

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

LUCAS HENRIQUES POLIDO

**PROPOSTA DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O CAMPUS
ECOVILLE DA UTFPR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

LUCAS HENRIQUES POLIDO

**PROPOSTA DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE UMA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O CAMPUS
ECOVILLE DA UTFPR**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Bentes Freire

CURITIBA

2013



CAMPUS CURITIBA
Sede Ecoville

Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ

Campus Curitiba – Sede Ecoville
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Curso de Engenharia de Produção Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

PROPOSTA DE PROJETO E ESTIMATIVA DE CUSTOS DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O CAMPUS ECOVILLE DA UTFPR

Por

LUCAS HENRIQUES POLIDO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 9 de outubro de 2013, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Flávio Bentes Freire
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR

Prof. Dr. Thomaz Aurélio Pagioro
Departamento Acadêmico de Química e Biologia/UTFPR

Prof. Geni Portela Radol
Universidade Tuiuti do Paraná

UTFPR – Deputado Heitor de Alencar Furtado, 4900 – Curitiba – PR – Brasil.
www.utfpr.edu.br – dacoc-ct@utfpr.edu.br – Telefone DACOC: (41) 3373-0623.

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Flávio Freire pela orientação, dedicação e apoio.

Aos demais professores que auxiliaram em minha formação.

Aos colegas que ajudaram na elaboração desta pesquisa.

Aos amigos, que trouxeram força nos momentos difíceis.

Aos meus pais, que me apoiaram desde o início desta jornada.

RESUMO

POLIDO, Lucas H. Proposta de projeto e estimativa de custos de uma estação de tratamento de esgoto para o Campus Ecoville da UTFPR. 2013. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

A visão centralizadora do tratamento de esgoto, utilizada atualmente no Brasil, com grandes estações, é uma das responsáveis pelos baixos índices de esgotamento sanitário, sobretudo devido ao demorado processo de instalação de novas unidades. O sistema de tratamento descentralizado é uma alternativa viável e acessível, dispensando grandes redes de transporte de efluentes. Visando os benefícios de sua aplicação, a economia a ser gerada, a criação de um ambiente de pesquisas científicas, e um exemplo de boa prática, este estudo objetiva o desenvolvimento de um projeto preliminar de Estação de Tratamento de Esgoto e estimativa de custos, para o campus Curitiba, sede Ecoville, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Foram elaborados estudos preliminares para a locação da ETE, através do levantamento planialtimétrico da cidade e da área livre disponível. A estimativa do volume de esgoto gerado foi calculada através do histórico do consumo de água do campus e da população frequentante. Foram realizadas análises qualitativas do esgoto gerado. Para a remoção de sólidos grosseiros, foi prevista a utilização de peneiras estáticas. Considerando a alternância de volumes gerados ao longo do dia e noite, consta também neste estudo o dimensionamento de um tanque de equalização. Um reator UASB foi previsto como tratamento secundário. Para a desinfecção do efluente, apresentou-se a proposta de tratamento por cloração ou radiação ultravioleta. Estimou-se o custo de implantação da mesma através de médias de custos de outras ETEs, e também com levantamentos quantitativos prévios. Após dimensionadas todas as unidades, foi apresentado um projeto preliminar de instalação da estação de tratamento de esgoto. Esta pesquisa demonstrou que com custos abaixo de R\$ 110.000,00 de implantação e R\$ 700,00 mensais de operação, o tratamento descentralizado é viável, em apenas 100 m², e permite, no futuro, o reúso (exceto consumo) dos resíduos gerados pela própria instituição.

Palavras-chave: Estação de tratamento de esgoto. Tratamento de esgoto descentralizado. Campus Ecoville. UTFPR.

ABSTRACT

POLIDO, Lucas H. Project and estimated cost proposal of a wastewater treatment plant for the Campus Ecoville of UTFPR. 2013. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The centralized wastewater treatment vision, vastly disseminated in Brazil, with huge stations, is one of the reasons for the low sanitation levels, especially related to the time consuming process of installing new units. The decentralized systems are viable and affordable options, eliminating the need of wastewater transmission grids. Aiming the benefits of its application, the savings to be generated, creating a scientific research location, and an example of good practice, this study aims to develop a preliminary plant and costs of a wastewater treatment plant for the campus Curitiba, sede Ecoville, of Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Preliminary studies were done for locating the WTP, using Curitiba's planialtimetric plant and the available area. The estimated amount of wastewater generation was calculated using the water consumption history and the population of the campus. Qualitative analyzes were made in the generated university's wastewater. Static fine screens were used for the solids removal. Considering the wastewater volume variation generated through the day and night, this study also contains a flow equalization tank dimensioning. An UASB reactor was planned as a secondary treatment. For the wastewater disinfection, it was given the option of chlorination or ultraviolet radiation treatment. The estimated the cost of the hole system was based in the average costs of other WTPs, and also with previous quantitative surveys. After sized all units, was presented a preliminary plant of the wastewater treatment plant. This research showed that decentralized units are viable, considering implementation costs below R\$ 110.000,00, and monthly operation costs under R\$ 700,00, with no more than 100 m² needed, and allows the future reuse (except consumption) of the wastewater treated by the institution itself.

Keywords: Wasterwater treatment plant. Decentralized wastewater treatment. Campus Ecoville. UTFPR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Municípios com serviços de rede geral de abastecimento de água	18
Figura 2 - Municípios com serviço de rede coletora de esgoto.....	19
Figura 3 - Modelo de caixa de areia	25
Figura 4 - Fluxograma típico de uma lagoa facultativa primária	27
Figura 5 - Sistema de lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa	28
Figura 6 - Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada facultativa	28
Figura 7 - Sistema de lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação.....	29
Figura 8 - Sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série.....	29
Figura 9 - Fluxograma típico de um tanque séptico e filtro anaeróbio	30
Figura 10 - Sistema de tratamento de esgotos por reatores UASB	31
Figura 11 - Sistema de reator UASB e filtro biológico percolador.....	31
Figura 12 - Sistema de tratamento com reatores UASB e lodos ativados.....	32
Figura 13 - Fluxograma composto por reator UASB e biofiltro aerado submerso	32
Figura 14 - Sistema de tratamento de esgoto com reatores UASB e lagoas de polimento.....	33
Figura 15 - Fluxograma típico de um sistema de escoamento superficial	34
Figura 16 - Fluxogramas típicos de sistema de terras úmidas	34
Figura 17 - Lote 01 segundo Plano Diretor do Campus Ecoville	46
Figura 18 - Lote 02 segundo Plano Diretor do Campus Ecoville	47
Figura 19 - Levantamento planialtimétrico de Curitiba.....	47
Figura 20 - Caixa de inspeção onde foi realizada a coleta de esgoto.....	49
Figura 21 - Locação da ETE no Campus Ecoville	58
Figura 22 - Modelo de peneira estática utilizado.	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo médio per capita, em 2009 e 2010, segundo os estados e média do país.....	17
Gráfico 2 - Hidrógrafo modelo para o cálculo do volume do tanque de equalização.	50
Gráfico 3 - Hidrógrafo do volume de resíduos acumulado.....	66
Gráfico 4 - Hidrógrafo do volume de resíduos acumulado e média das vazões.	66
Gráfico 5 - Hidrógrafo para o cálculo do volume do reservatório.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da eficiência dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2003 e 2010 e suas médias para o Brasil	18
Tabela 2 - Inconvenientes causados pelo lançamento de esgotos não tratados nos corpos d'água	20
Tabela 3 - Principais doenças de veiculação hídrica e seus respectivos agentes causadores.....	21
Tabela 4 - Níveis de tratamento de esgoto.....	23
Tabela 5 - Eficiências médias dos variados tipos de tratamento de esgoto em relação aos principais poluentes presentes nos esgotos domésticos	36
Tabela 6 - Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos.....	37
Tabela 7 - Quantidade de alunos matriculados.	59
Tabela 8 - Consumo de água do campus Ecoville	59
Tabela 9 - Resultados da análise da amostra de esgoto do Campus Ecoville	61
Tabela 10 - Resumo da caracterização de esgotos em campus universitários.....	62
Tabela 11 - Dimensões comerciais padrão de peneiras estáticas	63
Tabela 12 - Vazões horárias estimadas para o Campus Ecoville	65
Tabela 13 - Custos de implantação de sistemas com reatores UASB + pós-tratamento.	74
Tabela 14 - Quantidade de alunos matriculados no Campus Ecoville.....	75
Tabela 15 - Valores per capita dos principais sistemas UASB de tratamento de esgotos.....	76
Tabela 16 - Estimativa de custos da ETE.....	78
Tabela 17 - Resumo dos custos estimados de implantação	79
Tabela 18 - Custos de manutenção mensais estimados	79

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2.3	JUSTIFICATIVA.....	13
3	REVISÃO DA LITERATURA	15
3.1	ESGOTO SANITÁRIO	15
3.2	HISTÓRICO E ESTATÍSTICAS A RESPEITO DO ESGOTO NO BRASIL	16
3.3	IMPACTOS DO GERENCIAMENTO INADEQUADO DO ESGOTO.....	19
3.4	TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO QUANTO AOS NÍVEIS POSSÍVEIS.....	22
3.5	TRATAMENTO PRELIMINAR	23
3.5.1	Gradeamento	24
3.5.2	Peneiramento	24
3.5.3	Desarenador	24
3.6	TRATAMENTO PRIMÁRIO	25
3.7	TRATAMENTO SECUNDÁRIO	26
3.7.1	Lagoas de estabilização	26
3.7.2	Sistemas anaeróbios	29
3.7.3	Reatores UASB e pós-tratamento	31
3.7.4	Disposição de efluentes do solo	33
3.8	TRATAMENTO TERCIÁRIO.....	34
3.11	TENDÊNCIA ATUAL: TRATAMENTO DESCENTRALIZADO	37
3.12	PROJETO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO.....	39
3.13	TRATAMENTO DE ESGOTOS EM INSTITUIÇÕES	43
4	MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1	O CAMPUS ECOVILLE	46
4.2	ESTUDOS PRELIMINARES PARA LOCALIZAÇÃO DA ETE E ESTIMATIVA DAS VAZÕES	47
4.3	CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS DO ESGOTO	48
4.4	TRATAMENTO PRELIMINAR	49
4.4.1	Peneiramento	49

4.4.2	Tanque de equalização.....	50
4.5	ESTAÇÃO ELEVATÓRIA	51
4.6	TRATAMENTO SECUNDÁRIO	52
4.7	PÓS-TRATAMENTO	54
4.8	DESINFECÇÃO	54
4.8.1	Desinfecção por cloração	54
4.8.2	Desinfecção por radiação ultravioleta	55
4.9	ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DA ETE	56
4.10	PRÉ-PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DA ETE	56
5	RESULTADOS	58
5.1	LOCALIZAÇÃO SUGERIDA PARA A ETE	58
5.2	ESTIMATIVA DAS VAZÕES.....	59
5.3	CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS DO ESGOTO	60
5.4	TRATAMENTO PRELIMINAR	63
5.4.1	Peneiramento	63
5.4.2	Tanque de equalização.....	64
5.5	ESTAÇÃO ELEVATÓRIA	67
5.6	TRATAMENTO SECUNDÁRIO	68
5.7	DESINFECÇÃO	71
5.7.1	Desinfecção por cloração	71
5.7.2	Desinfecção por radiação ultravioleta	72
5.8	ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DA ETE	74
6	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS.....	81
	APÊNDICE A – PRÉ PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DA ETE	85
	ANEXO A – ANÁLISE DA AMOSTRA DE ESGOTO DO CAMPUS ECOVILLE	87

1 INTRODUÇÃO

O homem aprendeu que o lixo, a poluição na água e outros resíduos ofereciam riscos de doenças a si e à comunidade. A partir deste ponto, as sociedades passaram a adotar medidas eliminar detritos e assim dispor de água potável. Este foi o surgimento do saneamento básico, uma cadeia de atividades de vital importância para a manutenção da saúde e do bem estar. O tratamento de esgoto é parte fundamental neste contexto, pois é o ponto que fecha a círculo e torna possível o reinício do processo.

O grande crescimento da economia, da urbanização e da população reflete em um aumento da necessidade de abastecimento de água tratada. A consequência disto é o aumento na geração de esgoto. Se não tratado, o volume de poluição nos corpos receptores aumenta, e esta gradual e constante deterioração dos recursos hídricos dificulta e encarece o tratamento da água.

“A cada 15 segundos, uma criança morre, no mundo, devido a doenças transmitidas pela água contaminada” (VENEMAN, 2005).

Segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010), 6,3 milhões de brasileiros não têm acesso à rede coletora de esgoto. Somente 46,3% dos domicílios paranaenses são atendidos pela rede coletora de esgoto e apenas 41,1% dos municípios do Paraná possuem o tratamento dos efluentes gerados, porém afirmar que um município possui tratamento de esgoto não significa que 100% dos efluentes gerados pela cidade sejam coletados e tratados.

O Poder Público costuma agir de forma paliativa, investindo em grandes hospitais e melhorias no atendimento médico, mas um investimento eficiente, pelo caráter preventivo, deveria também ocorrer em obras de saneamento, combatendo os agentes causadores das doenças. Paralelo a este problema, o tratamento de esgoto concorre com o abastecimento de água, o qual recebe maior parte dos recursos do Estado. Dos municípios brasileiros, 90,6% estão realizando melhorias no seu sistema de tratamento de água, enquanto 44% estão aprimorando o sistema de esgotamento sanitário (IBGE, 2010).

A visão centralizadora do processo que é utilizada até hoje no Brasil, com grandes estações de tratamento de esgoto, que em tese atenderiam grande parte ou toda a população, têm como produto este baixo índice de esgotamento sanitário no país. Estas ETEs, em grande maioria, funcionam próximas a capacidade máxima de

eficiência, e o tempo necessário para a ampliação da capacidade, desde a elaboração de projetos, concorrência até a execução, é muito longo se comparado ao crescimento da população e à demanda de redes coletoras.

Além disso, as grandes estações costumam receber contribuições que não se caracterizam somente por esgoto sanitário. Há efluentes industriais e outras formas de despejo (muitas vezes não previstos) que acarretam em uma queda na eficiência estimada. Quanto maiores as estações, maiores as áreas atendidas, e mais complexo o controle e fiscalização dos despejos contribuintes. Essas circunstâncias costumam resultar em estações ineficientes, ou que sejam demasiadamente complexas, por contemplarem unidades de tratamento que sejam apropriadas a estes lançamentos indevidos.

Frente a estas dificuldades, o sistema de tratamento descentralizado dos efluentes aparece como sendo uma alternativa viável, de baixo custo, e bons resultados. Esta gestão descentralizada dispensa a necessidade de grandes redes de transporte dos efluentes até um centro de tratamento, pois consiste no tratamento e disposição/reúso dos efluentes no local em que são gerados, residências, comunidades, bairros ou indústrias. Sob determinadas condições e critérios, o esgoto tratado gerado na ETE, impróprio para o consumo, pode ser utilizado na irrigação, lavagem de pátios, dentre outras atividades que lhe agregam valor.

A valorização e disseminação do conhecimento são parte do foco principal do ambiente acadêmico, o qual tem por dever investir em pesquisas, apoiar toda e qualquer iniciativa estudantil que venha a oferecer benefícios à instituição e oferecer meios para o desenvolvimento intelectual de seus alunos.

Visando os benefícios da aplicação de um sistema de tratamento descentralizado, a economia a ser gerada, a criação de um ambiente próprio para a condução de pesquisas científicas, e a apresentação à sociedade de um exemplo de boa prática, esta pesquisa tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo de projeto de Estação de Tratamento de Esgoto, juntamente com uma estimativa de custos para sua aplicação, no campus Curitiba, sede Ecoville, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um projeto preliminar de Estação de Tratamento de Esgoto, juntamente com uma estimativa de custos para a sua execução.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, destacam-se:

- Realizar uma estimativa quantitativa do esgoto gerado no campus Ecoville da UTFPR;
- Realizar uma estimativa qualitativa do esgoto gerado no campus Ecoville da UTFPR;
- Projetar o sistema de tratamento levando em consideração as diretrizes para estações de pequeno porte, sobretudo no que diz respeito à simplicidade operacional;
- Prever modificações e extensões do sistema, uma vez que a instituição realiza pesquisas na área de saneamento, e há atualmente dois programas de mestrado que contemplam a área de tratamento de efluentes.

