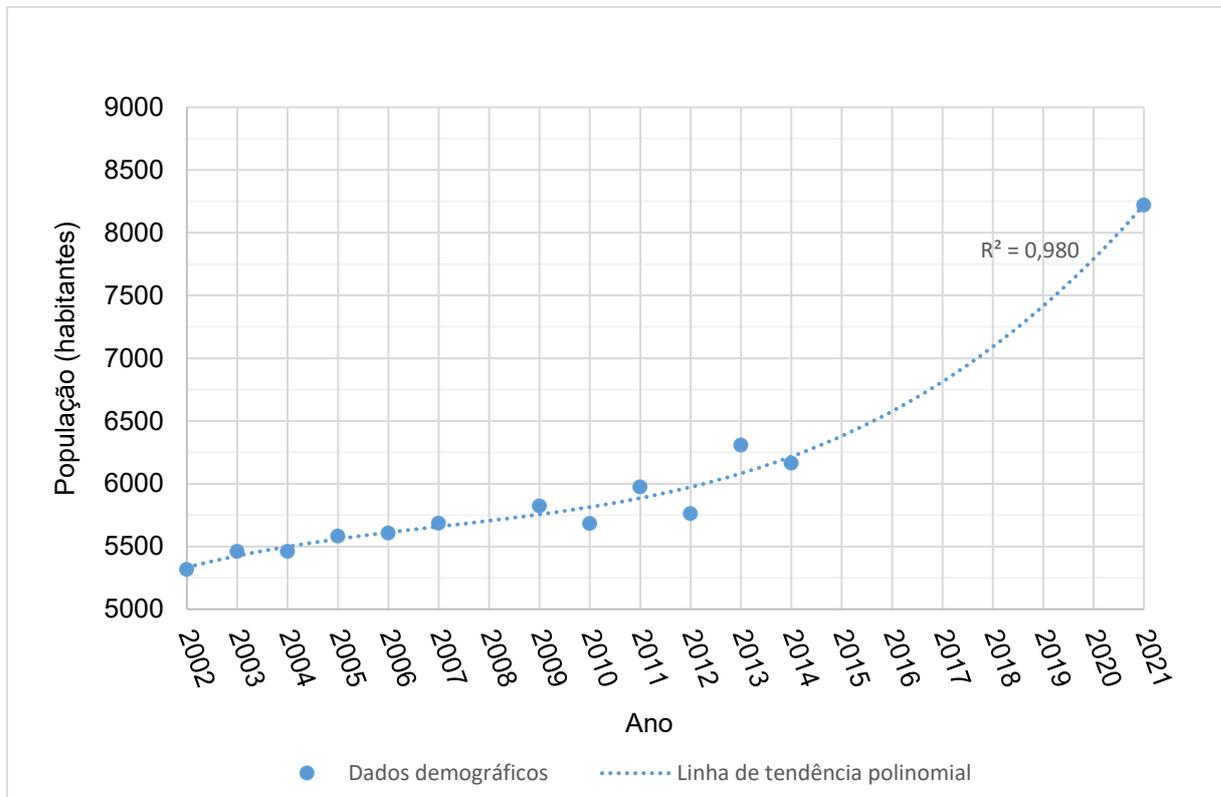
A população que contribui para um sistema de tratamento de esgoto tende a aumentar ao longo dos anos, sendo assim, é necessário determinar um período de crescimento demográfico, chamado de horizonte de projeto, para que se possa estipular o número total de pessoas atendidas pelo sistema ao final de sua implementação. (TSUTIYA, 2006).

Segundo Von Sperling (2007, p. 280), “o horizonte de projeto de uma estação de tratamento de esgoto deve ser relativamente curto, preferencialmente 20 anos ou menos”. Tsutiya (2006) aponta como recorrente a variação desse tempo entre 20 e 30 anos, sendo comum a adoção de 20 anos. Sendo assim, optou-se para o

dimensionamento da ETE do Campus um horizonte de projeto de 20 anos, ou seja, com conclusão das etapas construtivas em 2041.

O Gráfico 7 ilustra o crescimento demográfico do Campus Uvaranas do ano de 2002 a 2021. Os dados de 2002 a 2014 foram retirados dos relatórios “UEPG em números”, divulgados pela ASSEPLAN e PROPLAN. Não houve divulgação de tais relatórios após 2014, sendo os dados de 2021 provenientes diretamente da PROPLAN, por meio de boletim extraordinário.

Gráfico 7 – Crescimento populacional do Campus Uvaranas no período de 2002 a 2021

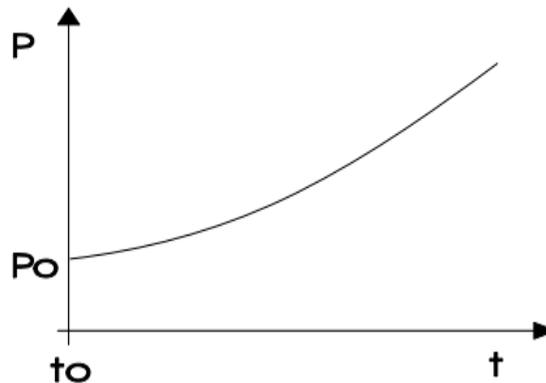


Fonte: As autoras, 2021.

A linha de tendência polinomial de ordem 3 é a que melhor se ajusta à variação dos dados, dentre os modelos de regressão disponibilizados pelo software Excel (linear, exponencial, potência, polinomial e logarítmico), apresentando coeficiente de determinação  $R^2$  de 0,980. Contudo, a projeção por meio dessa linha de tendência seria de 35 mil alunos para o ano de 2041, o que representaria um crescimento de 426% com relação a 2021. Tendo como base que o crescimento do Campus Uvaranas nos 19 anos de dados disponíveis (2002 a 2021) foi de 54,6%, descartou-se a projeção pela linha de tendência, por configurar um superdimensionamento.

Analisando o comportamento dos dados do gráfico 7, optou-se por realizar a projeção geométrica da população, visto ser o modelo matemático apresentado por Von Sperling (2007b) (Figura 19) e Tsutiya (2006) de maior similaridade gráfica com o comportamento dos dados demográficos do Campus Uvaranas, além de configurar uma opção de projeção adequada a curtos períodos.

Figura 19 – Comportamento da curva de crescimento populacional geométrico

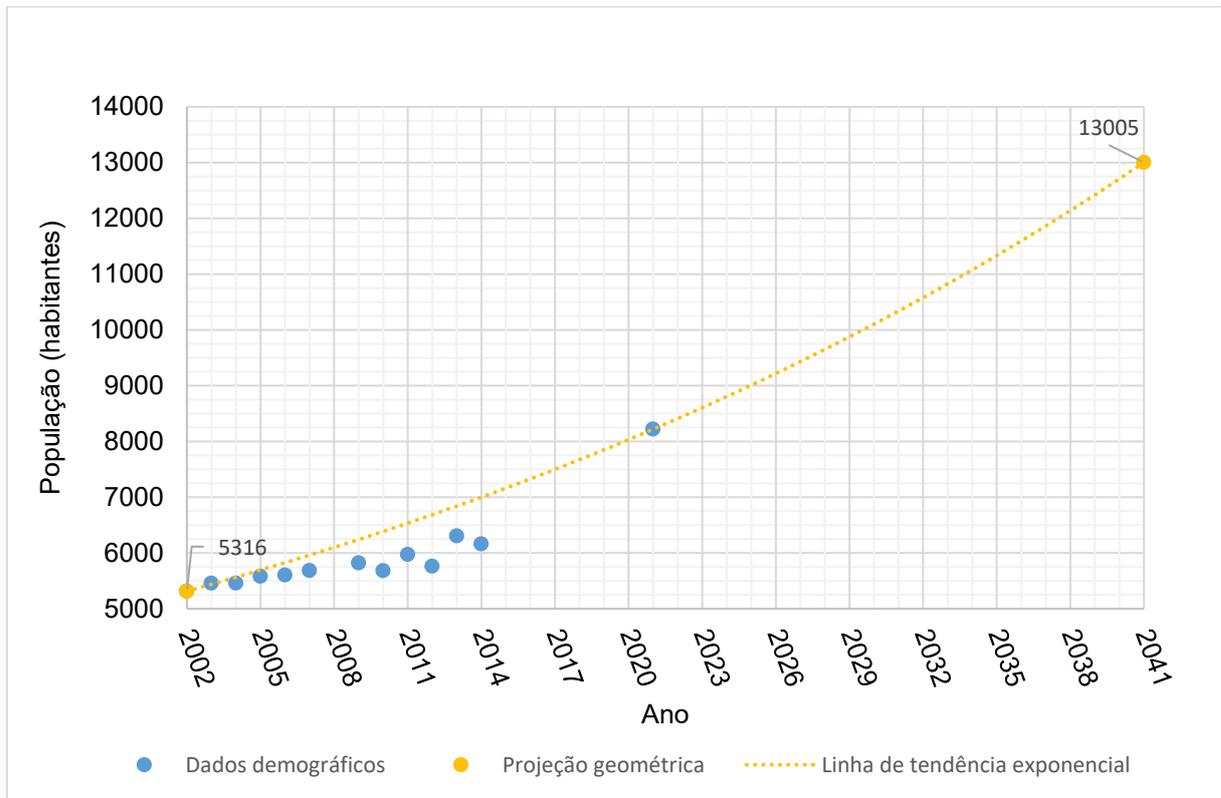


Fonte: VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. Biological Wastewater Treatment Series (Volume 1). London: IWA publishing, 2007b. 296 p.

Diversas variáveis interferem no crescimento populacional, por vezes imprevisíveis e previamente inquantificáveis, como eventos específicos na comunidade analisada e no contexto que está inserida, sendo a projeção demográfica algo complexo e dinâmico. Dessa forma, mesmo com a análise matemática de dados populacionais disponíveis por meio do método que melhor se adequa, a extrapolação da curva de crescimento requer percepção e cautela (SPERLING, 2007).

O Gráfico 8 apresenta a projeção geométrica da população, calculada 13005 pessoas ao fim do horizonte de projeto de 20 anos, em 2041. Apesar do método geométrico utilizar apenas dois pontos para a projeção, o resultado obtido mostrou-se mais coerente que a regressão polinomial com o comportamento dos 19 anos de dados de crescimento populacional no Campus Uvaranas. A população final de 13005 pessoas obtida pelo método geométrico configura um crescimento em 2041 de 58,2% em relação a 2021, próximo do crescimento de 54,6% que de fato ocorreu entre 2002 e 2021.

Gráfico 8 – Projeção geométrica da população do Campus Uvaranas para o ano de 2041



Fonte: As autoras, 2021.

A geração de esgoto sanitário foi estimada a partir do consumo de água mensal do Campus Uvaranas (Tabela 8).