2.3 JUSTIFICATIVA

O estudo vai de encontro a uma nova linha de pensamento relacionada ao tratamento de esgoto, que defende a descentralização dos sistemas. Em um ambiente universitário, onde a disseminação do conhecimento é um dos pilares principais, a implementação de um sistema de tratamento apresentará à sociedade um exemplo de boa prática.

Em função do tempo reduzido para condução de trabalhos de conclusão de curso, e do caráter multidisciplinar que envolve o projeto de uma estação de tratamento de esgoto, a pesquisa apresentará um projeto preliminar de dimensionamento, agregando o estudo de sua viabilidade.

A implantação deste sistema no Campus Ecoville, além de bom exemplo da filosofia descentralizada, facilitará a condução de uma série de pesquisas na área, inclusive que contemplem o reúso do esgoto tratado, e do lodo eventualmente descartado na unidade de tratamento biológico.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 ESGOTO SANITÁRIO

A NBR 9648:1986, que regulamenta o estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário define este como sendo o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. Define-se por esgoto doméstico o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. Caracteriza-se como esgoto industrial o despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamentos estabelecidos (ABNT, 1986).

Os esgotos sanitários podem ser subdivididos em rurais e urbanos, e são gerados a partir do descarte das águas de abastecimento. A utilização da água, seja pela rede pública ou por outras fontes, nas atividades comerciais, domésticas, públicas, agrícolas e industriais agregam a ela matéria de diferentes composições química, física, e biológica, e assim é gerado o esgoto sanitário (JORDÃO; VOLSCHAN JÚNIOR, 2009).

Juntamente com o esgoto sanitário, uma parcela não significativa de esgotos industriais pode estar presente na rede pública. Indústrias de grande porte, ou com contribuição significativa, em qualidade ou quantidade, possuem suas próprias unidades de tratamento, ou pré-tratamento, antes de despejarem seus efluentes na rede pública (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Á água, meio de transporte dos diversos dejetos sólidos descartados pelo ser humano, compõe 99,9% dos esgotos sanitários, sendo os sólidos responsáveis por 0,1% restantes (VON SPERLING, 2005). A necessidade do tratamento dos efluentes só existe devido a estes sólidos, responsáveis pela deterioração da qualidade do corpo hídrico. Os contaminantes, como os compostos orgânicos, os sólidos suspensos, metais, nutrientes, sólidos inertes e grosseiros, sólidos dissolvidos inorgânicos, compostos não biodegradáveis, organismos patogênicos, e eventualmente tóxicos (decorrentes de atividades industriais ou acidentais) destacam-se como parte das substâncias sólidas.

3.2 HISTÓRICO E ESTATÍSTICAS A RESPEITO DO ESGOTO NO BRASIL

A evolução do setor de saneamento no Brasil, nos aspectos de saúde pública e meio ambiente data de meados do século XIX, onde ocorreu a estruturação das ações de saneamento, visando ações de saúde, para a redução do contágio de doenças infecciosas e parasitárias. Como resposta a situações epidêmicas, até o início do século XX, houve a organização de sistemas de saneamento, mesmo que desconhecidos os seus agentes causadores.

Deste ponto até a década de 1930, as pesquisas de Oswaldo Cruz contribuíram para que a saúde ocupasse lugar central na agenda pública, gerando uma forte preocupação política quanto à questão sanitária. Nesta mesma época, ocorreu também um grande aumento na quantidade de cidades com abastecimento de água. O trabalho de Saturnino Brito, o qual se baseava numa visão higienista, gerou uma mudança no uso da tecnologia em sistemas de esgotamento, passando a serem optados os sistemas separadores absolutos.

Em 1934, a elaboração do Código das Águas apresentou as primeiras ferramentas para o controle do uso de recursos hídricos no país, estabelecendo o abastecimento público como prioritário.

Entre 1950 e 1960, legislações estaduais e federais surgem com iniciativas de estabelecer classificações e os primeiros parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos definidores da qualidade das águas. Todavia, a existência da necessidade do saneamento era colocada em dúvida, pois ainda não se podia relacionar os seus benefícios com a saúde.

Na década de 70, o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) se consolidou, enfatizando a melhoria dos índices de atendimento da população por sistemas de abastecimento de água. A visão de que avanços no esgotamento sanitário e na qualidade da água levada à população resultariam na diminuição das taxas de mortalidade predominava.

A partir de 1980, mecanismos encarregados pelo comprometimento das condições de saúde do povo, em locais com condições desfavoráveis de saneamento, foram rigorosamente formulados. Ocorreu também uma revisão técnica das legislações relacionadas aos padrões de qualidade das águas.

O conceito de desenvolvimento sustentável, preservação e conservação do meio ambiente, com ênfase nos recursos hídricos, ganhou destaque entre 1990 até

o início do século XXI, influenciando diretamente o planejamento das ações de saneamento. Foram instituídos a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Lei 9.433/97 – (SOARES *et al.*, 2002).

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SNIS, 2012), de 2009 a 2010, 81,1% dos municípios brasileiros recebem água tratada, 46,2% têm seus esgotos coletados, e 37,9% destes são tratados. O consumo de água aumentou de 148,5 para 159,0 litros por habitante por dia, representando um aumento de 7,1%. Na região sul, o consumo passou de 138,1 para 145,4 litros por habitante por dia, um aumento de 5,3%. O Paraná se encontra abaixo da média da região, apresentando um consumo de 136,5 litros por habitante por dia, como demonstrado no Gráfico 1.

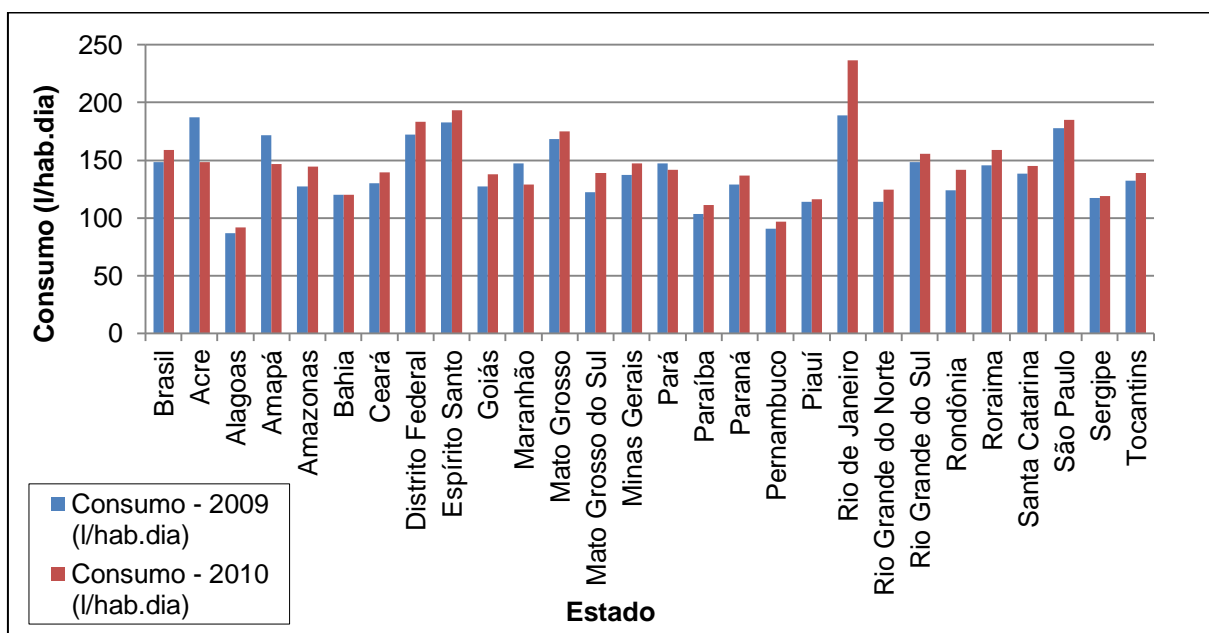


Gráfico 1: Consumo médio per capita, em 2009 e 2010, segundo os estados e média do país
 Fonte: SNIS (2012).

De acordo com as informações dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em 2010 foram investidos 8,96 bilhões de reais em saneamento, dos quais R\$ 3,09 bilhões foram destinados para o estado de São Paulo. O Paraná figura como o 6º estado investidor, R\$ 412 milhões. Quanto à destinação deste investimento, 51,2% da quantia total foi investida diretamente no processo de coleta e tratamento do esgoto.

No final de 2003, 80,1% da população era atendida pelo sistema de água, 38,5% era atendida pelo sistema coletor de esgoto, e 29,2% dos esgotos gerados

eram tratados. Em dezembro de 2010, estas taxas cresceram para 81,1% de atendimento pela rede de água, 46,2% de esgotos coletados, e 37,8% destes tratados, conforme a Tabela 1 (SNIS, 2012).

Tabela 1 - Evolução da eficiência dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2003 e 2010 e suas médias para o Brasil

INDICADOR	DEZEMBRO 2003	DEZEMBRO 2010	EVOLUÇÃO NO PERÍODO
Índice de atendimento da população total com água	80,1%	81,1%	1,2%
Índice de atendimento da população total com coleta de esgotos	38,5%	46,2%	20,0%
Índice de tratamento dos esgotos gerados	29,2%	37,8%	29,5%

Fonte: SNIS (2012).

As Figuras 1 e 2 apresentam os municípios com rede geral de abastecimento de água e rede coletora de esgoto em 2008.



Figura 1 - Municípios com serviços de rede geral de abastecimento de água

Fonte: IBGE (2011).

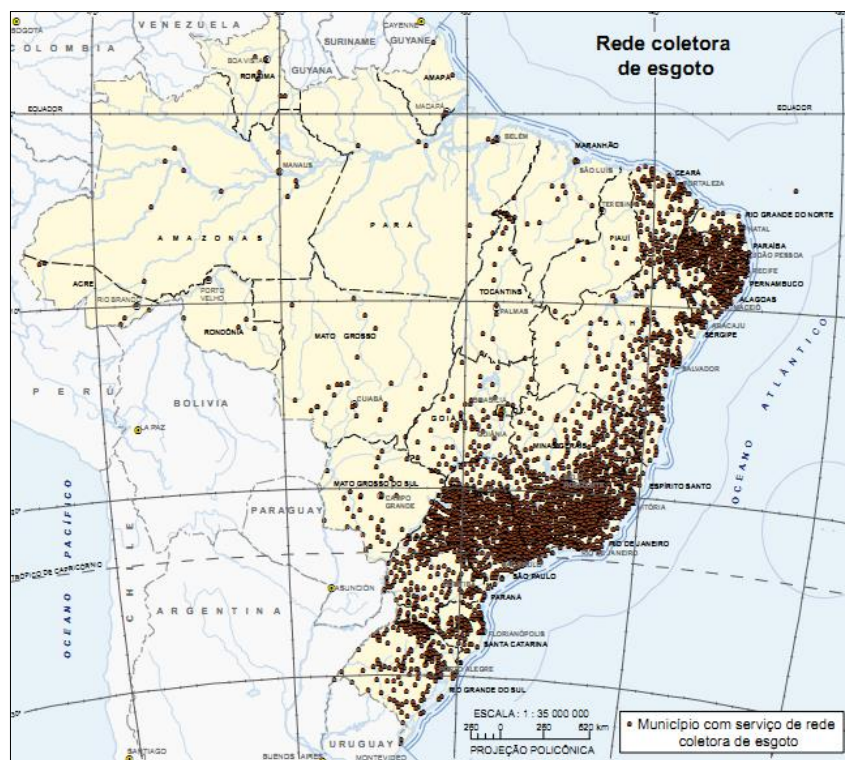


Figura 2 - Municípios com serviço de rede coletora de esgoto
Fonte: IBGE (2011).

Para que os serviços de água e esgoto fossem universalizados em 2025, no Brasil, seriam necessários investimentos médios de R\$ 11 bilhões na área, todos os anos, de 2006 até 2024 (AESBE, 2006), valor este que está muito distante dos R\$ 8.962,3 milhões investidos no ano de 2010.

3.3 IMPACTOS DO GERENCIAMENTO INADEQUADO DO ESGOTO

Os esgotos sanitários podem conter concentrações elevadas dos mais variados organismos patogênicos, não restando dúvidas sobre o risco de transmissão de patógenos, colocando diferentes grupos populacionais em risco (BASTOS e BEVILAQUA, 2006).

O crescimento populacional tende a agravar a quantidade de material lançado nos corpos d'água, pois há uma relação direta entre o aumento da população e o aumento do volume de esgoto coletado. Desta forma agravam-se os inconvenientes do lançamento dos efluentes nos corpos receptores (Tabela 2) (NUVOLARI, 2011).

Tabela 2 - Inconvenientes causados pelo lançamento de esgotos não tratados nos corpos d'água

Matérias orgânicas solúveis	Causam a depleção (diminuição ou até a extinção) do oxigênio contido nos rios. O despejo deve estar na proporção da capacidade de assimilação do curso d'água. Algumas destas substâncias (ex.: fenóis) podem produzir gosto e odores às fontes de abastecimento de água
Matérias tóxicas e íons de metais pesados	Apresentam problemas de toxidez e transferência através da cadeia alimentar. O seu despejo normalmente está sujeito a uma regulamentação estadual e federal. Ex.:cianetos, Cu, Zn, Hg
Cor e turbidez	Interferem na fotossíntese das algas nos lagos, impedindo a entrada de luz em profundidade. Exigem maiores quantidades de produtos químicos para o tratamento desta água, além de serem indesejáveis do ponto de vista estético
Elementos nutritivos	Aumentam (principalmente nitrogênio e fósforo) a eutrofização dos lagos e pântanos. Inaceitáveis em áreas de lazer e recreação
Materiais refratários	Formam espumas nos rios, e não são removidos nos tratamentos convencionais. Ex.: ABS (alquil-benzeno-sulfurado)
Óleos e matérias flutuantes	Além de esteticamente indesejáveis, interferem com a decomposição biológica (os microrganismos, responsáveis pelo tratamento, geralmente morrem se a concentração de óleos e graxas for maior do que 20mg/L). Os regulamentos exigem sua completa remoção
Ácidos e álcalis	Sua neutralização é exigida pela maioria dos regulamentos, pois interferem com a decomposição biológica.
Materiais em suspensão	Formam bancos de lama nos rios e nas canalizações de esgoto. Podem provocar a decomposição anaeróbia da matéria orgânica, liberando gás sulfídrico (odor de ovo podre) e outros gases malcheirosos
Temperatura elevada	Poluição térmica conduzindo ao esgotamento do oxigênio dissolvido (abaixamento do valor de saturação)

Fonte: Adaptado de JORDÃO; PESSÔA (2009) e NUVOLARI (2011).

Segundo a Fundação Nacional de Saúde, a falta de educação sanitária e medidas práticas de saneamento faz com que grande parte da população tenda a lançar seus dejetos sobre o solo, criando situações favoráveis à transmissão de doenças. Os dejetos gerados pelo ser humano podem ser veículos patogênicos de várias doenças, como febre tifoide e paratifoide, amebíase, diarreias infecciosas, esquistossomose, ancilostomíase, ascaridíase, teníase, entre outros, tornando fundamental o seu afastamento das chances de contato com a população, com alimentos, com águas e abastecimento e com vetores transmissores de doenças, como moscas e baratas (BRASIL 2006a).

O lançamento de esgotos domésticos sem tratamento, ou tratados sem desinfecção apropriada, nos corpos receptores, contribui com o aumento

significativo de organismos do chamado “grupo coliforme”, dos quais podem estar presentes agentes específicos de doenças de veiculação hídrica (JORDÃO e PESSÔA, 2009).

A Tabela 3 apresenta as principais doenças de veiculação hídrica, sua forma de contato, e os respectivos agentes causadores.

Tabela 3 - Principais doenças de veiculação hídrica e seus respectivos agentes causadores

DOENÇA	VIA DE CONTÁGIO	AGENTE CAUSADOR
Febre tifóide	Oral	<i>salmonella typhi</i>
Febre Paratifóide	Oral	<i>salmonella paratyphi</i>
Cólera	Oral	<i>vibrio cholerae</i>
Desintéria bacilar	Oral	<i>shigella</i>
Desintéria amebiana	Oral	<i>entamoeba histolytica</i>
Hepatite infecciosa	Oral	vírus da hepatite
Poliomielite	Oral	vírus da poliomielite
Esquistossomose	Contato direto (cutâneo-mucosa)	<i>schistosoma mansoni</i>

Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSÔA (2009).

Além das doenças de veiculação hídrica, comuns em países pobres, a água pode ser um veículo indireto na transmissão de outras enfermidades, caracterizando o habitat para os vetores transmissores, como a malária, febre amarela, dengue, encefalite, entre outras (JORDÃO e PESSÔA, 2009).

Do ponto de vista econômico, o contágio de doenças infecciosas e parasitárias pelo homem, devido à falta de destinação adequada dos dejetos, podem reduzir a potencialidade para o trabalho, ou até levar à inatividade de parte da população. Uma vez controlado o contágio de tais males, seria possível a redução da mortalidade, o aumento da vida média do homem, a redução das despesas com o tratamento de doenças, o controle da poluição dos locais de recreação e praias, e a preservação da fauna aquática (BRASIL, 2006).

Apesar do afastamento dos esgotos da proximidade das residências oferecer grandes benefícios à saúde pública, a implementação dos meios de transporte deste gera também impactos negativos. Possíveis vazamentos e a concentração de poluição nas redes coletoras oferecem grandes riscos. O sistema de esgotamento

sanitário, se não gerenciado corretamente, através de seu tratamento, induz a uma possível deterioração do corpo receptor (lagos, lagoas, rios, represas, baías, enseadas e mares), prejudica a vida aquática, além de outras espécies de animais e vegetais (TCHOBANOGLIOUS e SCHROEDER, 1985).

O corpo receptor, uma vez comprometido, caracteriza problemas ambientais e sanitários. As tecnologias aplicadas no tratamento de esgoto no Brasil são eficientes quanto à remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Sólidos em Suspensão (SS), porém não são produzidos efluentes que atendam os padrões de qualidade exigidos pela legislação, relacionados à amônia, nitrogênio, fósforo e coliformes fecais (VON SPERLING e CHERNICHARO, 2000).

3.4 TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO QUANTO AOS NÍVEIS POSSÍVEIS

Este tópico foi baseado na literatura básica e fundamental a respeito de tratamento de esgoto sanitário (VON SPERLING, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2009; METCALF & EDDY, 2003). Constata-se que o tema “Tratamento de Esgoto Sanitário” está sistematicamente documentado na literatura, e por este motivo será aqui apresentado de forma resumida e objetiva. Informações complementares sobre os tipos de tratamento de esgoto adotados neste estudo, bem como informações para seu dimensionamento serão apresentadas no Capítulo 3.

O tratamento de esgoto sanitário tem como objetivo remover impurezas de composição física, química, biológica e de organismos infecciosos agregados às águas com o uso doméstico.

Nesta pesquisa serão apresentados os principais métodos de tratamento de esgoto utilizados no Brasil, não sendo abordadas todas as tecnologias praticadas e disponíveis no país, nem todas as combinações possíveis.

Os estágios de tratamento do esgoto apresentam objetivos e métodos específicos, discriminados na Tabela 4.

Tabela 4 - Níveis de tratamento de esgoto

NÍVEIS DE TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
Preliminar	Remoção dos sólidos grosseiros presentes no esgoto que possam causar problemas operacionais nas unidades de operação e sistemas auxiliares
Primário	Remoção de parte dos sólidos suspensos e matéria orgânica presentes no esgoto
Primário Avançado	Remoção aprimorada dos sólidos suspensos e da matéria orgânica, conseguida através da adição de agentes coagulantes
Secundário	Remoção da matéria orgânica biodegradável (solúveis ou suspensas) e sólidos suspensos
Secundário com remoção de nutrientes	Remoção da matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio e fósforo)
Terciário	Remoção dos sólidos suspensos residuais do tratamento secundário, desinfecção e remoção de nutrientes
Avançado	Remoção de materiais solúveis e suspensos remanescentes após o tratamento convencional quando o reúso da água se fizer necessário

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY (2003).

No Brasil, com exceção da desinfecção, é incomum que o tratamento de esgoto sanitário passe por técnicas terciárias. É também característica das concessionárias que gerenciam o esgoto que o nível secundário de tratamento seja dimensionado somente para remoção de matéria orgânica, e não de nutrientes.

3.5 TRATAMENTO PRELIMINAR

Através de mecanismos físicos, como gradeamento, sedimentação e outros, o tratamento preliminar tem como objetivo a remoção de areias e sólidos grosseiros. Estes sólidos oferecem grandes riscos aos dispositivos encarregados do transporte de esgotos (tubulações e bombas), das estações de tratamento e dos corpos receptores, e por este motivo é feita a sua remoção. A remoção da areia visa evitar a abrasão das tubulações e equipamentos, reduzir ou eliminar a possibilidade de obstrução em tanques, sifões e tubulações, e facilitar a locomoção do líquido. Normalmente, anexo a esta unidade de tratamento preliminar está a Calha Parshall, responsável pela medição da vazão na Estação de Tratamento de Esgoto (VON SPERLING, 2005).

3.5.1 Gradeamento

O gradeamento constitui a primeira unidade no processo de tratamento de esgoto, e tem por objetivo reter sólidos grosseiros. Não há a necessidade de utilização do mesmo quando o efluente a ser tratado não apresenta quaisquer tipos de sólidos grosseiros. Este sistema pode ser formado por várias grades, indo de um maior espaçamento entre as barras para um menor espaçamento.

Nas grades de grande espaçamento são retidos objetos de tamanho elevado, como madeiras, pedras, brinquedos, animais mortos, papéis, absorventes, preservativos, fraldas, dentre outros. As grades subsequentes, médias e finas, são responsáveis por reter o material que ultrapassou o gradeamento grosseiro.

3.5.2 Peneiramento

O objetivo principal deste processo é a separação de partículas presentes no esgoto com granulometria maior que 0,25 mm, retidos através de peneiras estáticas e rotativas. O seu uso ocorre principalmente no tratamento de resíduos industriais, pois na maioria dos casos é possível a reaproveitamento do material retido.

3.5.3 Desarenador

A areia presente no esgoto sanitário pode ser removida pela simples utilização de caixas de areia ou desarenadores. O mecanismo para sua remoção é a sedimentação, na qual os grãos de areia se depositam no fundo do tanque, devido a sua maior densidade e dimensões, e a matéria orgânica permanece em suspensão, sendo removida nas unidades de tratamento a jusante (VON SPERLING, 2005). A Figura 3 demonstra um modelo simplificado de caixa de areia.



Figura 3 – Modelo de caixa de areia
Fonte: Jordão e Pessoa (2009).

3.6 TRATAMENTO PRIMÁRIO

Predominam os mecanismos físicos, com o foco na remoção de sólidos flutuantes e em suspensão sedimentáveis. Grande parte dos sólidos suspensos caracteriza-se como matéria orgânica em suspensão, e sua remoção (cerca de 60 a 70%) se faz de forma simples, como a sedimentação, gerando a redução da carga de DBO (entre 25 a 35%).

A eficiência deste tratamento na redução de sólidos em suspensão, e consequentemente da DBO, pode ser aprimorada se adicionados agentes coagulantes, sendo este processo denominado de tratamento primário avançado. Após esta etapa, a matéria remanescente na água possui dimensões reduzidas, constituídas normalmente por coloides, não sendo possível a sua remoção exclusivamente por processos físico-químicos (VON SPERLING, 2005).

A clarificação do esgoto é função principal do decantador primário, removendo sólidos de forma isolada ou floculados sedimentados devido ao seu peso próprio. A acumulação destes no fundo do decantador da origem ao lodo primário. Neste ponto também é realizada a remoção de flutuantes, como óleos, graxas e espumas (NUVOLARI, 2011).

Os decantadores, inicialmente projetados para a função de remoção de sólidos suspensos, foram ao longo do tempo adaptados para a remoção de óleos, gorduras, e materiais similares, uma vez que essa remoção, no Brasil, em nível residencial, é bastante ineficiente. Exemplo deste fato é que no município de Pato Branco, no estado do Paraná, 45% dos imóveis vistoriados pela concessionária responsável pela coleta de esgoto local não possuíam caixa de gordura instalada, fazendo com que a gordura seja encaminhada pelas tubulações, oferecendo riscos

de entupimentos, retorno de esgoto para os imóveis e dificulta o tratamento dos efluentes (SANEPAR, 2011).

O formato do tanque de decantação primário pode ser quadrado, retangular ou até circular, e a remoção de lodo deve ser mecanizada para vazões de dimensionamento maiores do que 250L/s, e deve-se prever mais de uma unidade, caso seja necessária a manutenção de um dos tanques, conforme NBR 12209/1992 (ABNT, 1992b).

Em função dos grandes volumes dos tanques, e também da possibilidade da sedimentação dos sólidos poder ocorrer satisfatoriamente em outras unidades (reatores UASB, lagoas de estabilização, dentre outros) a necessidade da utilização de decantadores primários está cada vez mais questionada, restringindo-se atualmente aos sistemas de lodos ativados convencional (neste caso, os decantadores primários localizam-se à montante deste sistema).

3.7 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Nesta fase do tratamento estão presentes mecanismos físicos, mas há a predominância de mecanismos biológicos, objetivando a remoção da matéria orgânica, presente na forma dissolvida (DBO solúvel ou filtrada) e matéria orgânica em suspensão (DBO suspensa ou particulada), na qual a sedimentabilidade mais lenta destes faz com que permaneçam no esgoto.

Os índices de remoção dos coliformes e da DBO fica em torno de 60 a 99%, (com eventual remoção de alguns nutrientes, como nitrogênio e fósforo). Uma grande quantidade de microrganismos toma parte nesta etapa, como protozoários, fungos e bactérias, entre outros. Este processo ocorre com o contato efetivo entre o material orgânico presente e os microrganismos, de forma que a matéria seja utilizada como alimento pelos organismos, e convertida em gás carbônico, água e material celular (NUVOLARI, 2011).

3.7.1 Lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização constituem um processo simples de tratamento do esgoto, com o objetivo de remover a matéria rica em carbono, utilizando a

movimentação de terra de escavação e preparação de taludes. Em alguns casos, o controle de organismos patogênicos também ocorre (VON SPERLING, 2005).

Entende-se por lagoas de estabilização os processos nos quais ocorrem a transformação da matéria orgânica carbonácea (DBO) em produtos mineralizados (estabilização da matéria orgânica). As lagoas de maturação têm como função principal a remoção de patógenos (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

Dentro dos mais variados tipos de lagoas de estabilização, as lagoas facultativas recebem esta denominação devido ao fato de que nelas predominam “bactérias facultativas”, adaptáveis aos ambientes aeróbios (superfície) e anaeróbios (fundo das lagoas). A DBO solúvel e a DBO particulada são estabilizadas aerobiamente, enquanto a DBO suspensa tende a se depositar no fundo das lagoas, sendo convertida anaerobiamente pelas bactérias presentes ali. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é produzido através da fotossíntese das algas. Contudo, este método de tratamento fica restrito a pequenas vazões, uma vez que seriam necessárias grandes áreas para manter a oxigenação necessária pelo sistema (CHERNICHARO *et al.*, 2006). A Figura 4 apresenta o fluxograma típico de uma lagoa facultativa primária.

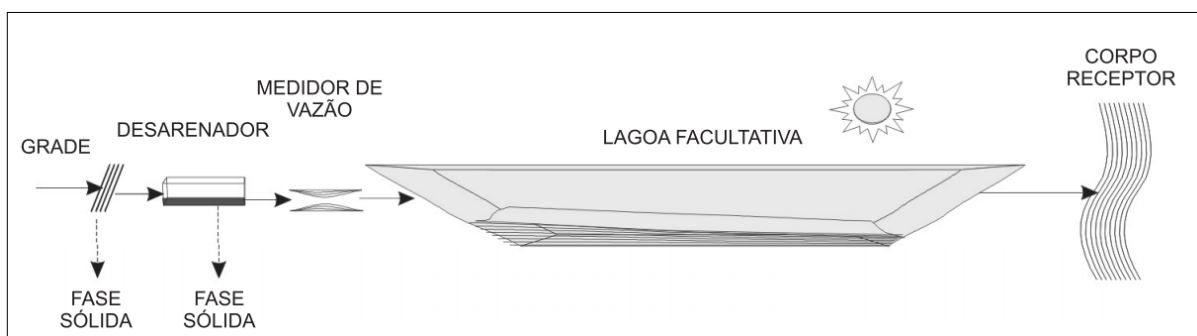


Figura 4 - Fluxograma típico de uma lagoa facultativa primária
Fonte: Von Sperling (2005).

No caso da utilização de lagoa anaeróbia e lagoa facultativa em conjunto, a lagoa anaeróbia (de menor volume e maior profundidade) converte de 50 a 65% da DBO em líquidos e gases, e a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa (CAMPOS, 1999).

Este sistema, se comparado a uma única lagoa facultativa, ocupa área inferior, como demonstrado na Figura 5 abaixo.

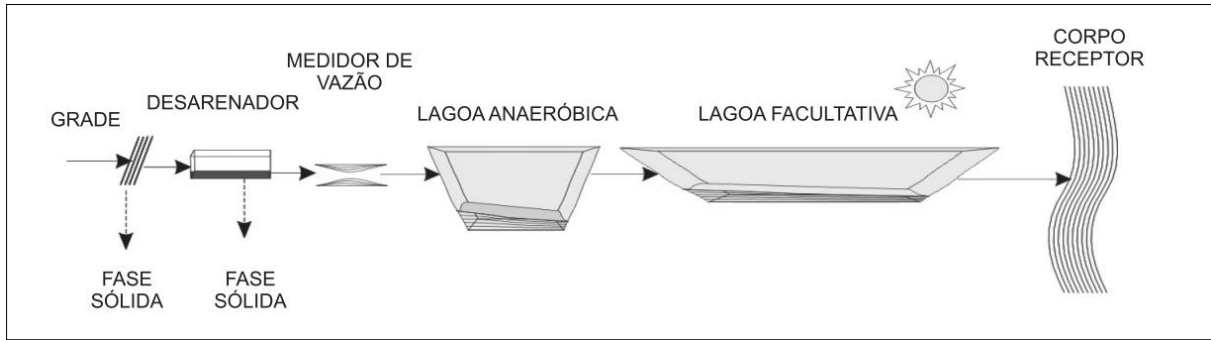


Figura 5 - Sistema de lagoa anaeróbica seguida por lagoa facultativa
Fonte: Von Sperling (2005).

Em locais onde a área para a aplicação das técnicas anteriores não é suficiente, existe a opção da utilização de lagoas facultativas aeradas, onde os mecanismos de remoção da DBO são similares às lagoas facultativas, porém grande parte do oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao contrário das alternativas anteriores em que o oxigênio era proveniente exclusivamente da fotossíntese das algas. Os sólidos do esgoto e a biomassa bacteriana (proveniente da aeração) sedimentam, em sua maioria, e são decompostos anaerobiamente no fundo (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

O sistema típico de lagoa aerada facultativa está representado abaixo pela Figura 6.

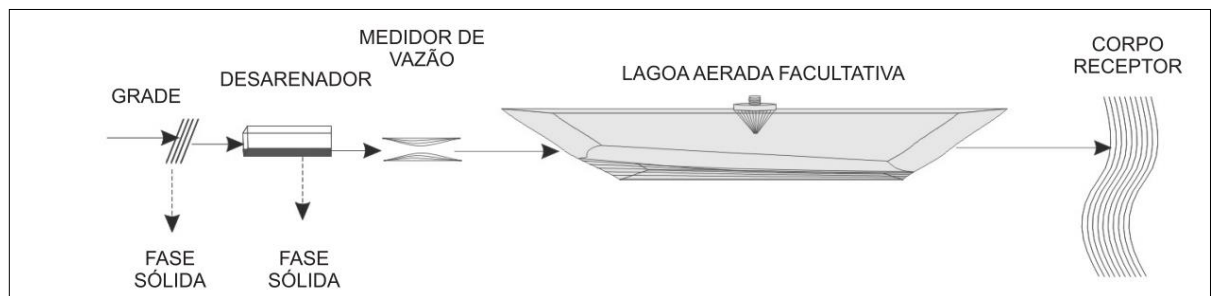


Figura 6 - Fluxograma típico de um sistema de lagoa aerada facultativa
Fonte: Von Sperling (2005)

Caso a área ocupada necessite ainda ser reduzida, existe como opção a utilização de lagoas aeradas de mistura completa em conjunto com lagoas de decantação, com uma maior intensidade de aeração, ocorrendo a produção e atividade mais intensa de biomassa bacteriana. Desta forma, a biomassa se dispersa em grande concentração no meio líquido (mistura completa), aumentando a remoção da DBO. Antes do lançamento no corpo receptor, os sólidos presentes

(bactérias) em grande quantidade devem ser removidos por meio de lagoas de decantação, como na Figura 7 (CRITES e TCHOBANOGLIOUS, 1998).