Tabela 8 – Consumo de água mensal do Campus Uvaranas da UEPG

Ano	Mês	Consumo (m <sup>3</sup> )	Ano	Mês	Consumo (m <sup>3</sup> )
2018	jan	2819	2019	jan	2623
	fev	1600		fev	1700
	mar	2878		mar	2727
	abr	3060		abr	2996
	mai	2713		mai	2732
	jun	2646		jun	2478
	jul	2744		jul	2773
	ago	3294		ago	2710
	set	2432		set	2505
	out	2571		out	2207
	nov	2691		nov	2527
	dez	2585		dez	-
<b>Média</b>		<b>2669</b>	<b>Média</b>		<b>2543</b>

Fonte: PRECAM (2021).

A média de consumo de água utilizando todos os meses disponíveis resultou em 2.609 m<sup>3</sup>/mês. Considerando a população atual de 8.220 pessoas no campus, o consumo de água é de 10,58 L/hab.dia. A Tabela 9 exibe as vazões de esgoto e os cálculos estão descritos no Apêndice I.

Tabela 9 – Vazões de esgoto atuais e de projeto

Vazão	Valor atual (L/s)	Valor de projeto (L/s)
Máxima	1,45	2,29
Média	0,81	1,27
Mínima	0,40	0,64

Fonte: As autoras (2022).

Nos cálculos posteriores, o valor usado para a vazão máxima foi de 2,29 L/s, para a vazão média 1,27 L/s e para a vazão mínima 0,40 L/s.

#### 5.2.4. Tratamento preliminar

O tratamento preliminar convencional consiste na utilização de gradeamento, desarenador e medidor de vazão, usualmente a calha Parshall. Devido à pequena vazão recebida pelo sistema, as dimensões encontradas para as etapas preliminares são inferiores ao usual, como exibido no Quadro 3. Os cálculos e considerações estão descritos no Apêndice I.

Quadro 3 – Dimensionamento do tratamento preliminar

Gradeamento	
Ângulo de inclinação da grade	45 °
Número de barras	5 barras
Espessura das barras	8 mm
Espaçamento entre barras	10 mm
Largura do canal	0,1 m
Altura do canal	0,5 m
Desarenador	
Comprimento do canal	1,4 m
Largura do canal	0,13 m
Altura do canal	0,3 m
Calha Parshall	
Seção estrangulada (garganta)	2 "

Fonte: As autoras (2022).

Segundo a NBR 12208 (ABNT, 1992) o gradeamento escolhido é classificado como "fino" e pode receber limpeza manual. Quanto ao desarenador, a NBR 12209 (ABNT, 1992) estabelece que devem ser previstas pelo menos duas unidades, sendo uma delas utilizada como reserva para quando for realizada a limpeza ou manutenção. Para o desarenador do tipo canal, deve ser previsto um espaço com 0,2 m de profundidade por 0,3 m de largura para acúmulo de material. Em relação ao medidor de vazão, a calha de 2" definida pela D1941 (ASTM, 2013) atende a uma vazão de 0,28 L/s a 8,5 L/s.

Existem empresas no mercado nacional que ofertam o conjunto pré-fabricado de estruturas da etapa de tratamento preliminar. O conjunto é dimensionado com base no tamanho da calha Parshall e fabricado em poliéster reforçado com fibra de vidro. O equipamento é uma alternativa funcional para a instalação de um tratamento preliminar de esgoto que recebe pequenas vazões. (SANECOMFIBRA, 2021).

#### 5.2.5. Reator UASB e leito de secagem

O tratamento secundário escolhido é composto por um reator UASB seguido de lagoa facultativa. As dimensões do reator estão dispostas no Quadro 4, enquanto os cálculos e considerações estão descritos no Apêndice I.

Quadro 4 – Dimensionamento do reator UASB de formato retangular

Reator UASB	
Altura útil	4,5 m
Largura	3 m
Comprimento	3 m
Área da base	9 m <sup>2</sup>
Volume	40,5 m <sup>3</sup>
Tempo de detenção hidráulica	8,8 horas
Número de tubos	5 tubos
Diâmetro dos tubos	0,075 m

Fonte: As autoras (2022).

O diâmetro dos tubos de distribuição de esgoto deve ser grande o suficiente para que sólidos não obstruam a passagem. No entanto, diâmetros menores permitem uma velocidade maior, o que promove a mistura no fundo do reator e o contato com o leito de lodo, além de prevenir a deposição de sólidos próximos ao ponto de descarga.

Dessa forma, Von Sperling e Chernicharo (2005) recomendam a redução da seção próxima à extremidade do tubo, utilizando bicos ou pequenas aberturas laterais.

O biogás gerado pelo reator pode ser captado e aproveitado como fonte de energia ou queimado e liberado para a atmosfera. O lodo gerado deve ser desidratado em leitos de secagem e disposto em aterros sanitários ou reutilizado para fins agrícolas, caso possível.

O volume de lodo gerado foi calculado em 0,212 m<sup>3</sup>/d e, para comportar a desidratação durante um ciclo de 23 dias, foram dimensionados 2 leitos de secagem com 0,3 m de profundidade, 3 m de largura e 3 m de comprimento, totalizando 18 m<sup>2</sup> de área.

#### 5.2.6. Lagoa facultativa

Após o reator UASB, o esgoto é direcionado a uma lagoa facultativa. O Quadro 5 apresenta as dimensões definidas e os cálculos e considerações estão descritos no Apêndice I.

Quadro 5 – Dimensionamento da lagoa facultativa

Lagoa facultativa	
Profundidade	1,5 m
Largura	66 m
Comprimento	22 m
Área superficial	1.452 m <sup>2</sup>
Volume	2.178 m <sup>3</sup>
Tempo de detenção hidráulica	19,8 dias

Fonte: As autoras (2022).

Em relação ao tempo de detenção hidráulica baixo, as recomendações encontradas são para lagoas primárias, ou seja, recebem o esgoto bruto proveniente apenas do tratamento preliminar. Considerando o pré-tratamento proposto pelo reator UASB, é condizente admitir um tempo de detenção próximo ao valor mínimo da faixa recomendada, que abrange de 15 a 45 dias.

É esperado que o efluente da lagoa facultativa apresente algas visíveis. Caso necessário, algumas tecnologias utilizadas para a remoção de algas incluem: filtros de areia ou pedra, micropeneiras, aplicação no solo, processos de coagulação e

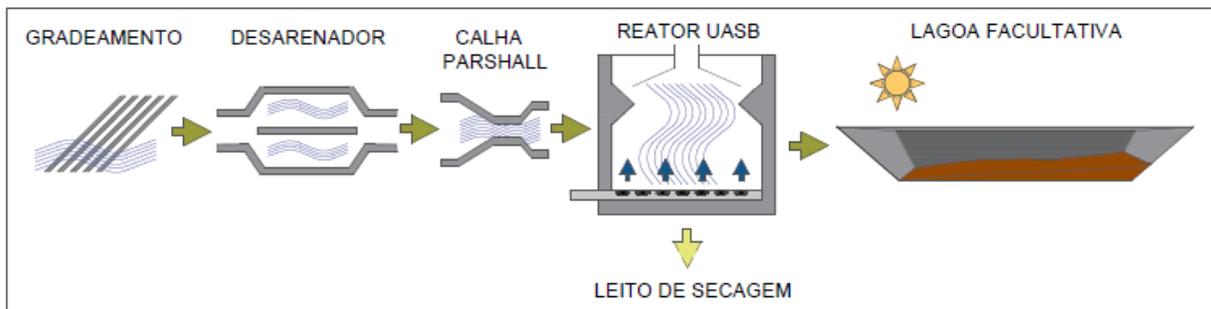
clarificação, flotação, biofiltros aerados, entre outros. (VON SPERLING, CHERNICHARO, 2005).

### 5.2.7. Eficiência do sistema de tratamento

Os cálculos a respeito da eficiência do sistema de tratamento estão descritos no Apêndice I. A taxa de remoção de DBO calculada para o reator UASB é de 71%, valor que está inserido na faixa proposta por Von Sperling (2007b) de 60 a 75%. Utilizando o valor de 283,6 mg/L retirado da análise de dados em outras universidades, o efluente do reator poderia atingir 81,0 mg/L de DBO. O valor de DBO do efluente final, após a passagem pela lagoa facultativa, foi calculado em 1,55 mg/L, que equivale a uma remoção de 98% em relação ao efluente do reator UASB.

A remoção de coliformes foi estimada em aproximadamente 2 unidades de log, ou 99%. A partir do valor de referência utilizado, a taxa calculada de coliformes no efluente é de aproximadamente  $10^{-4}$  CF/100 ml. O sistema de tratamento proposto está apresentado de maneira esquemática na Figura 20.

Figura 20 – Ilustração esquemática do sistema de tratamento proposto



Fonte: As autoras (2022).

### 5.3. REÚSO DO LODO E EFLUENTE TRATADOS

Assim como no uso de lodo para adubação quanto no uso de efluente na irrigação de plantas, a mesma preocupação persiste: o acúmulo de elementos no solo que podem interferir negativamente na agricultura. A vantagem de uma proposta em menor escala é o constante monitoramento do estudo, que poderá ser extrapolado posteriormente. Dessa forma, o condicionamento e aplicação propostos nesta seção são apenas sugestões preliminares, focadas no reúso agrícola.

### 5.3.1. Reúso do lodo proveniente do reator UASB

Segundo Von Sperling e Chernicharo (2005), a retirada de lodo de reatores anaeróbios ocorre a cada poucas semanas, enquanto lagoas facultativas podem armazenar o lodo gerado durante todo o horizonte de operação.

O lodo produzido pelo reator UASB é considerado estabilizado devido ao tempo de retenção, o qual permite a digestão do material orgânico de maneira anaeróbia. Assim, a próxima etapa é a desidratação do lodo nos leitos de secagem, seguida de desinfecção por calagem e armazenamento por 2 meses.

A escolha do método de calagem se deve ao baixo custo e sofisticação do processo, que consiste em misturar cal virgem (CaO) a fim de promover aumento do pH numa reação exotérmica que inativa até 90% dos organismos patogênicos. O armazenamento posterior, de 30 a 60 dias, é o tempo necessário para que ocorra a redução e a estabilização da temperatura. (PROSAB, 1999).

Conforme apresentado na seção 3.7, a Resolução nº 375/2006 do CONAMA divulga as diretrizes para a utilização do lodo proveniente do esgoto em atividades agrícolas.

### 5.3.2. Reúso do efluente proveniente da lagoa facultativa

A utilização do efluente de sistemas de tratamento de esgoto para irrigação agrícola é realizada basicamente no âmbito da pesquisa, devido à falta de legislações para regulamentação, como visto na seção 3.8. Em favor da segurança, deve ser evitada a irrigação de culturas a serem consumidas cruas com o esgoto tratado.

A concentração de coliformes fecais, utilizada como indicador de contaminação para outros organismos patogênicos, foi prevista em aproximadamente  $10^{-4}$  CF/100 ml no efluente final. O valor não atende às recomendações da OMS para irrigação irrestrita, equivalente a  $\leq 10^{-3}$  CF/100 ml, ou até  $\leq 200$  CF/100 ml para gramados onde pessoas têm contato direto.