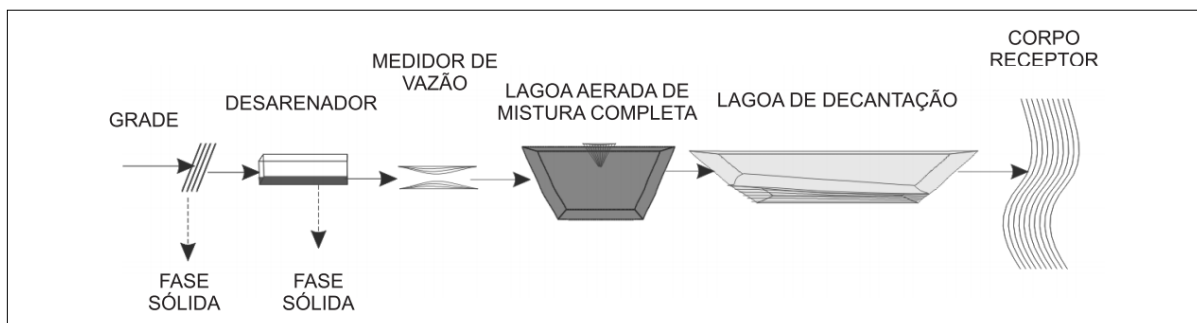


Figura 7 - Sistema de lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação
Fonte: Von Sperling (2005).

As lagoas de maturação formam o pós-tratamento dos processos removedores de DBO, com objetivo principal de remover os organismos patogênicos, sendo normalmente projetadas com divisões por chicanas ou em série, representadas a baixo pela Figura 8 (VON SPERLING, 2005).

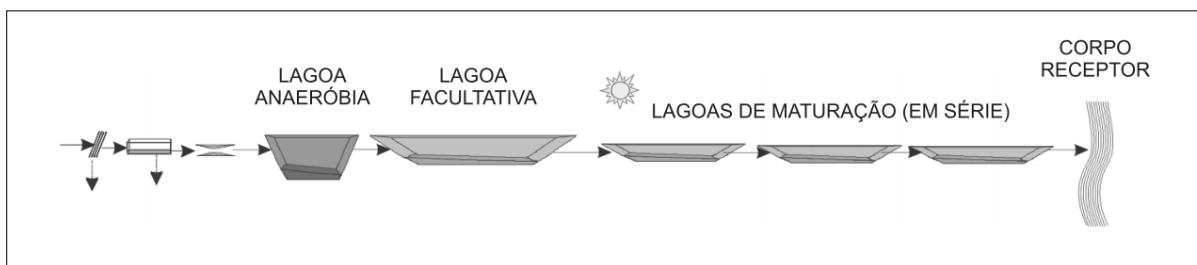


Figura 8 - Sistema de lagoas de estabilização seguidas por lagoas de maturação em série
Fonte: Von Sperling (2005).

3.7.2 Sistemas anaeróbios

A grande vantagem da aplicação destes tipos de sistemas é a economia de área que eles proporcionam, fato que consolida esta técnica país, pois a maioria dos estudos para alternativas de tratamento de esgoto inclui reatores anaeróbios com principal opção. A desvantagem de sua utilização fica por conta de sua capacidade limitada de remoção de matéria orgânica, e baixa eficiência na remoção de patógenos e nutrientes, fazendo-se necessário pós-tratamento, seja para o reúso ou para o seu lançamento em corpos receptores (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

Em comunidades de pequeno porte, no meio rural e até em grandes centros urbanos sem sistema de coleta e tratamento de esgoto utiliza-se bastante a combinação de tanque séptico, encarregado de remover a maior parte dos sólidos suspensos, e o filtro anaeróbio, o qual remove os resíduos de DBO ainda presentes, especialmente a sua fração solúvel.

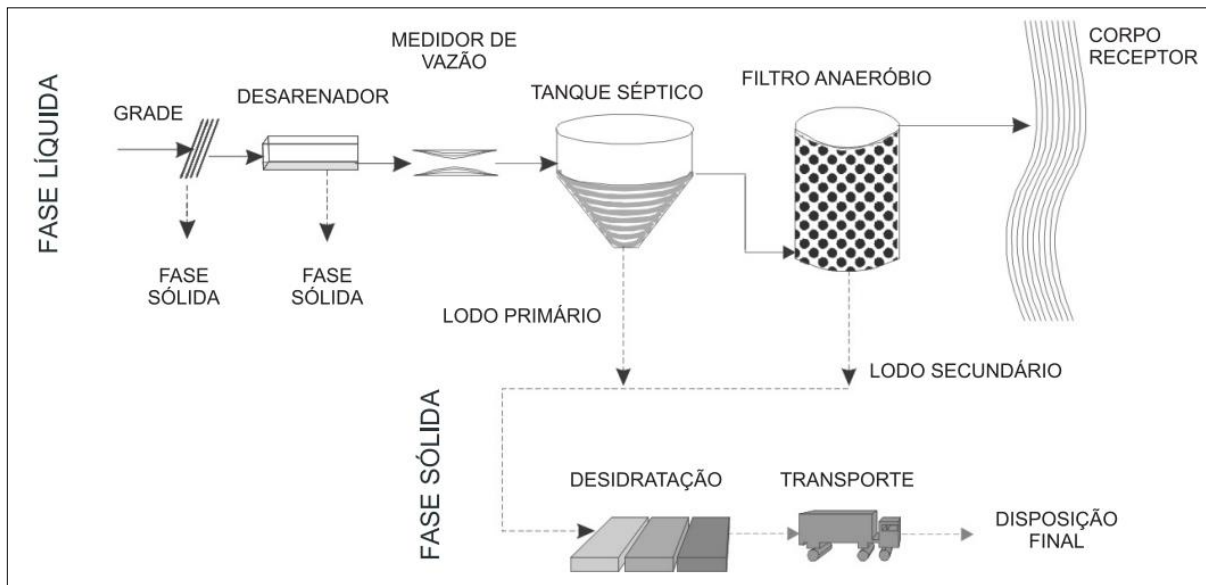


Figura 9 - Fluxograma típico de um tanque séptico e filtro anaeróbio
Fonte: Von Sperling (2005).

A combinação de um reator anaeróbio de fluxo ascendente com a manta de lodo (reator UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) (Figura 10) é da mesma forma bem difundida. A DBO é consumida anaerobiamente por bactérias existentes no manto de lodo do reator. A parte superior do reator se divide em zonas de sedimentação, que permitem a saída do efluente clarificado e o retorno da biomassa ao sistema, e em zonas de coleta de gás, como o metano, por exemplo (CHERNICHARO, 1997).

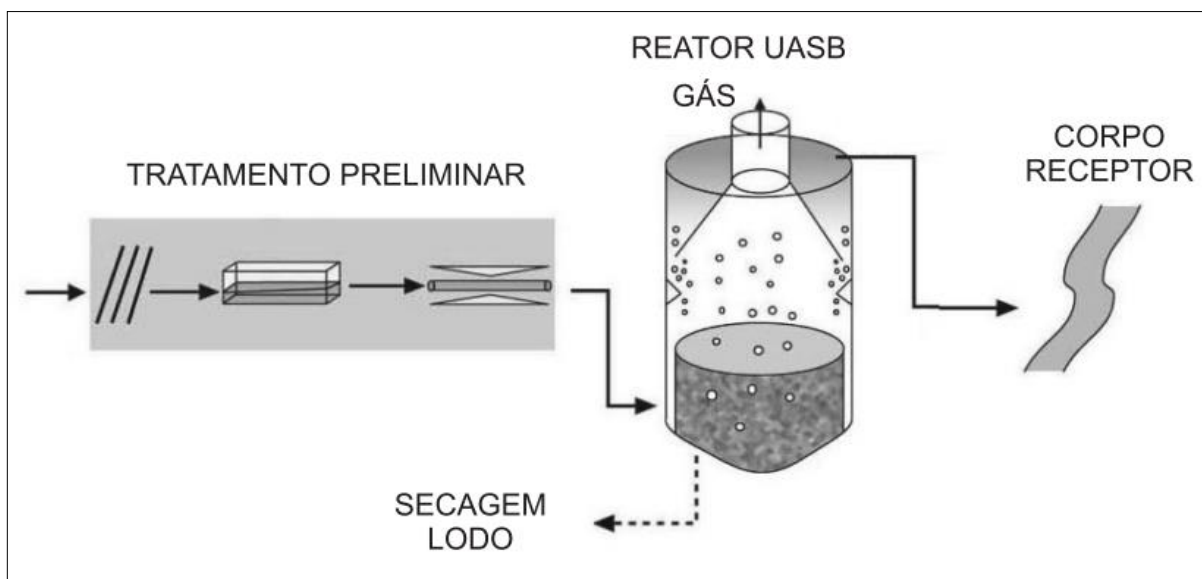


Figura 10 - Sistema de tratamento de esgotos por reatores UASB
 Fonte: Von Sperling (2005).

3.7.3 Reatores UASB e pós-tratamento

A maioria dos processos para o tratamento dos esgotos pode ser utilizada como pós-tratamento dos efluentes vindos do reator UASB, biológicos, anaeróbios ou aeróbios, físico-químicos, com adição de coagulantes. A eficiência do sistema não difere da alcançada com a aplicação do pós-tratamento diretamente ao esgoto bruto, porém, a necessidade de energia, área e volume, e a produção de lodo são menores (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

A utilização de filtros biológicos percoladores tem, no Brasil, sido aplicada como pós-tratamento, aonde o decantador primário é substituído por reatores anaeróbios. O lodo aeróbio gerado no filtro é enviado ao reator UASB, e ali é adensado e digerido, em conjunto com o lodo anaeróbio (Figura 11).

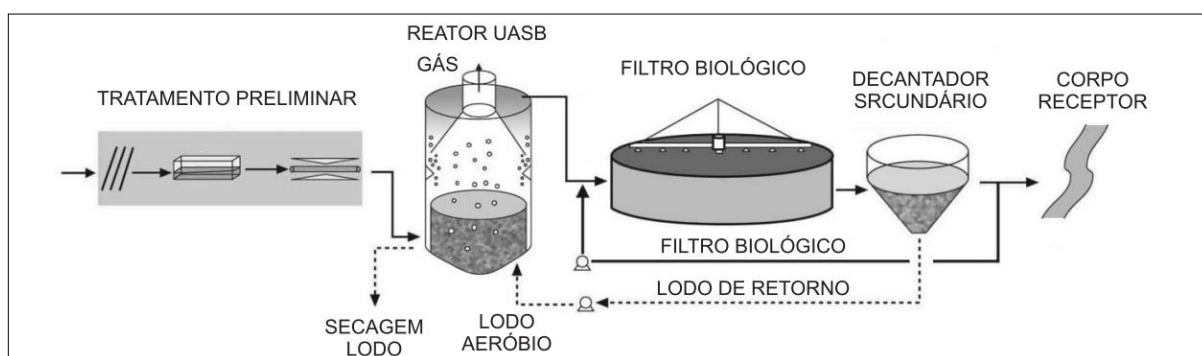


Figura 11 - Sistema de reator UASB e filtro biológico percolador
 Fonte: Von Sperling (2005).

Em regiões de clima quente, a utilização de reatores UASB em conjunto com lodos ativados (Figura 12) tem se demonstrado promissora. As vantagens do sistema são similares à utilização de pós-tratamento com filtros biológicos percoladores (CAMPOS, 1999).

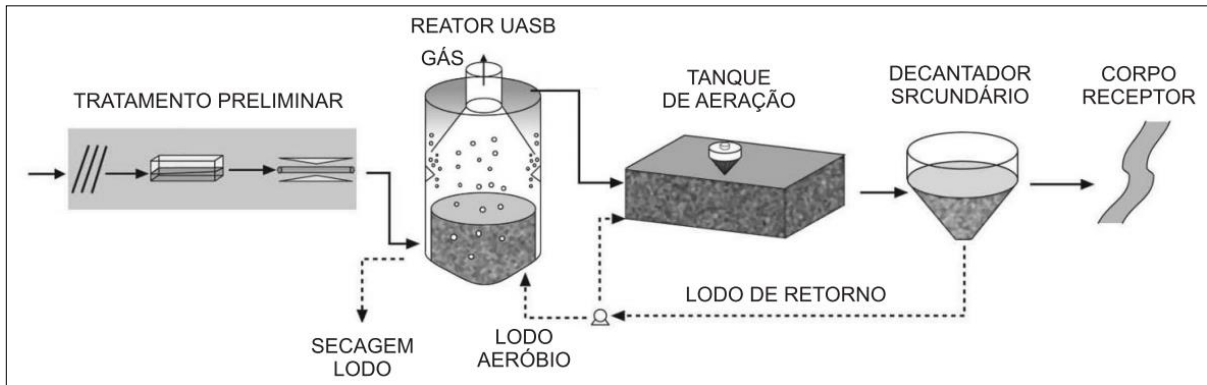


Figura 12 - Sistema de tratamento com reatores UASB e lodos ativados
Fonte: Von Sperling (2005).

Os biofiltros aerados submersos têm sido comumente aplicados no país na forma de pós-tratamento de efluentes de reatores UASB (Figura 13), e suas vantagens se assemelham à utilização dos sistemas anteriormente citados (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

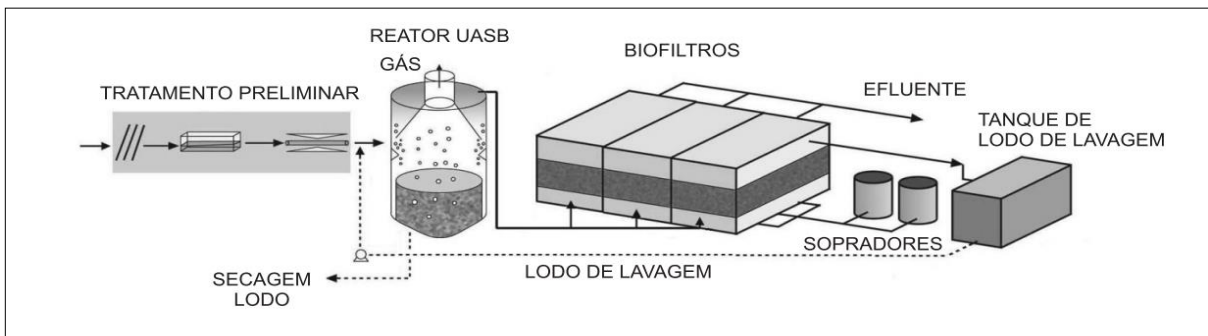


Figura 13 - Fluxograma composto por reator UASB e biofiltro aerado submerso
Fonte: Von Sperling (2005).

A utilização de lagoas de polimento, havendo área disponível, é a opção de pós-tratamento dentre os métodos anteriormente citados que alcança os maiores níveis de remoção de patógenos e nutrientes. Diferentemente das lagoas de maturação, as lagoas de polimento recebem esta denominação por terem função de

remoção complementar da DBO (VON SPERLING, 2005). O fluxograma da combinação destes sistemas é representado na Figura 14.

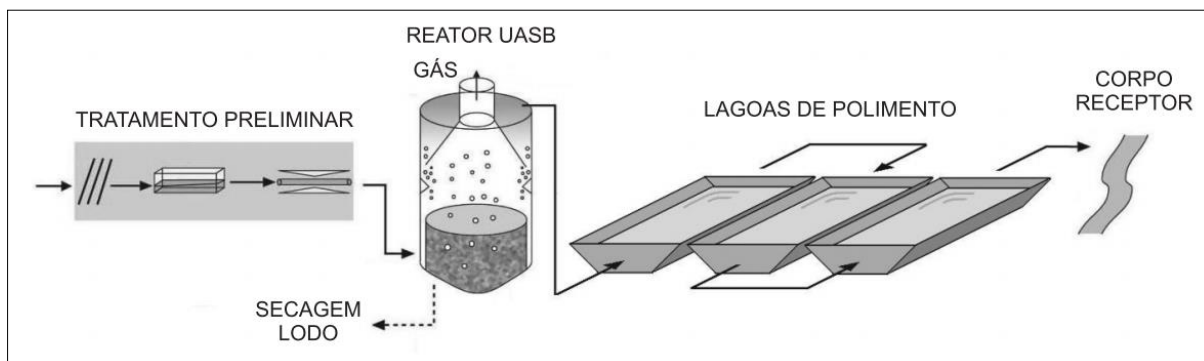


Figura 14 - Sistema de tratamento de esgoto com reatores UASB e lagoas de polimento
Fonte: Von Sperling (2005).