Dessa forma, o efluente pode ser utilizado para a próxima categoria de irrigação, correspondente a cereais, culturas futuramente processadas, forrageiras, pastagens e árvores. Invariavelmente, em qualquer forma de aplicação, é fundamental

monitorar o impacto causado no solo, nas águas subterrâneas e na segurança dos alimentos irrigados. Ainda, é relevante considerar a rotatividade de áreas a fim de evitar a acumulação de compostos potencialmente tóxicos, orgânicos e inorgânicos, e o aumento de salinidade e sodicidade do solo.

No entanto, a hidroponia oferece uma alternativa viável para remover a diligência requerida pela utilização do efluente diretamente no solo. A hidroponia de culturas é desenvolvida com a ausência de solo e oferece o contato mínimo de plantas com o efluente, reduzindo o risco de contaminação. Porém, são mantidas as recomendações de utilização restrita, possibilitando a produção de mudas arbóreas, por exemplo.

Porém, em função da necessidade de integração e adequação do sistema de reúso ao sistema de tratamento proposto, a instalação de tanques de evapotranspiração é condizente com a escala de operação. Nesse sistema, o efluente é encaminhado para tanques vedados e absorvido pelas raízes de plantas, cultivadas acima do tanque. Os nutrientes são incorporados à biomassa das plantas e a água é eliminada por evapotranspiração. (GALBIATI, A. 2009).

Tem-se como estimativa para o dimensionamento o valor inicial de 3,25 m<sup>2</sup> de área necessária por usuário, baseado na geração de esgoto de 32 L/hab.d. (GALBIATI, A. 2009). Cabe ressaltar que a geração de esgoto no Campus Uvaranas é estimada em 8,46 L/hab.d, logo, estudos dedicados ao sistema de reúso podem atestar a viabilidade do mesmo para implantação na área disponível.

## 6. CONCLUSÃO

Por meio da análise de resultados de caracterização do esgoto sanitário gerado em campi de outras universidades no âmbito nacional e internacional, foi possível concluir que o esgoto apresenta pH próximo a neutralidade, e que a DQO do esgoto gerado em instituições brasileiras é notavelmente superior, 85% maior que a média estrangeira de 286,5 mg/L, tendo a DBO comportamento semelhante.

O levantamento da rede coletora de esgoto existente no Campus Uvaranas se mostrou eficiente, posto a compatibilidade das informações obtidas em campo com o projeto posteriormente cedido pela SANEPAR, sendo o projeto final (contido nos anexos de deste trabalho) uma fonte atualizada de informações a respeito da rede coletora de esgoto do Campus Uvaranas, na qual consta a localização de poços de visita e caixas de passagem.

Foi possível concluir que o método geométrico se mostrou mais eficiente para o cálculo da projeção demográfica da população do Campus Uvaranas, sendo que a regressão polinomial representaria um superdimensionamento do sistema de tratamento. A porcentagem de crescimento populacional obtida pela projeção no horizonte de projeto, de 58,2%, é satisfatoriamente próxima a porcentagem de crescimento da série histórica de 2002 a 2021, de 56,4%.

Por meio do dimensionamento, conforme as diretrizes e recomendações de normas e autores, o sistema de tratamento descentralizado proposto neste trabalho consiste na sequência das unidades de grades, desarenador, calha Parshall, reator UASB e lagoa facultativa, além de leitos de secagem de lodo.

Concluiu-se que o reúso de lodo e efluente tratados, para irrigação, aplicação no solo ou demais usos, necessita de análise criteriosa e tratamento rigoroso, e ainda assim, seu uso deve respeitar as restrições estipuladas pelas normas vigentes e as recomendações da literatura, para evitar-se o risco de contaminação de pessoas, de culturas, do solo e do meio ambiente.

Sendo levado em consideração tais aspectos, o reúso de efluente tratado configura uma opção sustentável com possibilidade de um grande impacto positivo para a comunidade e o meio ambiente.

## **7. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS**

- Completar o mapeamento dos poços de visita e caixas de passagem componentes da rede coletora de esgoto do Campus Uvaranas;
- Coletar amostras do esgoto do Campus Uvaranas e realizar ensaios de caracterização físico-química;
- Realizar estudos de orçamentação e viabilidade financeira de implementação do sistema de tratamento descentralizado do Campus Uvaranas;
- Verificar a possibilidade de implementação de um sistema de reúso de esgoto tratado baseado no tanque de evapotranspiração no Campus Uvaranas.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9649**: Projeto de redes de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12209**: Projeto de estações de tratamento esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

ALBORNOZ, L. L. **Eletrodialise como tratamento terciário em uma estação de tratamento de efluentes de um campus universitário visando o reúso de água**. 2017. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

ALBORNOZ, L. L. et al. **Monitoramento, caracterização e avaliação da eficiência de remoção de poluentes em uma estação compacta de tratamento de efluentes**. Artigo. In: 10º Simpósio Internacional de qualidade ambiental. Porto Alegre, 2016.

ALBUQUERQUE, E. M. **Avaliação do tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto sanitário em sistema de lodos ativados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 2. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000, 548 p.

ALMEIDA, P. G. S.; OLIVEIRA, S. C.; CHERNICHARO, C. A. L. **Operação de filtros biológicos percoladores pós reatores UASB sem a etapa de decantação secundária**. Artigo. In: Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, vol 16, n. 3, 2011.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 23rd ed. Washington, DC, New York: American Public Health Association; 2017.

AQUINO, D. S. **Avaliação ecotoxicológica de esgotos de redes coletoras de um campus universitário e da área urbana da cidade de Viçosa-MG e sua influência na qualidade dos corpos receptores**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2013.

ASSEPLAN. Assessoria de Planejamento. **UEPG em números 2002**. Ponta Grossa, 2002.

ASSEPLAN. Assessoria de Planejamento. **UEPG em números 2003**. Ponta Grossa, 2003.

ASSEPLAN. Assessoria de Planejamento. **UEPG em números 2004**. Ponta Grossa, 2004.

ASSEPLAN. Assessoria de Planejamento. **UEPG em números 2005**. Ponta Grossa, 2005.

ATKINS, P.; JONES, L. **Chemistry - Molecules, Matter and Change**. 3 ed. Nova Iorque: W. H. Freeman, 1997.

BAIRD, C. **Química ambiental**. Tradução de RECIO, M. A. L.; CARRERA, L. C. M. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARNES, D et al. **Water and wastewater engineering systems**. Pitman Publishing Inc, Massachusetts, 1981. 513 p.

BASSANI, F. **Diagnóstico da situação atual do sistema de esgoto no campus I da universidade de Passo Fundo-RS: parâmetros iniciais para o projeto de uma estação de tratamento compacta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

BERTOLINO, S. M. **Caracterização e tratabilidade dos esgotos produzidos pelo campus da Universidade Federal de Ouro Preto – MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2007.

BORGES, M. S. **Tratamento de água e efluentes industriais**. Manual (Curso Técnico de Petróleo) – Universidade Federal do Paraná, PR, 2008.

BRANDÃO, L. P.; MOTA, S; MAIA, L. F. **Perspectivas do uso de efluentes de lagoas de estabilização em irrigação**. Artigo. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, 2002.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 31 ago. 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm)>. Acesso em: 6 de agosto de 2021.

BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005. **“Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.”**; publicada no Diário Oficial da União em 09/03/2006, Brasília, DF.

BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 121 de 16 de dezembro de 2010. **“Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005.”**; publicada no Diário Oficial da União em 16/03/2011, Brasília, DF.

BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. **“Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”**; publicada no Diário Oficial da União em 30/08/2006, Brasília, DF.

BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 377 de 09 de outubro de 2006. **“Dispõe sobre licenciamento ambiental simplificado de Sistemas de Esgotamento Sanitário”**; publicado no Diário Oficial da União em 10/10/2006, Brasília, DF.

BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. **“Dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores”**; publicada no Diário Oficial da União em 16/05/2011, Brasília, DF.

BRASIL. SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº 021 de 22 de abril de 2009. **“Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento”**. Publicada no Diário Oficial do Estado em 30/06/2009. Curitiba, PR.

BENTO, A. P. **Tratamento de esgoto doméstico em lagoas de estabilização com suportes para o desenvolvimento de perifiton – biofilme**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

BETIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Artigo. In: Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria. São Paulo, p. 181-204, 2005.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M.; SERRAT, B. M. **Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil**. Artigo. In: Engenharia Sanitária Ambiental. Curitiba, v. 22, n. 6, 2017.

BORGES, F.; SELLIN, N.; MEDEIROS, S. H. W. **Caracterização e avaliação de lodos de efluentes sanitário e industrial como biomassa na geração de energia**. Artigo. In: Ciência & Engenharia. Santa Catarina, v. 17, n 1/2, p. 27-32, 2008.

BUENO, D. A. C. **Filtros anaeróbios com pós-tratamento em filtros de areia intermitentes: Desempenho em operação crítica**. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

CAVALCANTE, J. C. **Caracterização dos efluentes líquidos produzidos no Campus A. C. Simões da Universidade Federal de Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2017.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Fundamentos do Controle de Poluição das Águas**. São Paulo, 2018.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. Vol. 1, 2 ed. São Paulo, 1978.

CHEREMISINOFF, N. P. **Handbook of water and wastewater treatment technologies**. 1 ed. Estados Unidos: Butterworth-Heinemann, 2002.

CHERNICHARO, C. A. L. **Anaerobic Reactors**. Biological Wastewater Treatment Series (Volume 4). London: IWA publishing, 2007. 190 p.

CPS. Coordenadoria de Processos de Seleção. **Vestibular de Outono: manual do candidato**. Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <https://sistemas.cps.uepg.br>

r/vestibular/outono\_ingresso\_2022/MANUAL-DO-CANDIDATO-VESTIBULAR-OUTONO.pdf. Acesso em: 15 nov. 2021.

CPS. Coordenadoria de Processos de Seleção. **Vestibular de Primavera: manual do candidato**. Ponta Grossa, 2021 Disponível em: [https://cps.uepg.br/vestibular/documentos/2021/primavera/Manual\\_do\\_Candidato\\_Vestibular\\_de\\_Primavera.pdf](https://cps.uepg.br/vestibular/documentos/2021/primavera/Manual_do_Candidato_Vestibular_de_Primavera.pdf). Acesso em: 15 nov. 2021.

CPS. Coordenadoria de Processos de Seleção. **PSS III: manual do candidato**. Ponta Grossa, 2021 Disponível em: [https://cps.uepg.br/pss/documentos/2021/manuais/PSS\\_3\\_Manual\\_Candidato.pdf](https://cps.uepg.br/pss/documentos/2021/manuais/PSS_3_Manual_Candidato.pdf). Acesso em: 15 nov. 2021.

COSKUNER, G.; OZDEMIR, N. S. **Performance assessment of a wastewater treatment plant treating weak campus wastewater**. Artigo. In: International Journal of Environment and Pollution. v. 28, n. 1-2, p. 185-197, 2006.