3.7.4 Disposição de efluentes do solo

As alternativas de escoamento superficial e de *wetlands* (terras úmidas) formam atualmente os processos com maior aplicabilidade no país. Ambas as técnicas apresentam grande capacidade de remoção de DBO, nutrientes, principalmente o nitrogênio, devido a interações químicas no solo e absorção pela biomassa vegetal, e parasitas (mecanismos físicos de retenção). Se considerada a compatibilização dos sistemas de tratamento de esgoto e de irrigação, estas duas alternativas podem constituir alternativas de reúso, considerando a possibilidade de produção de biomassa para a ingestão animal (CHERNICHARO *et al.*, 2006).

Nos sistemas de escoamento superficial, os esgotos são distribuídos na parte superior de terrenos inclinados, por onde escoam até encontrarem valas e serem coletados na parte inferior do terreno. A sua aplicação é intermitente, e seus tipos de aplicação são aspersores de alta pressão, aspersores de baixa pressão e tubulações ou canais de distribuição com aberturas devidamente espaçadas (CAMPOS, 1999).

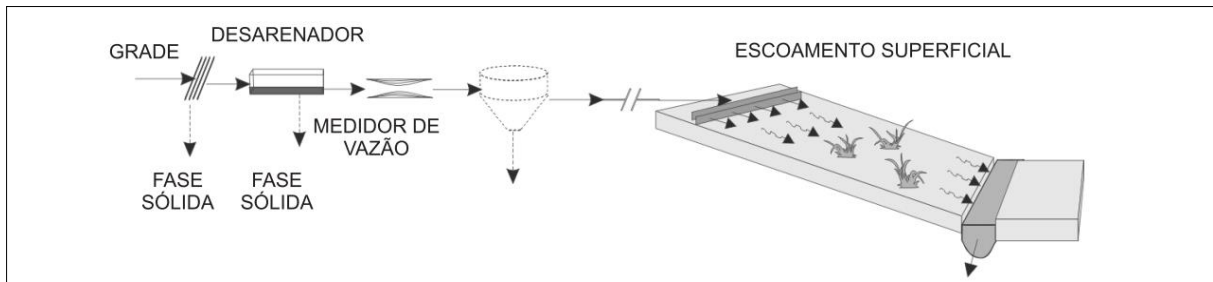


Figura 15 - Fluxograma típico de um sistema de escoamento superficial
Fonte: Von Sperling (2005).

As *wetlands* ou terras úmidas construídas são sistemas formados por canais rasos com plantas aquáticas, podendo ocorrer de forma superficial (com o nível d'água acima do nível do solo) ou subsuperficial (nível d'água abaixo do nível do solo), ambos demonstrados abaixo na Figura 16. O tratamento dos esgotos ocorre por meios de mecanismos biológicos, químicos e físicos presentes no sistema solo-água-plantas, aonde os níveis de remoção de DBO, patógenos e nutrientes são similares aos sistemas de disposição no solo (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

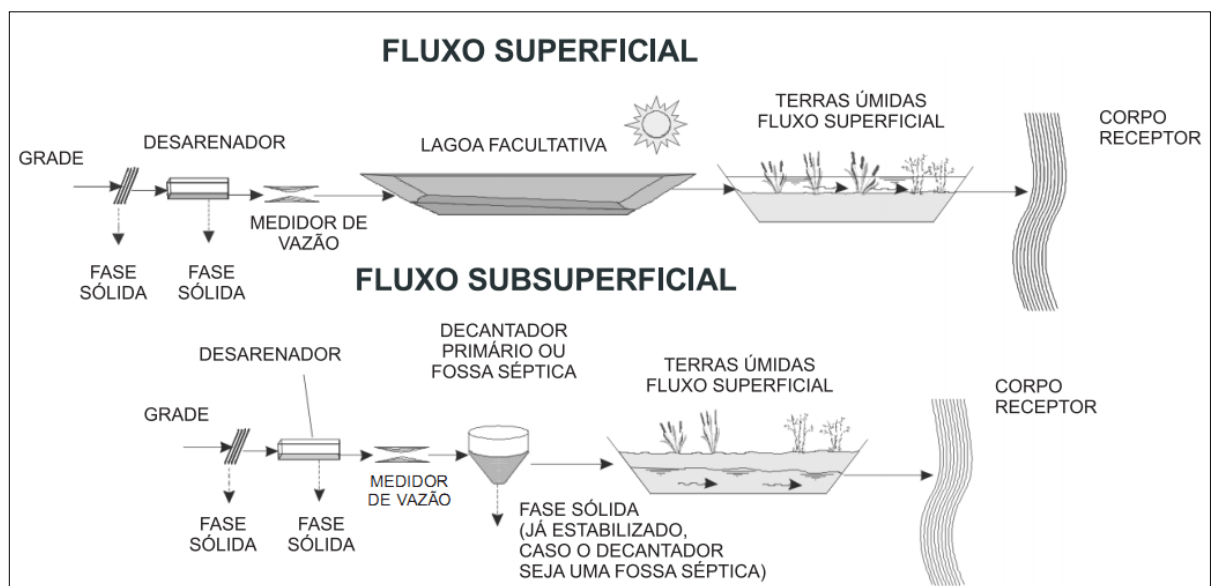


Figura 16 - Fluxogramas típicos de sistema de terras úmidas
Fonte: Von Sperling (2005).

3.8 TRATAMENTO TERCIÁRIO

O objetivo desta etapa é a remoção de poluentes específicos, como compostos não biodegradáveis ou tóxicos, e ainda a remoção complementar de

poluentes residuais do tratamento secundário (nitrogênio, fósforo, metais pesados, microrganismos patogênicos, entre outros).

A cloração para desinfecção, ozonização para desinfecção e remoção de substâncias orgânicas complexas, e filtração rápida, para remoção dos sólidos em suspensão, são os processos mais utilizados, porém todos estes são bem raros no país (VON SPERLING, 2005).

3.9 EFICIÊNCIA MÉDIA DOS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A tabela 5 apresenta, de forma resumida, uma comparação da remoção de poluentes de diversos sistemas de tratamento, levando em consideração a remoção de matéria orgânica (BDO), nitrogênio e fósforo.

Tabela 5 - Eficiências médias dos variados tipos de tratamento de esgoto em relação aos principais poluentes presentes nos esgotos domésticos

TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	EFICIÊNCIA MÉDIA DA REMOÇÃO		
	DBO (%)	NITROGÊNIO (%)	FÓSFORO (%)
Tratamento primário (tanques sépticos)	30-35	< 30	< 35
Tratamento primário convencional	30-35	< 30	< 35
Tratamento primário avançado	45 - 80	< 30	75-90
Lagoa facultativa	75-85	< 60	< 35
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	75-85	< 60	< 35
Lagoa aerada facultativa	75-85	< 30	< 35
Lagoa aerada mistura comp. + lagoa de sedimentação	75-85	< 30	< 35
Infiltração lenta	90-99	> 75	> 85
Infiltração rápida	85-98	> 65	> 50
Escoamento superficial	80-90	< 65	< 35
Terras úmidas construídas (<i>wetlands</i>)	80-90	< 60	< 35
Tanque séptico + filtro anaeróbio	80-85	< 60	< 35
Tanque séptico + infiltração	90-98	< 35	> 50
UASB	60-75	< 60	< 35
UASB + lodos ativados	83-93	< 60	< 35
UASB + biofiltro aerado submerso	83-93	< 60	< 35
UASB + filtro anaeróbio	75-87	< 60	< 35
UASB + filtro biológico de alta carga	80-93	< 60	< 35
UASB + lagoas de polimento	77-87	50-65	> 50
UASB + escoamento superficial	77-90	< 65	< 35
Lodos ativados convencionais	85-93	< 60	< 35
Aeração prolongada	90-97	< 60	< 35
Reator por batelada	90-97	< 60	< 35
Lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio	85-93	> 75	< 35
Lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio e fósforo	85-93	> 75	75-88
Lodos ativados + filtração terciária	93-98	< 60	50-60
Filtro biológico percolador de baixa carga	85-93	< 60	< 35
Filtro biológico percolador de alta carga	80-90	< 60	< 35
Biofiltro aerado submerso	88-95	< 60	< 35
Biofiltro aerado submerso com remoção biológica	88-95	> 75	< 35
Biodisco	88-95	< 60	< 35

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

3.10 CUSTOS MÉDIOS DOS TIPOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A tabela 6 apresenta uma média *per capita* da demanda de área e dos custos de implantação dos diferentes sistemas de tratamento de esgotos domésticos.

Tabela 6 - Características típicas dos principais sistemas de tratamento de esgotos

SISTEMA	DEMANDA DE ÁREA (m ² /hab)	CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO (R\$/hab)	CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (R\$/hab.ano)
Lagoa facultativa	2,0-4,0	40-80	2,0-4,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	1,5-3,0	30-75	2,0-4,0
Lagoa aerada facultativa	0,25-0,5	50-90	5,0-9,0
Lagoa aerada mistura completa + lagoa sedimentação	0,2-0,4	50-90	5,0-9,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	3,0-5,0	50-100	2,5-5,0
Escoamento superficial	2,0-3,5	40-80	2,0-4,0
Terras úmidas construídas (<i>wetlands</i>)	3,0-5,0	50-80	2,5-4,0
Tanque séptico + filtro anaeróbio	0,2-0,35	80-130	6,0-10
Reator UASB	0,03-0,10	30-50	2,5-3,5
UASB + lodos ativados	0,08-0,2	70-110	7,0-12
UASB + biofiltro aerado submerso	0,05-0,15	65-100	7,0-12
UASB + filtro anaeróbio	0,05-0,15	45-70	3,5-5,5
UASB + filtro biológico percolador de alta carga	0,1-0,2	60-90	5,0-7,5
UASB + flotação por ar dissolvido	0,05-0,15	60-90	6,0-9,0
UASB + lagoas de polimento	1,5-2,5	40-70	4,5-7,0
UASB + lagoa aerada facultativa	0,15-0,3	40-90	5,0-9,0
UASB + lagoa aerada mis. Compl. + lagoa decantação	0,1-0,3	40-90	5,0-9,0
UASB + escoamento superficial	1,5-3,0	50-90	5,0-7,0

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

3.11 TENDÊNCIA ATUAL: TRATAMENTO DESCENTRALIZADO

O tratamento descentralizado de esgotos pode ser caracterizado pela coleta, tratamento e disposição final/reúso dos efluentes gerados em residências, bairros,

comunidades isoladas, indústrias ou instituições (CRITES e TCHOBANOGLOUS, 1998).

Este saneamento descentralizado traz consigo a ideia de diversidade, e enfoca o desenvolvimento sustentável, ao passo que são promovidas concepções locais, promovendo a interação da sociedade e a produção de conhecimento (LETINGA *et al.*, 2001).

No entanto, os sistemas centralizadores vêm apresentando uma viabilidade econômica negativa quanto a sua implementação, pois se faz necessário a construção de sistemas de coleta e distribuição, o transporte dos esgotos por grandes percursos, a implantação e os custos de operação para a recuperação da cota (estações elevatórias), além de um controle sanitário para que a água e os efluentes, ao longo de seu percurso, não sejam indevidamente utilizados pela população (PINTO *et al.*, 2006).

Este sistema centralizado é ambientalmente insustentável, pois a descarga repentina de um emissário final, transportando efluentes de milhares de pessoas, provoca um grande dano ambiental se comparado a dezenas de emissários oriundos de sistemas compactos fazendo sua descarga ao longo do corpo receptor (MANCUSO e SANTOS, 2003).

A prática do saneamento descentralizado adentra ao campo do planejamento e gestão urbana participativa, onde a comunidade produz ações rotineiras de saneamento, visando racionalizar o uso dos recursos públicos, humanos e naturais, ativar capacidades ociosas disponíveis na sociedade e incentivar a criatividade social voltada para a adoção e formulação de tecnologias apropriadas às necessidades da comunidade (PHILIPPI, 2000).

Segundo a legislação vigente no país, unidades de tratamento de esgoto de pequeno porte, que caracterizam sistemas descentralizados, são aquelas com vazão nominal de projeto menor ou igual a 50 L/s ou com capacidade de atendimento para até 30.000 habitantes (BRASIL, 2006b).

Nos Estados Unidos da América, o tratamento de efluentes próximo ao seu local de geração é denominado “*Onsite Wastewater Treatment Systems*” (OWTS), e vem sendo considerado como solução recente para o tratamento de efluentes. Lá, 25% das residências e 33% das construções novas construções utilizam OWTS, devido ao seu baixo custo relativo de construção e manutenção (USEPA, 2002).

Justifica-se o uso de métodos descentralizados do tratamento de efluentes quando há a necessidade de melhorias na operação e administração dos sistemas; quando há falhas nos sistemas locais individuais; quando a comunidade está distante dos sistemas e da rede de tratamento de esgotos existente; e quando há a oportunidade de reúso *in loco* do efluente tratado (CRITES e TCHOBANOGLIOUS, 1998).

As grandes vantagens da utilização deste sistema são a redução nos custos de transporte e da implantação de redes de esgoto, dispensando a necessidade da utilização de estações elevatórias; a geração de diversas oportunidades de reúso local dos efluentes; e caso existam problemas numa unidade tratadora descentralizada, a sua manutenção não comprometerá o sistema por completo.

Atualmente no Brasil, as ETEs compactas vêm se destacando no tratamento descentralizado em empresas, instituições, fábricas e residências. Estes modelos, comercializados por valores acessíveis (variando de acordo com o número de pessoas a serem atendidas) são de fácil manuseio e não dependem de mão de obra especializada para seu bom funcionamento.

Estes equipamentos podem ser adquiridos também de forma modular, que possibilita o reparo e substituição de unidades, e o aumento do volume de tratamento, sem a necessidade de troca completa do sistema.

Todos os tipos de ETEs compactas estão sujeitos à grandes variações de carga e vazões no sistema, uma vez que o volume gerado de resíduos é menor. É comum que ocorram picos de vazão, juntamente com sobrecargas hidráulicas, comprometendo o bom funcionamento dos equipamentos (LIMA, 2008). Desta forma, sistemas descentralizados requerem um funcionamento estável sem que sua eficiência seja prejudicada.

3.12 PROJETO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

A NBR 12209/1992 normatiza as condições para a elaboração de projetos de estações de tratamento de esgoto sanitário, e os detalhes que seguem estão todos relacionados a ela (ABNT, 1992b). Os requisitos iniciais que devem ser apresentados para o dimensionamento são:

- Relatório do estudo de concepção do sistema de esgoto sanitário, conforme NBR 9648;
- População atendida e atendível pela ETE nas diversas etapas do plano;
- Vazões e demais características de esgotos domésticos e industriais afluentes à ETE nas diversas etapas do plano;
- Características requeridas para o efluente tratado nas diversas etapas do plano;
- Corpo receptor e ponto de lançamento definidos na concepção básica;
- Área selecionada para construção da ETE com levantamento planialtimétrico em escala 1:1000;
- Sondagens preliminares de reconhecimento do subsolo na área selecionada;
- Cota máxima enchente na área selecionada;
- Padrões de lançamento de efluentes industriais na rede coletora, conforme NBR 9800.

A elaboração do projeto hidráulico-sanitário deve compreender, no mínimo, as seguintes atividades:

- Seleção e interpretação das informações disponíveis para projeto;
- Definição das opções de processo para a fase líquida e fase sólida;
- Seleção dos parâmetros de dimensionamento e fixação de seus valores;
- Dimensionamento das unidades de tratamento;
- Elaboração dos arranjos em planta das diversas opções definidas;
- Elaboração de perfil hidráulico preliminar das diversas opções;
- Avaliação de custo das opções;
- Comparação técnico-econômica e escolha da solução;
- Dimensionamento dos órgãos auxiliares e sistemas de utilidades;
- Seleção dos equipamentos e acessórios;
- Locação definitiva das unidades, considerando a circulação de pessoas e veículos e o tratamento arquitetônico-paisagístico;
- Elaboração do perfil hidráulico em função do arranjo definitivo;
- Elaboração de relatório do projeto hidráulico-sanitário, justificando eventuais divergências em relação ao estudo de concepção.

Para o dimensionamento das unidades de tratamento e os órgãos auxiliares, devem ser consideradas as vazões afluentes máxima e média, a DBO, DQO e os sólidos em suspensão (SS). Estes valores devem ser determinados através de investigação local, e na sua ausência, podem ser considerados os valores de 54 g de DBO₅/hab.dia e 50 g de SS/hab.dia. Outros valores adotados devem ser justificados.

Para a vazão máxima, devem ser dimensionadas as estações elevatórias de esgoto bruto, as canalizações, os medidores e os dispositivos de entrada e saída. Todas as unidades e canalizações precedidas de tanques de acumulação com descarga de vazão constante devem ser dimensionados para a vazão média.

Uma canalização de desvio (*by-pass*) deve ser dimensionada para isolar a ETE, e é recomendado que as unidades de tratamento possuam mecanismos que possibilitem o seu isolamento. Deve também existir um dispositivo de medição da vazão afluente à ETE, como calhas parshall.

O acesso às unidades deve ser fácil e adequado às condições de segurança e comodidade da operação, juntamente com a previsão de condições ou dispositivos de segurança que evitem concentração de gases que possam causar explosão, intoxicação ou desconforto.

O projeto hidráulico-sanitário deve considerar o tratamento e o destino final do lodo removido, e o relatório deste projeto da ETE deve conter:

- Memorial descritivo e justificativo, contendo informações a respeito do destino a ser dado aos materiais residuais retirados da ETE, explicitando os meios que devem ser adotados para o seu transporte e disposição, projetando-os quando for o caso;
- Memorial de cálculo hidráulico;
- Planta de situação da ETE em relação à área de projeto e ao corpo receptor;
- Planta de locação das unidades;
- Fluxograma do processo e arranjo em planta (*lay-out*) com identificação das unidades de tratamento dos órgãos auxiliares;
- Plantas, cortes e detalhes;
- Planta de escavações e aterros;

- Especificações de materiais e serviços;
- Especificações de equipamentos e acessórios, indicando os modelos selecionados para elaboração do projeto;
- Orçamento;
- Manual de operação de processo da ETE.

Inclusos no memorial de cálculo, deverão ser apresentados, no mínimo, os seguintes resultados (SANEPAR, 2011):

- Prováveis locais para o lançamento dos efluentes – apresentar mapas contendo a localização dos prováveis pontos de lançamento, além de captações superficiais e subterrâneas, se existirem, com a delimitação da bacia a montante, citando a fonte utilizada, número e ano da carta utilizada;
- Vazão de referência – caso existam séries históricas de vazões, a caracterização fluviométrica deverá contar as estações utilizadas, extensão das séries, localização das estações fluviométricas e análise de falhas. Caso não existam séries históricas disponíveis, a metodologia de regionalização utilizada para cálculo da vazão deve ser descrita;
- Vazão outorgável – descrição dos usuários já cadastrados, tipologia de uso e vazões já outorgadas a montante e jusante dos prováveis pontos de lançamento;
- Casou houver, para cada etapa de estagiamento das obras de implantação da ETE devem ser apresentadas, com o detalhamento dos cálculos, a vazão máxima instantânea do efluente, a vazão apropriada, e a qualidade da água, detalhados da seguinte forma:
 - Determinação do OD de saturação;
 - Diluição no ponto de lançamento;
 - Velocidade do escoamento e tempo de deslocamento;
 - Autodepuração (decaimento de DBO e OD) em função da distância do ponto de lançamento, OD crítico (valor e distância).
 - Identificar ao longo do rio as diferentes classes do corpo receptor após receber os efluentes, com base na Resolução CONAMA nº 357/05 e 430/11.

- Para os valores utilizados baseados em bibliografia existente, citar a fonte e apresentar justificativa para sua utilização.

As demais informações, necessárias para o correto dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto, inclusive equações e métodos de cálculo, serão apresentados ao longo do Capítulo 3 desta pesquisa, de acordo com o sistema de tratamento julgado mais adequado para a implantação no Campus Ecoville da UTFPR.

3.13 TRATAMENTO DE ESGOTOS EM INSTITUIÇÕES

Segundo a USEPA (*United States Environmental Protection Agency*), agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, as Instituições de Ensino Superior (IES), no desenvolvimento de novos conhecimentos e tecnologias, integram o grupo de pequenas unidades geradoras de resíduos perigosos.

Ao realizar experimentos e pesquisas nos laboratórios de ensino, as instituições se tornam potencialmente poluidoras, pois a gestão dos resíduos gerados nos centros de pesquisa e universidades é praticamente inexistente (JARDIM, 1998).

A sustentabilidade, tema necessário e de grande expressão dentro das IES, fica na maioria dos casos apenas como tópico teórico, e não prático, pois como demonstraram Tauchen e Brandli (2006), só quatro universidades brasileiras (UNISINOS, UFSC, RURB e UFRGS) vinham implantando, naquela época, sistemas de gestão ambiental.

Os diversos laboratórios de pesquisa, de uma única instituição, podem gerar considerável quantidade de efluentes líquidos, contendo, por exemplo, material particulado orgânico e inorgânico, soluções ácidas e alcalinas, compostos orgânicos diversos, e até substâncias inorgânicas, muitas vezes perigosas, como metais pesados e fenóis (BERTOLINO *et al.*, 2008).

O descarte indiscriminado destes efluentes na rede coletora que atende a instituição pode afetar a qualidade do corpo receptor, além de comprometer seriamente a eficiência das estações tratantes de esgoto, pois muitos constituintes desses resíduos são potencialmente tóxicos para os microrganismos atuantes nas ETEs (ALVES *et al.*, 2005).

Pesquisas realizadas no Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CETE – UFRJ), o qual trata parte dos resíduos gerados na Cidade Universitária, demonstraram que o esgoto afluyente ao CETE – UFRJ pode ser considerado fraco, com valores de BQO entre 39 a 457 mg/L e DBO entre 29 a 152 mg/L (VERSIANI, 2005).

O resíduo final do campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em outro estudo de caracterização e quantificação dos efluentes ali gerados, apresentou natureza de grande complexidade, uma vez que mais de cem substâncias eram usadas rotineiramente nos laboratórios, sem o controle do seu descarte (AQUINO *et al.*, 1996; SOUZA *et al.*, 1997).

Foram realizados estudos na Universidade de Campinas para a implantação de um sistema de pós-tratamento de efluentes de filtro anaeróbio, com base num modelo reduzido de valas de infiltração, visando minimizar custos de implantação e operação. Os resultados obtidos foram satisfatórios para o reúso com fins não potáveis do efluente gerado (NOUR *et al.*, 2000).

Foi testado, na Universidade de Campina Grande, um sistema de tratamento anaeróbio de esgoto doméstico (UASB), seguido por filtro anaeróbio compartimento, para uso na fertirrigação. Foram obtidos excelentes níveis de remoção de carga orgânica, porém teores elevados de nitrogênio e fósforo, além de índices de coliformes acima das recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), o que impossibilitaria a aplicabilidade do efluente gerado em culturas consumidas cruas (SANTOS *et al.*, 2005).

Foram implantados, na Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz” – ESALQ/USP, em parceria com empresas e instituições privadas, experimentos na Estação Experimental de Iatinga para avaliar a utilização de lodo de esgotos, seu melhor modo de aplicação, sua dosagem ideal, o crescimento das árvores por eles adubadas, a sustentabilidade florestal e os possíveis impactos provenientes desta prática. Ao fim do processo de biodigestão do esgoto, o adubo orgânico líquido gerado é rico em micro e macro nutrientes, e pode ser utilizado para como complemento na adubação ou na recomposição de camadas vegetais em áreas com erosão (VOESE, 2008).

O Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP) desenvolveu o projeto de um complexo para o recalque do esgoto bruto, tratamento preliminar, secundário e avançado de esgoto, visando

produção de adubo e reúso para irrigação do campus. Existe também a previsão para a implantação de um curso formador de operador de estação de tratamento de esgoto, que será oferecido em nível técnico a jovens carentes.

O sistema conta com reatores anaeróbios UASB e de leito expandido, tanque de aeração, floculação, flotação, desinfecção com raios ultravioleta e desagrupamento e inertização de lodo (EESC, 2013).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 O CAMPUS ECOVILLE

O Campus Ecoville da UTFPR está localizado na Cidade Industrial de Curitiba, e foi oficialmente inaugurado no dia 20 de maio de 2011, porém as atividades na sede foram iniciadas no dia 28 de fevereiro de 2011, com a instalação do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC).

Atualmente estão instalados no campus o departamento de construção civil e o Departamento Acadêmico de Biologia e Química (DAQBI), e lá são ministrados cursos de graduação e bacharelado, de tecnologia, os cursos técnicos, de pós-graduação e mestrado ofertados por ambos os departamentos.

O campus é subdividido em dois lotes. O Lote 01 fica entre as ruas Professor Pedro Viriato Parigot de Souza e Deputado Heitor Alencar Furtado, e possui 31.360 m² de área.

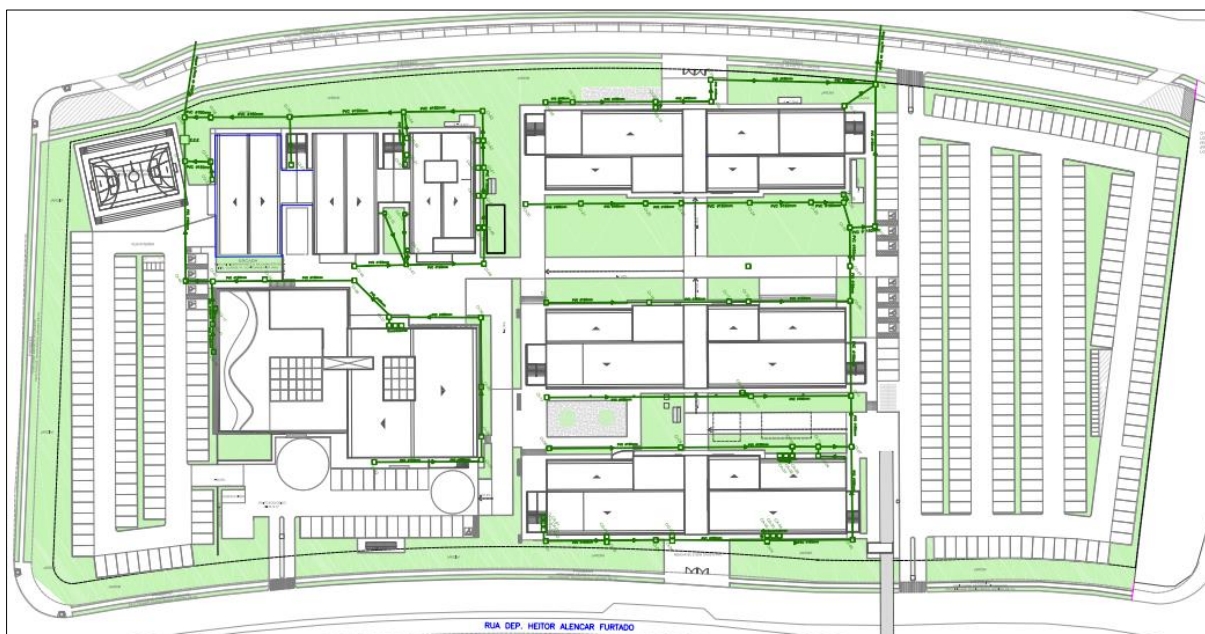


Figura 17 - Lote 01 segundo Plano Diretor do Campus Ecoville
Fonte: UTFPR (2013a).

O Lote 02 está posicionado em frente ao Lote 01, estando entre as ruas Deputado Heitor Alencar Furtado e Monsenhor Ivo Zanlorenzi, e possui 27.029 m² de área total (Figura 18).



Figura 18 - Lote 02 segundo Plano Diretor do Campus Ecoville
Fonte: UTFPR (2013a).

4.2 ESTUDOS PRELIMINARES PARA LOCALIZAÇÃO DA ETE E ESTIMATIVA DAS VAZÕES

Para a escolha da localização da ETE dentro do campus foram considerados os projetos planialtimétricos de ambos os lotes, juntamente com a análise da área livre disponível.

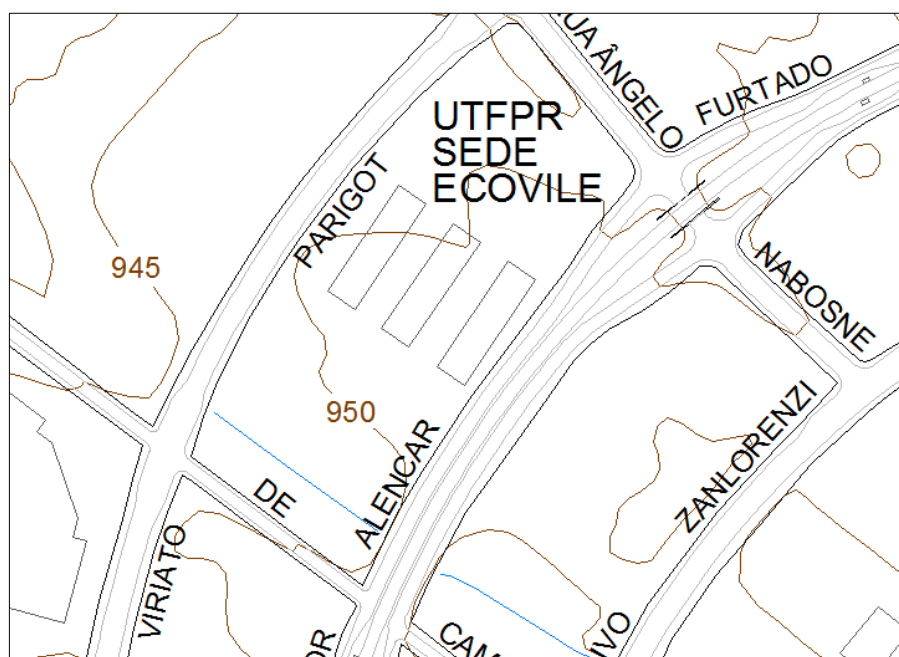


Figura 19 - Levantamento planialtimétrico de Curitiba
Fonte: IPPUC (2013).

As vazões de esgoto foram estimadas considerando o contingente de alunos cursando disciplinas lecionadas no campus. Também foi observado o histórico do consumo de água da instituição num período de seis meses letivos. Este foi vinculado na proporção 1:1 para a geração de esgoto. Ambas as vazões foram comparadas e adotou-se um valor condizente e seguro para as duas alternativas.

Os coeficientes adotados para o cálculo das vazões mínimas (Q_{\min}) e máximas (Q_{\max}) de projeto foram 0,5 e 1,8 respectivamente (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

A área escolhida para a localização da ETE, bem como as justificativas para tal escolha, estão contidas no Capítulo 5 (Resultados).

4.3 CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS DO ESGOTO

Um projeto correto depende, sobretudo, de uma caracterização fidedigna do efluente em questão. As características do esgoto de um local estão ligadas principalmente ao tipo de estabelecimento, ao padrão de consumo de água (que por sua vez está ligado a uma série de outros fatores, inclusive climáticos) e também à forma com que esse esgoto é gerenciado no local (no caso de uma universidade, se há interferência de resíduos provenientes de laboratórios, por exemplo). Assim, uma caracterização acurada deveria envolver as seguintes diretrizes: coletas no tempo (sazonalidade); coletas em diferentes pontos no espaço físico do local (para identificar possíveis lançamentos de material distinto do esgoto sanitário) e finalmente escolha dos parâmetros mais representativos (o que está relacionado com o tipo de estudo sendo realizado e também com os recursos financeiros para tal).

Inicialmente houve uma coleta no dia 26 de agosto de 2013, onde foram analisados (em um laboratório particular) os seguintes parâmetros: coliformes totais, coliformes fecais, DBO, DQO, pH, sólidos sedimentáveis totais, nitrogênio total, fósforo total, sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais. A coleta foi executada em uma caixa de inspeção situada ao lado do Bloco B da sede Ecoville, como se observa analisando a Figura 20.



Figura 20 - Caixa de inspeção onde foi realizada a coleta de esgoto.
Fonte: Autoria própria.