COSTA, A. N. **Aproveitamento do lodo de esgoto na agricultura**. Artigo. In: IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010 e XXXIX Congresso de Engenharia Agrícola - CONBEA 2010. Espírito Santo, 2010.

CRUZ, W. de. M. P. da. **Critérios de avaliação para aprovação de projetos de redes coletoras de esgoto sanitário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2016.

CUBA et al. **Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface**. Artigo. In: Revista Ambiente e Água, n. 10, p.3, 2015.

DEGEN, J. **Avaliação de sistemas locais de wetlands contruídos de fluxo vertical aplicados no tratamento de esgotos em empreendimentos comerciais e industriais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

DESETUPIR JÁ. **Conheça as estações de tratamento de esgoto de Brasília**. Disponível em: <https://www.desentupirja.com.br/conheca-estacoes-de-tratamento-de-brasil/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

DUFFUS, J. H. **Heavy metals - A meaningless term?**. Artigo. In: Pure and Applied Chemistry. IUPAC Technical Report, v. 74, n. 5, p. 793-807, 2002.

DUPONT, A. **Avaliação da eficiência da estação de tratamento de esgoto da Universidade de Santa Cruz Do Sul, RS, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, RS, 2010.

ECOFOSSA. **Vala de infiltração.** Disponível em: <https://ecofossa.com/produto/vala-de-infiltracao/>. Acesso em 15 out. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Espécies vegetais recomendadas para cortinamento em estações de tratamento de esgoto (ETES) na região sul do Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura.** São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

EPA. *Environmental Protection Agency of United States. Wastewater technology fact sheet: Rapid infiltration land treatment.* MTB: Estados Unidos, 2003.

EXPOVAL. **Trickling filters.** Ministério Federal de Educação e Pesquisa da Alemanha. Disponível em: <https://www.expoval.de/en/subgroup-3-trickling-filters.html>. Acesso em: 17 nov. 2021.

FAIR, G.M., GEYER, J.C., OKUN, D.A. (1973). **Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales** [Water and wastewater engineering]. Trad. Salvador Ayanegui j. México, Editorial Limusa, v.2. 764 p.

FERREIRA, R. H. A. **Avaliação do custo de construção em função do traçado da rede coletora de esgoto sanitário.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

FREITAS, E. C. B. **Seleção de tecnologias de tratamento de esgoto utilizando análise multicritério.** 2020. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Goiás, 2020.

GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração.** 2009. 38f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009.

GERBASE, A. E. et al. **Gerenciamento de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa.** Artigo. In: Química Nova, São Paulo, v.28, n.1, p.3, 2005.

GIKAS, P.; TCHOBANOGLIOUS, G. ***The role of satellite and decentralized strategies in water resources management***. Artigo. In: Journal Of Environmental Management, Elsevier, v. 90, n. 1, 2009.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. 2005, 81 f.; Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2005.

GIROTTTO, F. J.; ANSCHAU, C. T.; SERPA, E. C. S. N. **Secagem de lodos de efluentes industriais para queima na caldeira como biomassa na geração de energia e redução de custos com a destinação dos resíduos**. Artigo. In: Anais – Engenharia de Produção. UCEFF, v. 2, n. 1, 2018.

GLOAGUEN, T. V. ***Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent***. Artigo. In: Agricultural water management. Elsevier, n. 88, p. 119-131, 2007.

GODOY, L. C. **A logística na destinação do lodo de esgoto**. Artigo. In: Revista Científica On-line, Tecnologia – Gestão – Humanismo. FATEC, v. 2, n.1, 2013.

GONÇALVES, R. A. B et al. ***Hydraulic conductivity of a soil irrigated with treated sewage effluent***. Artigo. In: Geoderma. Elsevier, n. 139, p. 241-248, 2007.

GONÇALVES, R. F. et. al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme**. In: Carlos Augusto Lemos Chernicharo. (Org.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. 1 ed. Belo Horizonte: FINEP, 2001, p. 171-278.

GRADY, C. P. L; DAIGGER, G. T.; LIM, H. C. ***Biological wastewater treatment***. 2 ed. Nova Iorque: Marcel Dekker, 1999.

HERPIN, U. et al. ***Chemical effects on the soil–plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation—A pilot field study in Brazil***. Artigo. In: Agricultural Water Management. Elsevier, n. 89, p. 105-115, 2007.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil – Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. Artigo. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. São Paulo, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HUONG, M.; COSTA, D.; HOI, B. V. ***Enhanced removal of nutrients and heavy metals from domestic-industrial wastewater in an academic campus of Hanoi***

**using modified hybrid constructed wetlands.** Artigo. In: Water Science & Technology. v. 82, n. 10, nov. 2020.

INGUNZA, M. P. D.; PEREIRA, K. L. A.; JUNIOR, O. F. S. **Use of Sludge Ash as a Stabilizing Additive in Soil-Cement Mixtures for Use in Road Pavements.** Artigo. In: Journal of Materials in Civil Engineering. ASCE, v. 27, n. 7, 2015.

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

K3 BIO MEDIA PLUS. **K3 Bio Filter Media Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)** for Aquaponics, Aquaculture, Hydroponics - Ponds - Aquariums by Wholesale Koi Farm (2 Cubic Feet). Disponível em: <https://www.amazon.com/K3-Media-Aquaponics-Aquaculture-Hydroponics/dp/B00MMU2X7O>. Acesso em: 17 nov. 2021.

KHAI, N. M. **Effects of using wastewater and biosolids as nutrient sources on accumulation and behaviour of trace metals in Vietnamese soils.** 2007. 71p. Dissertação (Doutorado) – Universidade Sueca de Ciências Agrícolas. Uppsala: 2007.

KAWAI, H. et al. **Avaliação do desempenho de estações de lagoas de estabilização.** São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1990. 15 p.

KLÜSENER, J. J. **Influência da temperatura sobre o processo de decomposição dos esgotos domésticos em lagoas facultativas.** 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

KNAPIK, H. G. **Saneamento Ambiental I – Coagulação e floculação.** Notas de aula (Engenharia Ambiental) da Universidade Federal do Paraná, 2016.

KRAINSKI, L. B.; LEPINSKI, J. C. K.; MAZER JUNIOR, A. **Relatório de Gestão UEPG em Números: Base de dados - 2014.** Ponta Grossa, 2014. Disponível em: <[http://www2.uepg.br/propan/wp-content/uploads/sites/145/2020/10/Numeros\\_UEPG\\_2014.pdf](http://www2.uepg.br/propan/wp-content/uploads/sites/145/2020/10/Numeros_UEPG_2014.pdf)>. Acesso em: 09 de agosto de 2021.

LANGE, C. R. **Sistemas de tratamento de efluentes líquidos.** Indaial: Uniasselvi, 2012.

LEAL, R. M. P. et al. **Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation.** Artigo. In: Agricultural Science. Piracicaba, v. 66, n. 2, p. 242-249, 2009.

L&L Engenharia Ambiental. **Efluentes sanitários**. Disponível em: <https://lengenhariaambiental.com.br/category/efluentes-sanitarios/>. Acesso em 15 out. 2021.

LIMA, J. F. **Avaliação da incorporação de cinzas de lodo de esgoto como adição mineral em concretos de cimento Portland**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

LIU, C.; YANG, Y.; WAN, N. **Treatment of Campus Wastewater by a Novel Construction Solid Waste (CSW) Based on Constructed Wetland System**. Artigo. In: 2012 International Symposium on Geomatics for Integrated Water Resource Management. Lanzhou, China, p. 1-4, 2012.

LOBATO, L. C. S. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**. 2011. Dissertação (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

LOBO, T. F. **Manejo de lodo de esgoto em rotações de culturas no sistema de plantio direto**. 2010. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, 2010.

MACHADO, E. L. et al. **Tratamento de efluente de campus universitário via sistema de baixo custo com leitos cultivados (wetland)**. Artigo. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 2009.

MALTA, T. S. **Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras, RJ**. Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz/ Escola Nacional de Saúde Pública, 2001. 68 p. Dissertação Mestrado.

MARA, D.; CAIRNCROSS, S. **Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture**. Measures for public health protection. Inglaterra: Organização Mundial da Saúde, 1989.

MARTINS, J. E. M. **Avaliação do Comportamento de um reator UASB tratando esgotos sanitários da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão**. 2012. 104f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2012.

MELBOURNE WATER. Disponível em: <https://www.melbournewater.com.au/>. Acesso em 17 abr. 2021.

MELIÁN, J. A. H. ***Effect of stone filters in a pond-wetland system treating raw wastewater from a university campus***. Artigo. In: Elsevier, Desalination. v. 237, n. 1-3, p. 277-284, fev. 2009.

MENDONÇA, S. R.; MENDONÇA, L. C. **Sistemas sustentáveis de esgoto**. 2017. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2017.

MENEZES, L. C. C. **Caracterização do efluente gerado no campus Poços de Caldas da Universidade Federal de Alfenas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2017.

METCALF & EDDY. ***Wastewater engineering – treatment, disposal and reuse***. 3 ed. McGraw- Hill, 1991.

METCALF & EDDY. ***Wastewater Engineering Treatment and Reuse***. 4 ed. McGraw-Hill, 2003.

METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MOREIRA, A.L.C. **A eutrofização na Lagoa de Araruama e o impacto ambiental das estações de tratamento secundário**. Ambiente Brasil, 2017. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos\\_agua\\_salgada/a\\_eutrofizacao\\_na\\_lagoa\\_de\\_araruama\\_e\\_o\\_impacto\\_ambiental\\_das\\_estacoes\\_de\\_tratamento\\_secundario.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos_agua_salgada/a_eutrofizacao_na_lagoa_de_araruama_e_o_impacto_ambiental_das_estacoes_de_tratamento_secundario.html)>. Acesso em: 07 ago. 2021.

NAKIC, D. ***Environmental evaluation of concrete with sewage sludge ash based on LCA***. Artigo. In: Sustainable Production and Consumption. Elsevier, v. 16, p. 193-201, 2018.

NASCIMENTO, T. S. R.; BOIJINK C. de. L.; PÁDUA, D. M. C. **Efeito do pH da água no equilíbrio iônico de alevinos de *Piaractus mesopotamicus***. Artigo. In: I Congresso Brasileiro de Produção de Peixes Nativos de Água Doce. Mato Grosso do Sul, 2007.

NETTO, A. P. de. O. **Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, SP, 2007.

NETTO, J. M. de A. (Org.). **Manual de Hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2007.

NOLASCO, F. R.; TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A. **Implantação de Programas de Gerenciamento de Resíduos Químicos Laboratoriais em universidades: análise crítica e recomendações**. Artigo. In: Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 11, n. 2, p. 118-124, 2006.

NUVOLARI, A. (Coord.). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Blucher, 2003.

NUVOLARI, A. (Coord.). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2011.

OLIVEIRA, D. V. M. **Caracterização dos parâmetros de controle e avaliação de desempenho de um reator biológico com leito móvel (MBBR)**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ORTIZ, I. A. S. **Coleta, transporte, tratamento e disposição final de esgoto urbano**. Artigo. In: Revista Saneamento e o Meio Ambiente. Tupã, 1 ed, p. 37-61, 2018.