Em função dos resultados obtidos não terem sido confiáveis (ver análise no capítulo de resultados), houve uma nova coleta no dia 19 de setembro de 2013, na qual foram analisados (no laboratório de saneamento do DACOC/UTFPR) os seguintes parâmetros: pH, DBO, DQO, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), sólidos sedimentáveis e sólidos totais (fixos e voláteis). Todas as análises foram realizadas seguindo as recomendações descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

Os valores de coliformes fecais, necessários no dimensionamento do processo de desinfecção, foram adotados conforme estudos que caracterizaram os esgotos do campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (BEZERRA, 2004).

4.4 TRATAMENTO PRELIMINAR

4.4.1 Peneiramento

Em função das características encontradas para o esgoto, do porte da estação (vazões bem reduzidas) e da necessidade das unidades serem compactas

(em função da área útil disponível), optou-se por uma peneira para remoção de sólidos de grosseiros do esgoto do campus.

Não se faz necessário o dimensionamento desta unidade, uma vez que os modelos padrões comercializados no país cobrem uma grande variabilidade de materiais, e atendem perfeitamente às vazões e necessidades da ETE.

4.4.2 Tanque de equalização

Em virtude da grande variação do volume de efluentes gerados na Universidade, e da não geração de resíduos entre as 23:00 horas e 7:00 horas, foi dimensionado um tanque de equalização, seguindo as premissas de Cavalcanti (2009). Desta forma, garante-se às demais fases do tratamento um regime de vazões constantes.

Foi traçado um hidrógrafo com os volumes acumulados de resíduos nos eixos das ordenadas, e o tempo (24 horas) no eixo das abcissas. A vazão média diária é representada pela linha traçada do ponto inicial da curva ao final, e sua tangente representa o valor da vazão média.

Para a obtenção do volume de equalização, projetam-se no gráfico as tangentes superior e inferior paralelas à vazão média. O volume total do reservatório corresponde à distância vertical entre as retas (Gráfico 2).

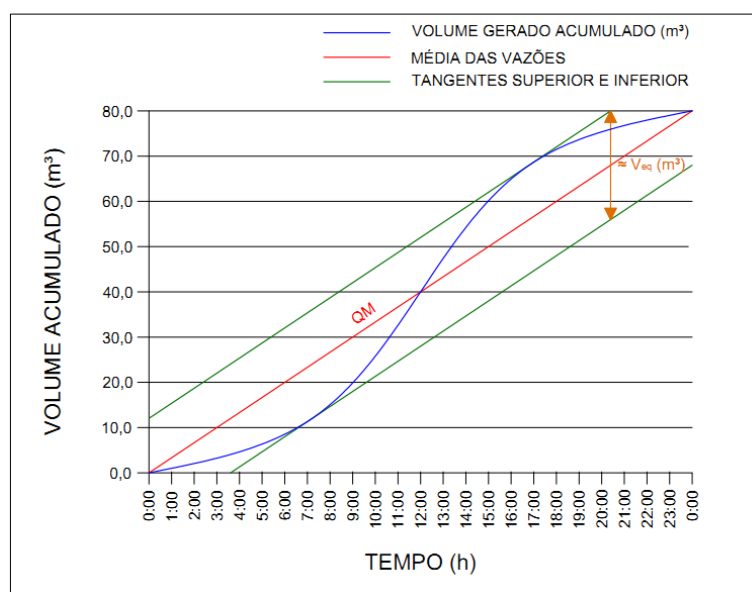


Gráfico 2 - Hidrógrafo modelo para o cálculo do volume do tanque de equalização.
Fonte: Autoria própria.

4.5 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

Além das vantagens usuais da equalização dos efluentes, é possível ainda aproveitar o próprio tanque para cumprir a função de poço de sucção da estação elevatória, uma vez que, por gravidade, não haverá energia suficiente para o esgoto passar pelas unidades de tratamento.

Em função da complexidade de projetos de estações elevatórias, e também pelo fato do escopo principal estar relacionado com o tratamento em si, realizou-se uma estimativa da potência da bomba necessária para conduzir o esgoto pelas unidades de tratamento à jusante do tanque de equalização.

As bombas centrífugas e os Parafusos de Arquimedes são os mais utilizados em sistemas de saneamento, sendo que os primeiros se adéquam mais à estação de tratamento de esgotos da UTFPR em razão do pequeno porte. Portanto, adotou-se uma bomba centrífuga para o recalque do esgoto. A potência fornecida pela bomba é definida pela seguinte equação:

$$P = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_M}{75} \quad (1)$$

Na qual:

γ : peso específico do esgoto (N/m³);

Q: Vazão a ser bombeada para as unidades de tratamento (m³/s);

H_M: Altura manométrica (m).

Como a bomba consome uma potência superior à potência fornecida, a potência consumida pela bomba será dada pela seguinte equação:

$$P_b = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_M}{75 \cdot \eta} \quad (2)$$

Na qual:

η : rendimento da bomba (em máximo rendimento, que é o que se busca, geralmente as bombas operam com $\eta = 80\%$).

4.6 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Foi considerado como forma de tratamento secundária do esgoto o dimensionamento e instalação de um reator UASB, pois este método é aquele que, dentro dos citados no Capítulo 2, tem a menor taxa de ocupação e apresenta níveis satisfatórios de tratamento de esgoto, no que se refere à remoção de matéria orgânica.

Primeiramente dimensiona-se o reator como um todo, onde o Volume Total de Reatores (V_t) é o produto entre a Vazão Média de Projeto (Q_{med}) e o Tempo de Detenção Hidráulico (TDH):

$$V_t = Q_{med} \times TDH \quad (3)$$

Pode-se dividir V_t pelo número de reatores desejados, contudo para o dimensionamento desta ETE utilizou-se um único reator.

É fixada então a altura útil do reator (H_u), valor normalmente compreendido entre 4,50 m e 5,50 m, e então se calcula a área unitária (A_u) do reator:

$$A_u = \frac{V_t}{H_u} \quad (4)$$

O produto das dimensões (D) do reator deve ser o valor de A_u . Para um reator de lados iguais, calcula-se:

$$D = \sqrt{A_u} \quad (5)$$

Para o sistema de distribuição do esgoto, partem tubos de distribuição do topo do reator até 0,15 m do fundo, no qual cada um representa uma área de influência (A_i) previamente fixada.

Calcula-se então o número de tubos necessários (N_d):

$$N_d = \frac{A_u}{A_i} \quad (6)$$

Com o diâmetro da tubulação utilizada, obtém-se a seção de cada tubo (S_t):

$$S_t = \pi \times \frac{\phi^2}{4} \quad (7)$$

Faz-se necessária a verificação da velocidade de escoamento (V_e) dos efluentes pelos tubos de distribuição:

$$V_e = \frac{Q_{max}}{N_d \times S_t} \quad (8)$$

A velocidade ascensional do lodo (V_a) no interior do reator será:

$$V_a = \frac{3600 \times Q_{max}}{V_t} \quad (9)$$

Admite-se a produção de 0,18 kg SST/kg DQO afluente, e a massa de lodo gerada (M) é calculada em função da DQO do esgoto gerado:

$$M = 0,18 \times DQO \quad (10)$$

Considerando um teor de sólidos de 4%, densidade típica igual 1,02, o volume gerado de lodo (V_L) é:

$$V_L = \frac{M}{0,04 \times 1020} \quad (11)$$

A eficiência da remoção de DBO e DQO está relacionada com o tempo de detenção hidráulica (TDH) utilizado, e podem ser calculadas da seguinte forma:

$$E_{DBO} = 1 - 0,70 \times TDH^{-0,50} \quad (12)$$

$$E_{DQO} = 1 - 0,68 \times TDH^{-0,35} \quad (13)$$

Desta forma, foi possível estimar as concentrações de DQO e DBO efluentes ao reator:

$$S_{UASB-DQO} = DQO - E_{DQO} \times DQO \quad (14)$$

$$S_{UASB-DBO} = DBO - E_{DBO} \times DBO \quad (15)$$

4.7 PÓS-TRATAMENTO

Para o modelo de ETE sugerido por esta pesquisa, não foi dimensionado um sistema de pós-tratamento. Convém salientar que a o esgoto do campus ecoville é conduzido à rede pública que passa pela Rua Pedro Viriato Parigot de Souza.

Todavia, a existência desta etapa é de grande valor quando aplicada a pesquisas científicas na área de saneamento.

Visando estudos futuros, foi projetado um espaço para o desenvolvimento de tecnologias de pós-tratamento, tais como sistema de lodos ativados, filtros anaeróbios, dentre outros.

4.8 DESINFECÇÃO

Para a unidade de desinfecção, optou-se por duas possibilidades: (a) Cloração, uma técnica consagrada da desinfecção de águas e águas residuais e (b) Radiação UV, uma das alternativas ao cloro mais difundidas pela comunidade científica (PROSAB, 2003). Assim, possibilita-se à UTFPR diferentes opções de tratamento terciário do esgoto gerado no campus.

4.8.1 Desinfecção por cloração

A primeira etapa no dimensionamento simplificado da desinfecção por cloração é o cálculo do volume do tanque de mistura rápida (V_{TMR}), no qual se adota o tempo de residência (T_{res}).

$$V_{TMR} = Q_{med} \times T_{res} \quad (16)$$

O volume do tanque de contato (V_{TC}) é calculado a partir do tempo de residência no tanque de contato (T_{TC}):

$$V_{TC} = Q_{med} \times T_{TC} \quad (17)$$

O último tanque de passagem é o de descloração, e seu volume (V_{TD}) depende do tempo (T_{TD}) definido como tempo de residência nesta etapa.

$$V_{TD} = Q_{med} \times T_{TD} \quad (18)$$

4.8.2 Desinfecção por radiação ultravioleta

Para o dimensionamento deste processo, experimentos constataram que uma dose efetiva (D) de 21 mJ/cm² é suficiente para atingir o padrão de efluente desinfetado proposto (PROSAB, 2003). Foi então calculada a dose aplicada (D_a):

$$D_a = \frac{D \alpha L_{UV}}{1 - e^{-\alpha L_{UV}}} \quad (19)$$

Onde:

α : coeficiente de absorvância;

L_{UV} : espessura de lâmina d'água.

A dose aplicada por volume (D_{av}) foi determinada em função da dose aplicada (D_a) e de L_{UV} através da seguinte equação:

$$D_{av} = 0,2778 \frac{D_a}{L_{UV}} \quad (20)$$

O número de lâmpadas utilizadas (N_{uv}) depende de Q_{med} , D_{av} , da potência da lâmpada a 254 nm (P_{254}), e da eficiência do refletor (f):

$$N_{uv} = \frac{Q_{med} \times D_{av}}{P_{254} \times f} \quad (21)$$

A partir do tempo de exposição mínimo (T_{emin}) e de Q_{max} , foi determinado o volume do reservatório (V_{uv}):

$$V_{uv} = Q_{max} \times T_{emin} \quad (22)$$

Com V_{uv} calculado, e L_{uv} , calculou-se a área necessária para a câmara de desinfecção (A_{uv}):

$$A_{uv} = \frac{V_{uv}}{L_{uv}} \quad (23)$$

Para fins de conferência, foi checada a dose aplicada no reator ($D_{areator}$):

$$D_{areator} = \frac{N_{uv} \times P_{254} \times f}{A_{uv}} \times T_{emin} \quad (24)$$

4.9 ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DA ETE

Os custos para implantação da ETE no Campus Ecoville foram estimados conforme estudos baseados nos valores de implantação de manutenção de Estações de Tratamento de Esgoto do Brasil (VON SPERLING, 2005; JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Também foi elaborado um orçamento simplificado, considerando os itens mais representativos para a execução da obra, como escavações, concreto, aço, tubulações, bombas e impermeabilizações.

Os valores apresentados no orçamento foram aqueles apresentados pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2013) no mês de agosto.

Este orçamento prévio não isenta a futura execução da ETE da elaboração de um orçamento completo, e dos projetos complementares estruturais, elétricos, hidrossanitários e demais que se julguem necessários à perfeita execução e operação dos equipamentos.

4.10 PRÉ-PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DA ETE

O pré-projeto de implantação da ETE no campus foi projetado conforme os equipamentos dimensionados nesta pesquisa e respeitando a ordem de bom funcionamento e fluidez dos efluentes ao longo da estação.

Todas as unidades contam com um sistema de registros para que seja possível o *by-pass* de qualquer etapa do tratamento. Este mecanismo permite que

sejam estudados cada equipamento isoladamente, assim como quaisquer combinações possíveis entre eles.

5 RESULTADOS

5.1 LOCALIZAÇÃO SUGERIDA PARA A ETE

Considerando a área livre disponível, os levantamentos planialtimétricos já apresentados, a posição da rede coletora na via pública, e também levando em consideração as inúmeras investigações *in loco* dos autores, entendeu-se que o melhor local para a implantação da ETE seria nas proximidades do bloco IJ, anexo ao laboratório de saneamento. A Figura 21 a seguir apresenta (em vermelho) este local.

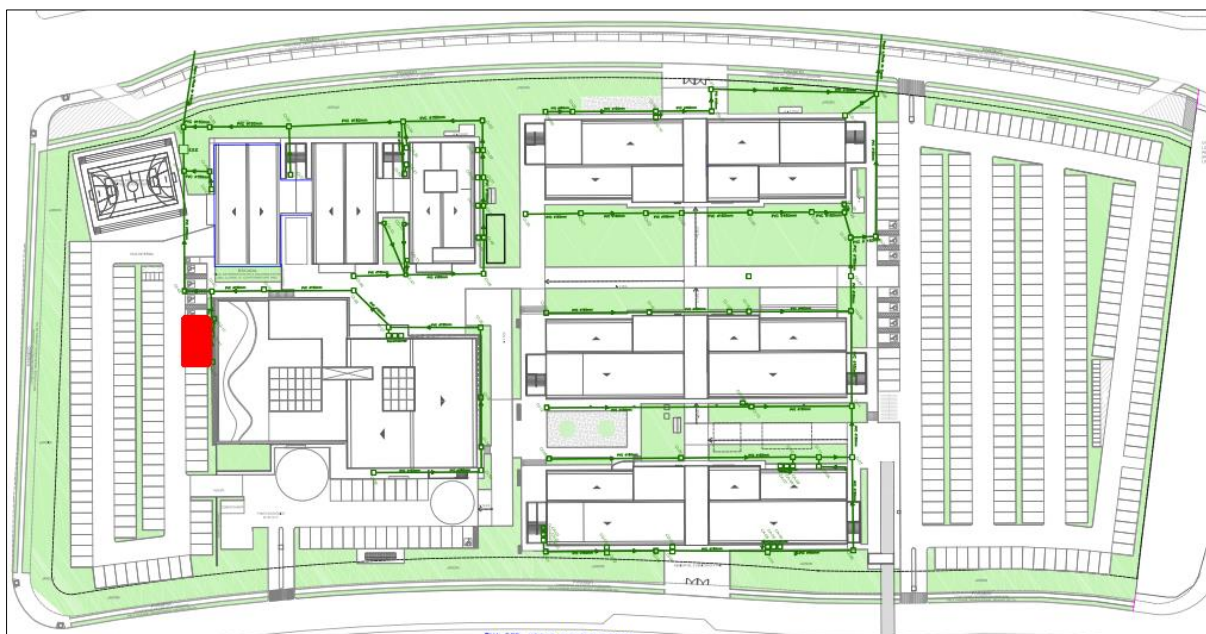


Figura 21 - Localização da ETE no Campus Ecoville
Fonte: Adaptado de UTFPR (2013a).

Além de estar próximo às instalações existentes relacionadas (exatamente ao lado do laboratório de saneamento do DACOC/UTFPR), este espaço é um local em cota inferior das demais instalações de ensino, facilitando o escoamento por gravidade dos efluentes. De acordo com o plano diretor original do campus Ecoville, a área está previamente destinada a estacionamento (10 vagas). Considerou-se a proposta da ETE como sendo uma iniciativa mais "nobre", em oposição à utilização do local para estacionamento de veículos.

5.2 ESTIMATIVA DAS VAZÕES

A Tabela 7 apresenta o número de alunos com matrícula ativa no primeiro semestre do ano de 2013 nos cursos lecionados no campus.

Tabela 7 - Quantidade de alunos matriculados.