OU, W. et al. **Performance of a Constructed Wetland-Pond System for Treatment and Reuse of Wastewater from Campus Buildings**. Artigo. In: Water Environment Research. v. 78, n. 12, p. 2369-2376, nov. 2006.

OWLSHALL. **Biodisc sewage treatment plant residential installation**. Disponível em: <https://www.owlshall.co.uk/sewage-treatment/residential/installation/biodisc/>. Acesso em: 21 fev. 2022.

PAPAEVANGELOU, V.; GIKAS, G. D.; TSIHRINTZIS, V. A. **Effect of Operational and Design Parameters on Performance of Pilot-Scale Vertical Flow Constructed Wetlands Treating University Campus Wastewater**. Artigo. In: Water Resources Management. v. 30, 2016.

PEDROZA, M. M. et al. **Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão**. Artigo. In: Revista Liberato. Novo Hamburgo, v. 11, n. 16, p. 89-188, 2010.

PEREIRA, B. F. F. et al. ***Nutrients and Nonessential Elements in Soil after 11 Years of Wastewater Irrigation***. Artigo. In: Journal of Environmental Quality. Madison, v. 41, p. 920-927, 2012.

PEREIRA, H. da. S. **Estudo da caracterização do efluente do Campus Universitário Capão do Leão e possibilidade de reúso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, RS, 2014.

PEREIRA, K. L. A. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos**. Rio Grande do Norte: Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2012. 125 p. Dissertação de Mestrado.

PESCOD, M. B. ***Wastewater treatment and use in agriculture*** - FAO irrigation and drainage paper 47. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO. Roma; 1992.

PONTA GROSSA. Prefeitura Municipal. **Terceira Revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico**. Disponível em: <[https://smma.pontagrossa.pr.gov.br/download/pmsb/pmsb\\_rev\\_2019-09.pdf](https://smma.pontagrossa.pr.gov.br/download/pmsb/pmsb_rev_2019-09.pdf)>. Acesso em: 09 de agosto de 2021.

POURRET, O.; HURSTHOUSE, A. **It's Time to Replace the Term "Heavy Metals" with "Potentially Toxic Elements" When Reporting Environmental Research**. Artigo. In: International Journal of Environmental Research and Public Health. v. 16, n. 22, p. 4446, 2019.

PORTAL UEPG. **Catálogo de cursos 2021**. Disponível em: <https://www2.uepg.br/prograd/catalogo-de-cursos-2021/>. Acesso em: 15 nov. 2021.

PRADO, G. S. **Concepção e estudo de uma unidade compacta para tratamento preliminar de esgoto sanitário composta por separador hidrodinâmico por vórtice e grade fina de fluxo tangencial**. 2006. Dissertação (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PRECAM. Prefeitura do Campus. **Controle de água: anos 2018-2019**. Ponta Grossa. 2022.

PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **Espaço Físico: Campus Uvaranas**. Disponível em: <<http://www2.uepg.br/propan/wp-content/uploads/sites/145/2020/10/Campus-Uvaranas.pdf>>. Acesso em: 09 de agosto de 2021.

PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **PDI: Plano de Desenvolvimento Institucional: 2018-2022.** Ponta Grossa, UEPG. 2018.

PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **UEPG em números 2006.** Ponta Grossa, 2006.

PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **UEPG em números 2007.** Ponta Grossa, 2007.

PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **UEPG em números 2009.** Ponta Grossa, 2009.

PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **UEPG em números 2010.** Ponta Grossa, 2010.

PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **UEPG em números 2011.** Ponta Grossa, 2011.

PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **UEPG em números 2012.** Ponta Grossa, 2012.

PROPLAN. Pró-Reitoria de Planejamento. **UEPG em números 2013.** Ponta Grossa, 2013.

PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção.** Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428p.

PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura.** Curitiba, 1999. 98p.

QASIM, S.R. ***Wastewater treatment plants: planning, design and operation.*** Holt, Rinehart and Winston. Nova Iorque, 1985.

QUEIROZ, T. R. **Remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização por meio de processos naturais.** 2001. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

RIBEIRO, T. B. et. al. **Parte 2: Tratamento preliminar, bombeamento e distribuição de vazão.** 1º Fórum Técnico ETEs Sustentáveis. INCT, CREA – MG e COPASA, 2018.

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

ROCHA, D. P. **Avaliação da viabilidade da implantação e operação de sistema UASB para tratamento de esgotos em escala centralizada no município de Paim Filho, RGS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

ROWE, D. R.; ABDEL-MAGID, I. M. Handbook of wastewater reclamation and reuse. Boca Raton: CRC Press, 1995.

SALATI, E. **Controle de qualidade de águas através de sistemas de wetlands construídos**. (Relatório) Brasília: CNPq, 1998.

SALATI, E. **Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de águas**. Artigo. In: Revista Biológico, São Paulo, v.65, n.1/2, p.113-116, jan./dez., 2003.

SANECOMFIBRA. **Conjunto pré-tratamento / preliminar**. Disponível em:<<https://www.sanecomfibra.com.br/conjunto-pre-tratamento-preliminar>>. Acesso em 12 dez. 2022.

SANEPAR. **Manual de Projetos de Saneamento**. 2020. Disponível em:<<https://site.sanepar.com.br/informacoes-tecnicas/2730>>. Acesso em: 02 de novembro de 2021.

SANTOS, R. F. *et al.* **Abordagem descentralizada para concepção de sistemas de tratamento de esgoto doméstico**. Artigo. In: Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura, 16 ed, 2015.

SARTI, A. et al. **Tratamento de esgoto sanitário utilizando reatores anaeróbios operados em bateladas sequenciais (escala piloto)**. Artigo. In: VIII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, 2006.

SENA, R. F. **Avaliação da biomassa obtida pela otimização da flotação de efluentes da indústria de carnes para geração de energia**. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

SILVA, S. C. **“Wetlands construídos” De fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 2007. 231 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, 2007.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MATEMÁTICA. **Edital nº 13, publicado em 25 de agosto de 2021.** Torna pública a realização do Exame Nacional de Acesso para ingresso no Profmat em 2022. Disponível em: <https://ena.profmat-sbm.org.br/EDITAL-ENA-2022.pdf>. Acesso em: 17 de dezembro de 2021.

SOUZA, A. C. et. Al. ***Root system distribution of sugarcane irrigated with domestic sewage effluent application by subsurface drip system.*** Artigo. In: Engenharia Agrícola. Jaboticabal, v. 33, n.4, p. 647-657, 2013.

SOUZA, C. L. **Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada em reatores uasb tratando esgotos domésticos.** 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

SPELLMAN, F. R. ***Water and wastewater treatment plant operations.*** 2 ed. Nova Iorque: CRC Press, 2009.

SPELLMAN, F. R.; DRINAN, J. E. ***Wastewater stabilization ponds.*** E-book. Nova Iorque: CRC Press, 2014.

TAUCHEN, J.; BRANDLI, L.L. **A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para a implantação em campus universitário.** Gestão e Produção, São Paulo, v.13, n.3, p. 503-515, set./dez. 2006.

TAVARES, F. A. et al. **Desempenho da macrófita Lemna valdiviana no tratamento terciário de efluentes de suinocultura e sua contribuição para a sustentabilidade da atividade.** Artigo. In: Revista Biotemas. UFSC, v. 21, n. 1, 2008.

TAY, J. H. ***Sludge Ash as Filler for Portland Cement Concrete.*** Artigo. In: Journal of Environmental Engineering. ASCE, v. 113, n. 2, 1987.

TEDESCO, A. et al. **Cadastro Técnico Multifinalitário do Campus Uvaranas – UEPG.** Artigo. In: 18º CONEX - Encontro Conversando sobre Extensão. 2020

TILLEY ET. AL. ***Pathogenic bacteria and antibiotic resistance gene removal in wastewater using upflow anaerobic sludge blanket (uasb) reactor.*** Universidade de Stavanger, 2019.

TOMIELLO, E. C. **Análise dos resíduos sólidos de desarenador do Tratamento preliminar de esgotos sanitários da Cidade de maringá – PR.** 2008. 130 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

TONETTI, *et al.* **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas.** 1 ed. Universidade Estadual de Campinas. Campinas: ABES, 2018.

TOSETTO, M. S. **Tratamento terciário de esgoto sanitário para fins de reúso urbano.** 2005. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Ambiente) - Universidade de Campinas, 2005.

TREEBIO. **Desinfecção de água e efluentes com raios ultravioleta.** Disponível em: <<https://www.revistatae.com.br/Artigo/447/desinfeccao-de-agua-e-efluentes-com-raios-ultravioleta>>. Acesso em 15 out. 2021.

UCELO. **MBBR - Reator biológico de leito móvel.** Disponível em : <https://www.ucelo.com.br/produtos-mbbr> Acesso em: 17 de agosto de 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Conselho de ensino, pesquisa e extensão. **Resolução CEPE - nº 2020.8**, assinada em 27 de março de 2020. Aprova Novo Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da UEPG. Disponível em: [https://ppgagro.sites.uepg.br/public/arquivos/regulamentos/RESOLUCAO\\_CEPE\\_N2020.8.pdf](https://ppgagro.sites.uepg.br/public/arquivos/regulamentos/RESOLUCAO_CEPE_N2020.8.pdf). Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Conselho de ensino, pesquisa e extensão. **Resolução CEPE no 034, de 21 de novembro de 2017.** Aprova Novo Regulamento do Programa Acadêmico de Pós-Graduação em Computação Aplicada, da UEPG. Disponível em: [https://www3.uepg.br/computacaoaplicada/wp-content/uploads/sites/11/2018/02/Novo-Regulamento-PPGCA\\_AprovadoCEPE.pdf](https://www3.uepg.br/computacaoaplicada/wp-content/uploads/sites/11/2018/02/Novo-Regulamento-PPGCA_AprovadoCEPE.pdf). Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Conselho de ensino, pesquisa e extensão. **Resolução CEPE no 007, de 27 de março de 2018.** Aprova Novo Regulamento do Programa Acadêmico de Pós-Graduação em Odontologia, da UEPG. Disponível em: [http://www2.uepg.br/ppgodonto/wp-content/uploads/sites/56/2020/04/Regulamento\\_Stricto\\_Senso-1.pdf](http://www2.uepg.br/ppgodonto/wp-content/uploads/sites/56/2020/04/Regulamento_Stricto_Senso-1.pdf). Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Conselho de ensino, pesquisa e extensão. **Resolução CEPE nº 007, de 21 de fevereiro de 2017.** Aprova Novo Regulamento do Programa de Pós-Graduação Stricto sensu – Mestrado em Ciências Biomédicas, da UEPG. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgbiomedicas/wp-content/uploads/sites/132/2020/08/regulamento.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Conselho de ensino, pesquisa e extensão. **Resolução CEPE no 014, de 27 de março de 2018.** Aprova Novo Regulamento do Programa Acadêmico de Pós-Graduação em Ciências - Física, da UEPG. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgfisica/wp-content/uploads/sites/149/2020/11/Regulamento-atual-PPG-Ciencias.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Conselho de ensino, pesquisa e extensão. **Resolução CEPE nº 2020.15.** Regulamento do programa acadêmico de pós-graduação stricto sensu em química – cursos de mestrado e doutorado. Disponível em: [https://www3.uepg.br/ppgqa/wp-content/uploads/sites/55/2020/05/REGULAMENTO\\_PPGQ\\_Regulamento-para-Mestrado-e-Doutorado.pdf](https://www3.uepg.br/ppgqa/wp-content/uploads/sites/55/2020/05/REGULAMENTO_PPGQ_Regulamento-para-Mestrado-e-Doutorado.pdf). Acesso em: 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Conselho de ensino, pesquisa e extensão. **Regulamento do programas de pós-graduação stricto sensu em ensino de física da universidade estadual de ponta grossa.** Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgef/wp-content/uploads/sites/204/2021/08/REGULAMENTO-DOPPGEF2019.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Conselho Universitário. **Resolução Univ nº 11 de 31 de março de 2009.** Aprova o Regulamento do Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Bioenergia – PPGB – Modalidade Mestrado Acadêmico com Associação em Rede de Instituições de Ensino Superior (IES) e Institutos de Pesquisa (IP) sediados no Estado do Paraná; e revoga as disposições em contrário. Disponível em: [https://www.pitangui.uepg.br/secrei/externas\\_con/resolucoes/RESUNIV%202009/Res%20UNIV%20011.2009.pdf](https://www.pitangui.uepg.br/secrei/externas_con/resolucoes/RESUNIV%202009/Res%20UNIV%20011.2009.pdf). Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital nº 16/2020 – PPG-Agronomia, de 07 de dezembro de 2020.** Inscrição e seleção no programa de pós-graduação em agronomia, nível mestrado e doutorado, da universidade estadual de ponta grossa – UEPG. Ponta Grossa, Pró-reitoria de pesquisa e pós graduação. Disponível em: [https://ppgagro.sites.uepg.br/public/arquivos/editais/8/EDITAL\\_N16\\_2020\\_selecao\\_mestrado\\_e\\_doutorado.pdf](https://ppgagro.sites.uepg.br/public/arquivos/editais/8/EDITAL_N16_2020_selecao_mestrado_e_doutorado.pdf). Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital 06/2021, de 11 de novembro de 2021.** Torna público o edital de abertura das inscrições para o Processo Seletivo visando ao ingresso em 2022, no referido programa, nível mestrado, áreas de concentração em Biocombustíveis e Energias Renováveis. Disponível em: [https://pitangui.uepg.br/propesp/ppgb/\\_pdf/2021/EDITAL06%20PPG%20EM%20BIOENERGIA%202021.pdf](https://pitangui.uepg.br/propesp/ppgb/_pdf/2021/EDITAL06%20PPG%20EM%20BIOENERGIA%202021.pdf). Acesso em: 12 dez. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital nº17/2021 (retificado), de 18 de outubro de 2021**. Torna público o processo de inscrição e seleção para o curso de mestrado em ciência e tecnologia de alimentos para o biênio 2022-2024 (1º semestre 2022- 1º semestre 2024). Disponível em: [https://www2.uepg.br/ppgcta/wp-content/uploads/sites/40/2021/10/Edital-n.-17-2021-PPG-CTA-\\_edital-de-Inscricao-e-Selecao-Mestrado-2022-2024-l-sem-Final-Retificado.pdf](https://www2.uepg.br/ppgcta/wp-content/uploads/sites/40/2021/10/Edital-n.-17-2021-PPG-CTA-_edital-de-Inscricao-e-Selecao-Mestrado-2022-2024-l-sem-Final-Retificado.pdf). Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital nº 18/2021 (retificado), de de 18 de outubro de 2021**. Torna público o Processo de Inscrição e Seleção para o Curso de DOUTORADO em Ciência e Tecnologia de Alimentos para o quadriênio 2022-2026 (1º semestre 2022 - 1º semestre 2026). Disponível em: [https://www2.uepg.br/ppgcta/wp-content/uploads/sites/40/2021/10/Edital-n.-18-2021-PPG-CTA-\\_edital-de-Inscricao-e-Selecao-Doutorado-2022-2026-l-sem-final-Retificado.pdf](https://www2.uepg.br/ppgcta/wp-content/uploads/sites/40/2021/10/Edital-n.-18-2021-PPG-CTA-_edital-de-Inscricao-e-Selecao-Doutorado-2022-2026-l-sem-final-Retificado.pdf). Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital 09/2021, de 20 de julho de 2021**. Processo seletivo do Mestrado Acadêmico em Computação Aplicada para ingresso no segundo semestre de 2021. Inscrição, Seleção e Matrícula. Disponível em: [https://www3.uepg.br/computacaoaplicada/wp-content/uploads/sites/11/2021/07/Edital\\_09\\_2021\\_SelecaoRegular2021b.pdf](https://www3.uepg.br/computacaoaplicada/wp-content/uploads/sites/11/2021/07/Edital_09_2021_SelecaoRegular2021b.pdf). Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital 17/2021, de 5 de julho de 2021**.Torna público o Processo de Inscrição e Seleção para o Curso de MESTRADO em Engenharia e Ciência de Materiais para ingresso no 2º semestre de 2021. Disponível em: <https://sites.uepg.br/posgradmat/Public/documentos/f1cb5d718871a5e156f91ba7850ef5dd.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital 18/2021, de 5 de julho de 2021**. Torna público o Processo de Inscrição e Seleção para o Curso de DOUTORADO em Engenharia e Ciência de Materiais para ingresso no 2º semestre de 2021. Disponível em: <https://sites.uepg.br/posgradmat/Public/documentos/1c3b79d8f529d55f26485a8e8d17289f.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital nº 02/2021-PPZ, de 17 de fevereiro de 2021**. Torna público o Processo de Inscrição e Seleção para o Curso de Mestrado em ZOOTECNIA para ingresso no ano de 2021. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgz/wp-content/uploads/sites/195/2021/06/6e237907e159deaa365802319dab7cc9.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital 04/2020, de 10 de dezembro de 2020.** Torna público o presente Edital para realização do Processo de Seleção para candidatos ao mestrado - Biologia Celular e Molecular e Fisiologia e Fisiopatologia. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgbiomedicas/wp-content/uploads/sites/132/2020/12/EDITAL-04-2020.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital PPGO – 03/2021, de 15 de novembro de 2021.** Torna público o processo de inscrição para seleção de alunos para os cursos de Mestrado e Doutorado em Odontologia, Áreas de concentração em Clínica Integrada e Dentística Restauradora, com início no ano de 2022. Disponível em: [https://www2.uepg.br/ppgodonto/wp-content/uploads/sites/56/2021/11/03\\_2021\\_-EDITAL-PPGO-selecao-alunos-de-Mestrado-e-Doutorado-Ingresso-2022.pdf](https://www2.uepg.br/ppgodonto/wp-content/uploads/sites/56/2021/11/03_2021_-EDITAL-PPGO-selecao-alunos-de-Mestrado-e-Doutorado-Ingresso-2022.pdf). Acesso em: 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital nº 01/2021 PPGECEM – UEPG, de 19 de maio de 2021.** Torna público e estabelece as normas do processo seletivo para preenchimento das vagas no nível de Mestrado Acadêmico, turma 2021 do referido programa. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgecem/wp-content/uploads/sites/155/2021/05/Edital-selecao-mestrado-PPGECEM-2021.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital nº 23/2021, de 29 de novembro de 2021.** Inscrição e seleção 2022 doutorado em geografia. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgg/wp-content/uploads/sites/161/2021/11/EDITAL-SELECAO-DOCTORADO-2022-1.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação. **Edital 07/2021, de 31 de agosto de 2021.** Torna público, para conhecimento dos interessados, os procedimentos e informações do Processo Seletivo para ingresso de estudantes regulares, a terem início no segundo semestre do ano de 2021. Disponível em: [https://www3.uepg.br/ppgqa/wp-content/uploads/sites/55/2021/09/Edital-07\\_2021\\_Selecao-2-Semestre-2021.pdf](https://www3.uepg.br/ppgqa/wp-content/uploads/sites/55/2021/09/Edital-07_2021_Selecao-2-Semestre-2021.pdf). Acesso em: 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ciências da Saúde. **EDITAL Nº 11/2020 PPGCS-UEPG, de 07 de dezembro de 2020.** Torna público e estabelece as normas do processo seletivo para preenchimento das vagas no nível de Mestrado Acadêmico, turma com ingresso em 2021 do referido programa. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgcs/wp-content/uploads/sites/44/2020/12/EDITAL-No-11-2020-Abertura-de-inscricoes-1.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Programa de Pós-Graduação em Ciências/Física. **Edital MS-CIÊNCIAS – nº 2021.143**, assinado em 30 de março de 2021. Torna público o processo de inscrição e seleção para o curso de mestrado para o primeiro semestre letivo do ano de 2021. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1RNJwZQa9X-LI-v38rGcWzx-wWDoyovby/view>. Acesso em: 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Programa de Pós-Graduação em Ciências/Física. **Edital MS-CIÊNCIAS – nº 2020.368**. Torna público o processo de inscrição e seleção para o curso de Doutorado para o primeiro semestre letivo do ano de 2021. Disponível em: Acesso em: <https://drive.google.com/file/d/1BZaxdDAUZq3FfGvzk43g9WpNw-q5KDIL/view>. 17 nov. 2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. Programa de Pós-Graduação em Geografia. **Regulamento do programa de pós-graduação em geografia - mestrado em gestão do território e doutorado em geografia da uepg**. Disponível em: <https://www2.uepg.br/ppgg/wp-content/uploads/sites/161/2020/12/c5c55376d5c84139bd000cbd53ec80e3.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2021.

USMAN, K. et al. ***Sewage Sludge: An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications***. Artigo. In: American Journal of Plant Sciences. Paquistão, n. 3, p. 1708-1721, 2012.

VALENTIM, M. A. A. **Desempenho de leitos cultivados ("Constructed Wetland") para tratamento de esgoto: Contribuições para concepção e operação**. 2003. 233 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, 2003.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994.

VEATCH, N. T. **Chapter XVI: The use of sewage effluents in agriculture. In: Modern Sewage disposal**. Nova Iorque: Federation of Sewage Works Associations, 1938.

VILLELA, L. C. H.; FORESTI, E. **Tratamento de esgotos sanitários com reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) protótipo: desempenho e respostas dinâmicas as sobrecargas hidráulicas**. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

VON SPERLING, M. **Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors**. Biological Wastewater Treatment Series (Volume 5). London: IWA publishing, 2007a. 338 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.

VON SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. Biological Wastewater Treatment Series (Volume 1). London: IWA publishing, 2007b. 296 p.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **Biological wastewater treatment in warm climate regions**. 1 ed. Reino Unido: IWA Publishing, 2005.

VON SPERLING, M. **Performance evaluation and mathematical modelling of coliform die-off in tropical and subtropical waste stabilization ponds**. Artigo. In: Water Research, v. 33, n. 6, p. 1435-1448.

WEF, Water environment federation. **Biofilm reactors: WEF Manual of Practice No. 35**. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2010a.

WEF, Water environment federation. **Design of Municipal Wastewater Treatment Plants: WEF Manual of Practice No. 8**. 5. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2010b.

WEF, Water environment federation. **Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants – Manual of Practice No. 10**. 3 ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 1996.

WESTCOT, D. W. **Quality control of wastewater for irrigated crop production**. Nº 10. Roma, Itália: Food and Agriculture Organization (FAO); 1997.

WINANTI, E. T.; RAHMADYANTI, E.; FAJARWATI, I. N. **Ecological approach of campus wastewater treatment using constructed wetland**. Artigo. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Bandung, Indonesia, v. 288, 2018.

WOLVERTON, B.C. **Aquatic plant/microbial filters for treating septic tank effluent**. In: HAMMER, D.A. (Ed.). Constructed wetlands for wastewater treatment. municipal, industrial and agricultural. Chelsea: Lewis Publishers, 1989. 173p.

YIGIT, N. O. et al. **The use of a pilot-scale membrane bioreactor in treating domestic wastewater with variable characteristics for potential water reuse on a university campus**: Its Treatment and Reuse in Water-Scarce Countries. In: BAZ, I.

## APENDICE I – CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO DA ETE

- **População de projeto: projeção geométrica**

$$i = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (01)$$

$$P_t = P_1 \cdot e^{i \cdot (t - t_1)} \quad (02)$$

$i$  = coeficiente de crescimento populacional

$P_1$  e  $P_2$  = população no ano  $t_1$  e  $t_2$  (hab)

$P_t$  = população estimada no ano  $t$  (hab)

$t$  = ano de projeto

$$i = \frac{\ln 8220 - \ln 5316}{2021 - 2002}$$

$$i = 0,0229$$

$$P_{2041} = 5316 \cdot e^{0,0229 \cdot (2041 - 2002)}$$

$$P_{2041} = 13005 \text{ hab}$$

- **Vazões afluentes conforme o consumo de água**

$$Q_{\text{méd}} = \frac{P \cdot q_a \cdot R}{86400} \quad (03)$$

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{méd}} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (04)$$

$$Q_{\text{mín}} = Q_{\text{méd}} \cdot K_3 \quad (05)$$

$Q$  = vazão (L/s)

$P$  = população (hab)

$q_a$  = consumo de água per capita (L/hab.d)

$R = 0,8$  (coeficiente de retorno)

$K_1 = 1,2$  (coeficiente do dia de maior consumo)

$K_2 = 1,5$  (coeficiente da hora de maior consumo)

$K_3 = 0,5$  (coeficiente da hora de menor consumo)

Atual	Projeção
$Q_{\text{méd}} = \frac{8220 \cdot 10,58 \cdot 0,8}{86400}$	$Q_{\text{méd}} = \frac{13005 \cdot 10,58 \cdot 0,8}{86400}$
$Q_{\text{méd}} = 0,81 \text{ L/s}$	<b><math>Q_{\text{méd}} = 1,27 \text{ L/s}</math></b>
	<b><math>Q_{\text{méd}} = 0,0013 \text{ m}^3/\text{s}</math></b>
$Q_{\text{máx}} = 0,81 \cdot 1,2 \cdot 1,5$	$Q_{\text{máx}} = 1,27 \cdot 1,2 \cdot 1,5$
$Q_{\text{máx}} = 1,45 \text{ L/s}$	<b><math>Q_{\text{máx}} = 2,29 \text{ L/s}</math></b>
	<b><math>Q_{\text{máx}} = 0,0023 \text{ m}^3/\text{s}</math></b>
$Q_{\text{mín}} = 0,81 \cdot 0,5$	$Q_{\text{mín}} = 1,27 \cdot 0,5$
<b><math>Q_{\text{mín}} = 0,40 \text{ L/s}</math></b>	$Q_{\text{mín}} = 0,64 \text{ L/s}$
<b><math>Q_{\text{mín}} = 0,0004 \text{ m}^3/\text{s}</math></b>	

- **Calha Parshall**

A calha Parshall adotada é de 2“, ou 0,058 m.

$$H = \left( \frac{Q}{2,2 \cdot W} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (06)$$

$$z = \frac{Q_{\text{máx}} \cdot H_{\text{mín}} - Q_{\text{mín}} \cdot H_{\text{máx}}}{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}} \quad (07)$$

H = altura da lâmina d'água (m)

W = dimensão da garganta da calha Parshall (m)

z = rebaixo da calha Parshall (m)

$$H_{\text{máx}} = \left( \frac{0,0023}{2,2 \cdot 0,0508} \right)^{\frac{2}{3}} \quad H_{\text{méd}} = \left( \frac{0,0013}{2,2 \cdot 0,0508} \right)^{\frac{2}{3}} \quad H_{\text{mín}} = \left( \frac{0,0004}{2,2 \cdot 0,0508} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_{\text{máx}} = 0,075 \text{ m} \quad H_{\text{méd}} = 0,051 \text{ m} \quad H_{\text{mín}} = 0,024 \text{ m}$$

$$z = \frac{0,0023 \cdot 0,024 - 0,0004 \cdot 0,075}{0,0023 - 0,0004}$$

$$z = 0,013 \text{ m}$$

- **Desarenador**

$$h = H - z \quad (08)$$

$$b = \frac{Q_{\text{máx}}}{h_{\text{máx}} \cdot v_h} \quad (09)$$

$$L = 22,5 \cdot h_{\text{máx}} \quad (10)$$

$h$  = altura da lâmina d'água no desarenador (m)

$b$  = largura do desarenador (m)

$v_h$  = velocidade de escoamento horizontal no desarenador (m/s)

$L$  = comprimento do desarenador (m)

$$h_{\text{máx}} = 0,075 - 0,013$$

$$h_{\text{méd}} = 0,051 - 0,013$$

$$h_{\text{mín}} = 0,024 - 0,013$$

$$h_{\text{máx}} = 0,06 \text{ m}$$

$$h_{\text{méd}} = 0,04 \text{ m}$$

$$h_{\text{mín}} = 0,01 \text{ m}$$

$$b = \frac{0,0023}{0,06 \cdot 0,3}$$

$$b = 0,122 \text{ m}$$

$$\mathbf{b_{\text{adot}} = 0,13 \text{ m}}$$

$$L = 22,5 \cdot 0,06$$

$$L = 1,404 \text{ m}$$

$$\mathbf{L_{\text{adot}} = 1,40 \text{ m}}$$

Tabela – Verificação da velocidade horizontal no desarenador

Valor	Q (m <sup>3</sup> /s)	h (m)	$b_{\text{adot}} \cdot h$ (m <sup>2</sup> )	$v_h$ (m/s)	Verificação (m/s)
Máx.	0,0023	0,06	0,008	0,28	< 0,4
Méd.	0,0013	0,04	0,005	0,26	0,15 - 0,3
Mín.	0,0004	0,01	0,001	0,28	0,15 - 0,3

Fonte: As autoras (2022).

$$TAS = \frac{Q_{\text{méd}}}{A} \quad (11)$$

TAS = taxa de aplicação ou escoamento superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d)

A = área longitudinal do desarenador (m<sup>2</sup>)

$$TAS = \frac{110,08}{0,13 \cdot 1,4}$$

$$TAS = 605 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d} \therefore \text{OK}$$

- **Gradeamento**

A velocidade de passagem entre barras foi fixada em 0,9 m/s para o cálculo inicial, utilizando a vazão máxima. Optou-se por uma grade fina, com espaçamento de 10 mm, espessura de 8,0 mm e ângulo de 45°.

$$A_u = \frac{Q}{v_p} \quad (12)$$

$$E = \frac{a}{a + t} \quad (13)$$

$$S = \frac{A_u}{E} \quad (14)$$

$$b = \frac{S}{h} \quad (15)$$

$A_u$  = área útil (m<sup>2</sup>)

$v_p$  = velocidade de passagem entre barras (m/s)

$E$  = eficiência da grade

$a$  = espaçamento entre barras (mm)

$t$  = espessura das barras (mm)

$S$  = seção de escoamento (m<sup>2</sup>)

$b$  = largura do canal da grade (m)

$$A_u = \frac{0,0023}{0,9}$$

$$A_u = 0,003 \text{ m}^2$$

$$E = \frac{10}{10 + 8}$$

$$E = 0,56$$

$$S = \frac{0,003}{0,56}$$

$$S = 0,005 \text{ m}^2$$

$$b = \frac{0,005}{0,06}$$

$$b = 0,073 \text{ m}$$

$$\mathbf{b_{adot} = 0,1 \text{ m}}$$

Tabela – Verificação da velocidade de passagem no gradeamento

Valor	Q (m <sup>3</sup> /s)	S (m <sup>2</sup> )	$A_u$ (m <sup>2</sup> )	$v_p$ (m/s)	Verificação (m/s)
Máx.	0,0023	0,006	0,0035	0,66	< 1,2
Méd.	0,0013	0,004	0,0021	0,60	0,6 - 1,0
Mín.	0,0004	0,001	0,0006	0,66	0,6 - 1,0

Fonte: As autoras (2022).

$$h_{50\%} = \frac{1,43 \cdot [(2 \cdot v)^2 - v_0^2]}{2 \cdot g} \quad (16)$$

$h_{50\%}$  = perda de carga considerando 50% de obstrução da grade (m)

$v$  = velocidade do fluxo através das barras (m/s)

$v_0$  = velocidade imediatamente a montante da grade (m/s)

$g$  = aceleração da gravidade, igual a 9,8 m/s<sup>2</sup>

$$h_{50\%} = \frac{1,43 \cdot [(2 \cdot 0,66)^2 - \frac{0,0023^2}{0,06}]}{2 \cdot 9,81}$$

$$h_{50\%} = 0,118 \text{ m} \therefore 0,15 \text{ m (valor mínimo)}$$

$$y = h_{\text{máx}} + h_{50\%} + 0,2 \quad (17)$$

$y$  = altura do canal (m)

$h_{\text{máx}}$  = altura da lâmina máxima de água (m)

$$y = 0,06 + 0,15 + 0,2$$

$$y = 0,412 \text{ m} \therefore 0,5 \text{ m}$$

$$N = \frac{b}{a + t} \quad (18)$$

$$e = \frac{b - [n \cdot t + (n - 1) \cdot a]}{2} \quad (19)$$

$N$  = número estimado de barras

$e$  = espaçamento entre barras externas e as paredes do canal (mm)

$n$  = número de barras adotado

$$N = \frac{100}{10 + 8}$$

$$N = 5,6 \therefore 5 \text{ barras}$$

$$e = \frac{100 - [5 \cdot 8 + (5 - 1) \cdot 10]}{2}$$

$$e = 10 \text{ mm}$$

- **Reator UASB**

Adotou-se 8 horas como tempo inicial de detenção hidráulica.

$$V = Q \cdot t \quad (20)$$

$V$  = volume do reator ( $m^3$ )

$Q$  = vazão média do esgoto ( $m^3/h$ )

$t$  = tempo de detenção hidráulica (h)

$$V = 4,59 \cdot 8$$

$$V = 36,69 \text{ m}^3$$

Adotou-se 4,5 m para a altura do reator e área da base igual a  $9 \text{ m}^2$ , resultando em um volume total de  $40,50 \text{ m}^3$  e tempo de detenção hidráulica de 8,8 horas.

$$v_{asc} = \frac{Q \cdot H}{V} = \frac{Q}{A} \quad (21)$$

$v_{asc}$  = velocidade ascensional (m/h)

$A$  = área da base do reator ( $m^2$ )

$$v_{asc} = \frac{4,59}{9}$$

$$v_{asc} = 0,51 \text{ m/h} \therefore \text{OK}$$

$$v_{asc \text{ máx}} = \frac{8,26}{9}$$

$$v_{asc \text{ máx}} = 0,92 \text{ m/h} \therefore \text{OK}$$

Adotou-se a área de influência de cada tubo igual a  $2 \text{ m}^2$ , tubos de 75 mm de diâmetro e área superficial de  $0,004 \text{ m}^2$ .

$$N = \frac{A}{A_{inf}} \quad (22)$$

$$v_{desc} = \frac{Q}{N \cdot A_{tubo}} \quad (23)$$

$N$  = número de tubos

$A_{inf}$  = área de influência ( $m^2$ )

$v_{desc}$  = velocidade descendente (m/s)

$A_{tubo}$  = área superficial de cada tubo (m<sup>2</sup>)

$$N = \frac{9}{2}$$

$$N = 4,5 \therefore 5 \text{ tubos}$$

$$v_{desc} = \frac{0,0013}{5 \cdot 0,004}$$

$$v_{desc} = 0,06 \text{ m/s} \therefore \text{OK}$$

$$v_{desc \text{ máx}} = \frac{0,0023}{5 \cdot 0,004}$$

$$v_{desc \text{ máx}} = 0,10 \text{ m/s} \therefore \text{OK}$$

$$COV = \frac{Q \cdot S_0}{V} \quad (24)$$

COV = carga orgânica volumétrica (kgDQO/m<sup>3</sup>d)

Q = vazão média do esgoto (m<sup>3</sup>/d)

$S_0$  = DQO do afluente (kg/m<sup>3</sup>)

V = volume do reator (m<sup>3</sup>)

$$COV = \frac{110,1 \cdot 0,529}{40,50}$$

$$COV = 1,44 \text{ kgDQO/m}^3 \cdot \text{d}$$

- **Eficiência do reator UASB**

$$E_{DBO} = 100 \cdot (1 - 0,70 \cdot t^{-0,50}) \quad (25)$$

$$E_{DQO} = 100 \cdot (1 - 0,68 \cdot t^{-0,35}) \quad (26)$$

$E_{DBO}$  = eficiência de remoção de DBO (%)

$E_{DQO}$  = eficiência de remoção de DQO (%)

t = tempo de detenção hidráulica (h)

$$E_{DBO} = 100 \cdot (1 - 0,70 \cdot 8,8^{-0,50})$$

$$E_{DBO} = 76\%$$

$$E_{DQO} = 100 \cdot (1 - 0,68 \cdot 0,8^{-0,35})$$

$$E_{DQO} = 68\%$$

Em favor da segurança, foi realizada uma redução de 5% do valor calculado, resultando em 71% e 63% de eficiência de remoção da DBO e DQO, respectivamente.

O valor da DBO bruta encontrado na análise de dados foi de 283,6 mg/L e o valor de DQO foi de 528,6 mg/L. Efetuando as reduções, é previsto que o efluente do reator UASB terá 81,0 mg/L de DBO e 194,1 mg/L de DQO.

- **Produção de lodo pelo reator UASB**

Os valores adotados foram: coeficiente de produção de sólidos igual a 0,15 kgTSS/kgDQO<sub>ap</sub>, densidade típica do lodo de 1030 kg/m<sup>3</sup> e concentração de sólidos no lodo de 4%.

$$P = Y \cdot DQO_{ap} \quad (27)$$

$$V_{lodo} = \frac{P}{\gamma \cdot C} \quad (28)$$

P = produção de sólidos suspensos totais no sistema (kgSST/d)

Y = coeficiente de produção de sólidos (kgTSS/kgDQO<sub>ap</sub>)

DQO<sub>ap</sub> = carga de DQO do esgoto bruto (kgDQO/d)

V<sub>lodo</sub> = volume de lodo produzido (m<sup>3</sup>/d)

γ = densidade do lodo (kg/m<sup>3</sup>)

C = concentração de sólidos no lodo (%)

$$P = 0,15 \cdot (0,529 \cdot 110,1)$$

$$P = 8,73 \text{ kgSST/d}$$

$$V_{lodo} = \frac{8,73}{1030 \cdot (0,04)}$$

$$V_{lodo} = 0,212 \text{ m}^3/\text{d}$$

O volume de lodo gerado em 23 dias de operação é igual a 4,9 m<sup>3</sup>. Adotou-se 30 cm de profundidade para cada leito e 2 leitos de dimensões 3 x 3 m.

$$SST = \frac{P \cdot d}{A_{\text{leito}}} \quad (29)$$

SST = carga de sólidos em suspensão totais (kgSST/m<sup>2</sup>)

d = ciclo de operação (dias)

A<sub>leito</sub> = área total dos leitos de secagem (m<sup>2</sup>)

$$TAS = \frac{8,73 \cdot 23}{18}$$

$$TAS = 11,15 \text{ kgSST/m}^2$$

- **Lagoa facultativa**

Adotou-se o valor de 140 kgDBO/ha.d para a taxa de carga superficial aplicada e 81,0 mg/L para a DBO que entra na lagoa facultativa.

$$A = \frac{L}{L_s} \quad (30)$$

$$t = \frac{V}{Q} \quad (31)$$

A = área superficial necessária (ha)

L = carga de DBO na lagoa (kgDBO/d)

L<sub>s</sub> = taxa de carga superficial aplicada (kgDBO/ha.d)

t = tempo de detenção hidráulica (dias)

V = volume da lagoa (m<sup>3</sup>)

Q = vazão de esgoto média (m<sup>3</sup>/d)

$$A = \frac{(0,081 \cdot 110,1)}{140}$$

$$A = 0,0637 \text{ ha} = 637 \text{ m}^2$$

$$t = \frac{2178}{110,1}$$

$$t = 19,8 \text{ dias}$$

O volume da lagoa foi adotado segundo recomendações da literatura e ajustado conforme o tempo de detenção hidráulica. A geometria final da lagoa consiste em 1,5 m de profundidade, 22 m de largura e 66 m de comprimento, resultando em 2178 m<sup>3</sup> de volume e 1452 m<sup>2</sup> de área superficial.

- **Eficiência da lagoa facultativa**

O valor de K utilizado foi de 0,20 d<sup>-1</sup>.

$$S = S_0 \cdot e^{-K \cdot t} \quad (32)$$

S = concentração de DBO solúvel no efluente (mg/L)

S<sub>0</sub> = concentração de DBO inicial (mg/L)

K = coeficiente de remoção de DBO (d<sup>-1</sup>)

t = tempo de detenção hidráulica (d)

$$S = 81 \cdot e^{-0,2 \cdot 19,8}$$

$$S = 1,55 \text{ mg/L}$$

O valor de concentração de coliformes inicial foi estimado em 10<sup>6</sup> CF/100 ml.

$$K_b = 0,917 \cdot H^{-0,877} \cdot t^{-0,329} \quad (33)$$

$$N = N_0 \cdot e^{-K_b \cdot t} \quad (34)$$

H = profundidade da lagoa (m)

N = concentração de coliformes no efluente (org/100 ml)

N<sub>0</sub> = concentração de coliformes inicial (org/100 ml)

K<sub>b</sub> = coeficiente de remoção de coliformes (d<sup>-1</sup>)

$$K_b = 0,917 \cdot 1,5^{-0,877} \cdot 19,8^{-0,329}$$

$$K_b = 0,241$$

$$N = 10^6 \cdot e^{-0,241 \cdot 19,8}$$

$$N = 9 \cdot 10^3 \text{ CF/100 ml}$$

- **Eficiência da lagoa facultativa**

O valor de K utilizado foi de 0,20 d<sup>-1</sup>.

$$S = S_0 \cdot e^{-K \cdot t} \quad (35)$$

S = concentração de DBO solúvel no efluente (mg/L)

S<sub>0</sub> = concentração de DBO inicial (mg/L)

K = coeficiente de remoção de DBO (d<sup>-1</sup>)

t = tempo de detenção hidráulica (d)

$$S = 81 \cdot e^{-0,2 \cdot 19,8}$$

$$S = 1,55 \text{ mg/L}$$

O valor de concentração de coliformes inicial foi estimado em 10<sup>6</sup> CF/100 ml.

$$K_b = 0,917 \cdot H^{-0,877} \cdot t^{-0,329} \quad (36)$$

$$N = N_0 \cdot e^{-K_b \cdot t} \quad (37)$$

H = profundidade da lagoa (m)

N = concentração de coliformes no efluente (org/100 ml)

N<sub>0</sub> = concentração de coliformes inicial (org/100 ml)

K<sub>b</sub> = coeficiente de remoção de coliformes (d<sup>-1</sup>)

$$K_b = 0,917 \cdot 1,5^{-0,877} \cdot 19,8^{-0,329}$$

$$K_b = 0,241$$

$$N = 10^6 \cdot e^{-0,241 \cdot 19,8}$$

$$N = 9 \cdot 10^3$$



- LEGENDA**
- REDE COLETORA DE ESGOTO
  - ▶ SENTIDO DA REDE
  - POÇO DE VISITA
  - CAIXA DE PASSAGEM
  - PERÍMETRO UEPG UVARANAS

**ANEXO I**

TÍTULO: REDE COLETORA DE ESGOTO DO CAMPUS UVARANAS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA - UEPG

RESPONSÁVEL TÉCNICO: PROJETO DA REDE CEGIDO PELA COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR. BASE CARTOGRÁFICA DE TEDESCO, A. ET AL. "CADASTRO TÉCNICO MULTIFUNÇÃO DO CAMPUS UVARANAS - UEPG." ARTIGO. IN: 18º CONEX - ENCONTRO CONVERSANDO SOBRE EXTENSÃO. 2020. (ADAPTADO POR JULIANA BRANCO E VALÉRIA DE ALMEIDA)

ABRANGÊNCIA: REDE COLETORA DE ESGOTO ATUALIZADA

INDICAÇÃO DE CAIXAS DE PASSAGEM E POÇOS DE VISITA (PARCIAL)

REVISOR: 001 DATA: 12/02/2022 ESCALA: 1:1700

**01**