CURSO	MANHÃ	TARDE	NOITE
Arquitetura e Urbanismo	284	284	
Engenharia Civil		276	276
Engenharia de Produção Civil		160	160
Química	255	255	
Técnico em Edificações			79
Técnico em Processos Ambientais			110
Técnico em Segurança no Trabalho	211	211	
Docentes	150	150	150
TOTAL	900	1336	775

Fonte: UTFPR (2013b).

Considerando que uma pessoa consome, em média, 50 litros de água por dia (JORDÃO; PESSÔA, 2009), adotou-se a proporção de geração de esgotos 1:1. No período de maior movimentação de alunos no campus (tarde), o volume estimado de resíduos gerado são 66,8 m³/dia ou 0,773 l/s.

A geração de efluentes também foi estimada através do consumo do campus (Tabela 8). O máximo consumo medido, em de abril de 2013, foram 2590 m³/mês ou 0,999 l/s.

Tabela 8 - Consumo de água do campus Ecoville

CONSUMO (m³/mês)	MÊS DE REFERÊNCIA
1574	Outubro/2012
1496	Novembro/2012
1596	Dezembro/2012
562	Janeiro/2013
1397	Fevereiro/2013
1472	Março/2013
2590	Abril/2013
2534	Mai/2013
551	Junho/2013

Fonte: UTFPR (2013b).

Com os valores obtidos, e visando também o aumento de alunos e consequente aumento na geração de efluentes, adotou-se como vazão máxima de projeto (Q_{max}):

$$Q_{max} = 2,00 \text{ l/s} \quad (25)$$

Vazão média de projeto (Q_m):

$$Q_{med} = \frac{Q_{max}}{1,8}$$
$$Q_m = \frac{2,00 \text{ l/s}}{1,8}$$
$$Q_m = 1,111 \text{ l/s} \quad (26)$$

Vazão mínima de projeto (Q_{min}):

$$Q_{min} = \frac{Q_{med}}{2}$$
$$Q_{min} = \frac{1,111 \text{ l/s}}{2}$$
$$Q_{min} = 0,556 \text{ l/s} \quad (27)$$

5.3 CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS DO ESGOTO

O Anexo A desta pesquisa apresenta os resultados das análises de uma amostra de esgoto do Campus Ecoville, realizado por um laboratório especializado na caracterização destes tipos de amostra. Ali foram analisados coliformes totais, coliformes fecais, DBO, DQO, pH, sólidos sedimentáveis totais, nitrogênio total, fósforo total, sólidos suspensos totais e sólidos dissolvidos totais.

Ao analisar os resultados, constataram-se valores pouco confiáveis, sobretudo para DQO e DBO. Uma das prováveis razões para os valores baixos de DQO e DBO reside no fato de que a coleta do esgoto foi realizada em um dia chuvoso. Em função das obras e manutenção no campus Ecoville, muitas caixas de inspeção de esgotos (que são interligadas) estavam abertas para a atmosfera,

recebendo diretamente as chuvas. Os valores reduzidos indicam um claro sinal de diluição dos esgotos pelas águas pluviais.

Dessa maneira, optou-se por descartar esta análise, pois os resultados não apresentavam valores aceitáveis e confiáveis.

Coletou-se uma nova amostra e esta foi analisada no Laboratório de Saneamento do DACOC/UTFPR. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 9 - Resultados da análise da amostra de esgoto do Campus Ecoville

DQO	478 mg/l
DBO	263 mg/l
RELAÇÃO DQO/DBO	1,8
NTK	32 mg/l
SÓLIDOS TOTAIS	337 mg/l
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS	3 ml/l

Fonte: Aatoria própria.

A caracterização indicou uma relação DQO/DBO dentro do intervalo, de 1,7 a 2,4, indicado na literatura para esgoto sanitário (VON SPERLING, 2005). Esta relação sinalizou ser bastante promissora a utilização do tratamento biológico como etapa mais efetiva na remoção de matéria orgânica. A quantidade reduzida de sólidos sedimentáveis indicou a possibilidade do descarte da utilização de desarenadores, visto que os modelos mais atuais de peneiras possuem aberturas pequenas o suficiente para substituir essas unidades.

Visando enriquecer este estudo, foram obtidas outras 6 pesquisas no Brasil que apresentaram a caracterização dos esgotos em campus universitários (Tabela 10).

Tabela 10 - Resumo da caracterização de esgotos em campus universitários

PARÂMETROS	BEZERRA (2004) UFRN	BERTOLINO <i>et al.</i> (2008)* UFOP	BERTOLINO <i>et al.</i> (2008)* UFOP	BERTOLINO <i>et al.</i> (2008)* UFOP	VOESE (2008) UNISC	HATTORI <i>et al.</i> (2010) UTFPR-CM	HORN (2011) UNISC	FERREIRA (2012) UTFPR-CM	MÉDIA
T (°C)	26,0	---	---	---	15,6	25,6	16,9	25,6	21,94
pH	7,0	8,2	7,8	7,4	8,1	7,9	7,9	7,0	7,66
Alcalinidade à bicarbonato (mgCaCO ₃ /L)	---	149	182	241	---	98	---	294	192,80
Ácidos Voláteis (mgHac/L)	---	---	---	---	---	53	---	53	53,00
DBO (mg/L)	145,0	171,0	217,0	300,0	147,4	---	224,3	---	200,78
DQO bruta (mg/L)	303,0	403,0	505,0	670,0	169,4	363,0	264,5	648,0	415,74
DQO filtrada (mg/L)	---	---	---	---	---	274	---	454	364,00
Sólidos Totais (mg/L)	---	---	---	---	---	624	---	637	630,50
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	---	140,0	223,0	296,0	78,3	---	---	---	184,33
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	---	---	---	---	---	252	---	184	218,00
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	---	---	---	---	---	372	---	463	417,50
NTK (mg/L)	---	41,4	62,2	56,2	---	---	36,8	---	49,15
NH ₃ (mg/L)	19,0	30,6	27,4	32,6	---	---	---	---	27,40
NO ₃ (mg/L)	4,1	---	---	---	0,3	---	0,8	---	1,73
NO ₂ (mg/L)	1,6	---	---	---	---	---	---	---	1,60
Fósforo Total (mg/L)	---	4,8	6,7	5,8	7,2	---	8,6	---	6,62
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	3,60E+06	---	---	---	---	---	1,20E+06	---	2,40E+06
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	---	---	---	---	3,50E+05	---	---	---	3,50E+05

Observações - *: três pontos diferentes de amostragem dentro do campus

Fonte: Adaptado de Bezerra (2004); Bertolino *et al.* (2008); Hattori *et al.* (2010); Horn (2011); Ferreira (2012).

A obtenção de estudos relacionados foi importante para verificar que iniciativas como a da proposta já estão sendo implementadas em instituições de ensino superior. Como a caracterização deste trabalho foi simplificada, em função da disponibilidade de tempo e da infraestrutura atual do laboratório, outros parâmetros de dimensionamento, quando necessários, foram retirados destes estudos.

5.4 TRATAMENTO PRELIMINAR

5.4.1 Peneiramento

Para a escolha do tipo de peneiramento mais adequado, foi utilizada a metodologia do mercado nacional, no qual é apresentada a vazão afluyente à peneira, e determinadas então a sua abertura e dimensões operacionais.

A tabela 10 abaixo apresenta um modelo de planilha de dimensionamento destes equipamentos. Como citado no tópico 5.2 desta pesquisa, a vazão máxima de projeto é $Q_{\max} = 7,2 \text{ m}^3/\text{h}$, então foi escolhida a peneira estática que admite uma capacidade nominal de até $16,0 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tabela 11 - Dimensões comerciais padrão de peneiras estáticas

	ABERTURA (mm)							DIMENSÕES (mm)		
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	3,00	A	ØB	ØC
CAPACIDADE NOMINAL (m ³ /h)	16	24	27	31	38	40	53	500	75	100
	33	49	57	66	78	89	106	1.000	100	150
	49	63	84	94	115	140	157	1.500	150	200
	63	94	110	126	152	169	210	2.000	200	250
	78	117	136	157	186	210	254	2.500	250	300
	94	141	162	189	231	253	329	3.000	300	150

Fonte: Adaptado de EnvironQuip (2013).

Desta forma, o equipamento ideal para a instalação deve possuir abertura de 0,25 mm, largura $A = 500 \text{ mm}$, diâmetro do tubo de entrada dos efluentes $\text{ØB} = 75 \text{ mm}$, e diâmetro do tubo de saída $\text{ØC} = 100 \text{ mm}$, conforme a Figura 22.

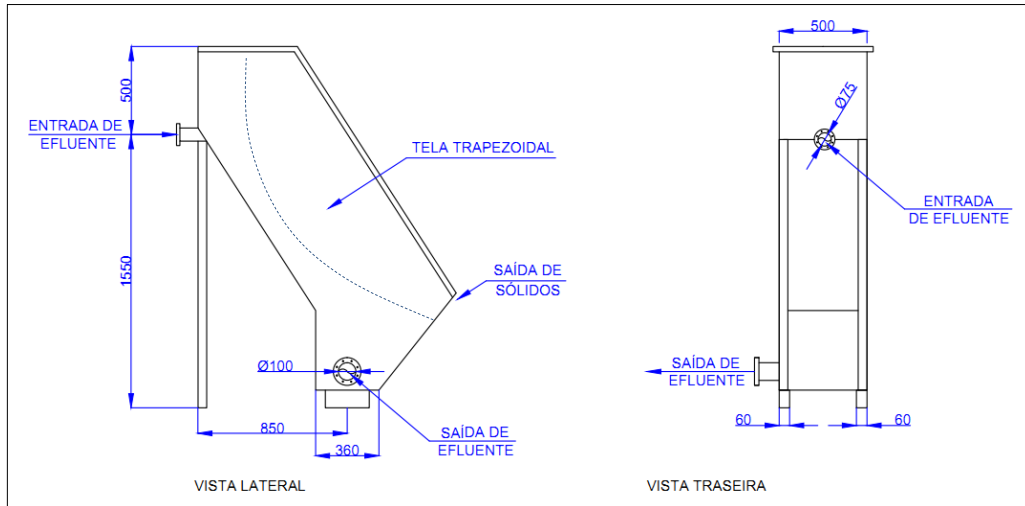


Figura 22 - Modelo de peneira estática utilizado.
Fonte: Autoria própria.

5.4.2 Tanque de equalização

Para a determinação do hidrógrafo do volume diário de resíduos acumulados, foi elaborada a tabela de vazão horária estimada no campus (Tabela 12), com base nas vazões Q_{min} , Q_{med} e Q_{max} de projeto, apresentadas no item 4.1 deste estudo.

Tabela 12 - Vazões horárias estimadas para o Campus Ecoville

INTERVALO		VAZÃO HORÁRIA (m ³ /h)	VOLUME ACUMULADO (m ³)
0:00	1:00	0,0	0,0
1:00	2:00	0,0	0,0
2:00	3:00	0,0	0,0
3:00	4:00	0,0	0,0
4:00	5:00	0,0	0,0
5:00	6:00	0,0	0,0
6:00	7:00	0,0	0,0
7:00	8:00	2,0	2,0
8:00	9:00	2,0	4,0
9:00	10:00	4,0	8,0
10:00	11:00	4,0	12,0
11:00	12:00	4,0	16,0
12:00	13:00	7,2	23,2
13:00	14:00	7,2	30,4
14:00	15:00	4,0	34,4
15:00	16:00	4,0	38,4
16:00	17:00	4,0	42,4
17:00	18:00	7,2	49,6
18:00	19:00	7,2	56,8
19:00	20:00	4,0	60,8
20:00	21:00	4,0	64,8
21:00	22:00	4,0	68,8
22:00	23:00	2,0	70,8
23:00	0:00	0,0	70,8

Fonte: Autorial Própria.

As vazões foram estimadas considerando os horários de maior movimentação no campus, e de alternâncias de períodos. Para que esta estimativa seja a mais próxima possível da real situação da Universidade, a média das vazões horárias entre as 7:00 horas e 23:00 permaneceu próxima da vazão média de projeto (Q_{med}), 4,00 m³/h, conforme os cálculos já apresentados, considerando o consumo de água do campus e o número de alunos frequentantes das instalações.

A média real, calculada através do resultado da divisão do volume acumulado (70,8 m³) pelo período total de 24 horas, é a vazão de saída do tanque de equalização, 2,95 m³/h.

Como o princípio básico desta unidade é a manutenção constante da vazão, os valores de Q_{min} , Q_{med} e Q_{max} nas unidades após o tanque de equalização serão 3,00 m³/h.

Para o cálculo do volume do tanque, é necessário plotar os volumes de resíduos acumulados em função do tempo, como mostra o Gráfico 3.

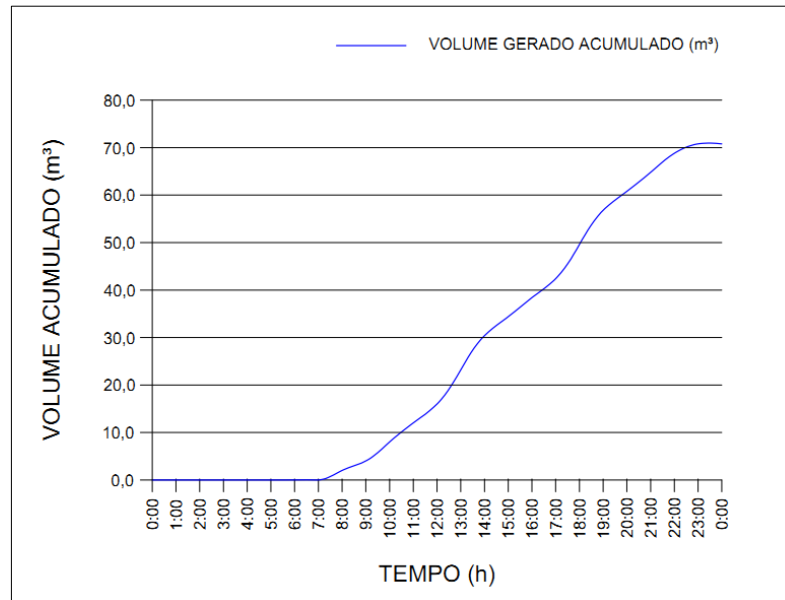


Gráfico 3 – Hidrógrafo do volume de resíduos acumulados.
Fonte: Autoria própria.

A reta que liga o ponto inicial ao ponto final da curva representa a média das vazões, valor que pode ser encontrado também através do cálculo da tangente do ângulo formado entre a reta e o eixo das abscissas (Gráfico 4).

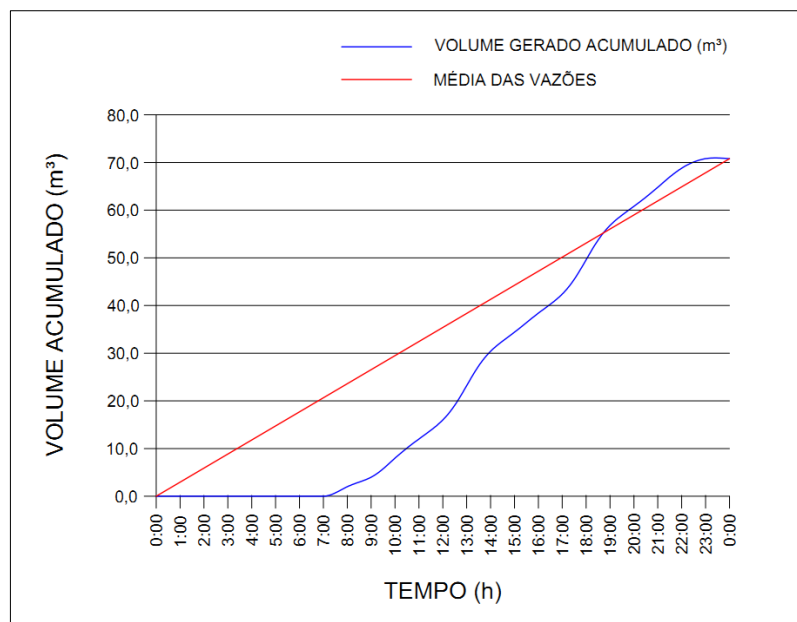


Gráfico 4 – Hidrógrafo do volume de resíduos acumulados e média das vazões.
Fonte: Autoria Própria.

O volume do reservatório de equalização será definido pela distância entre as retas tangentes superior e inferior à curva, paralelas à reta da média das vazões (Gráfico 5).

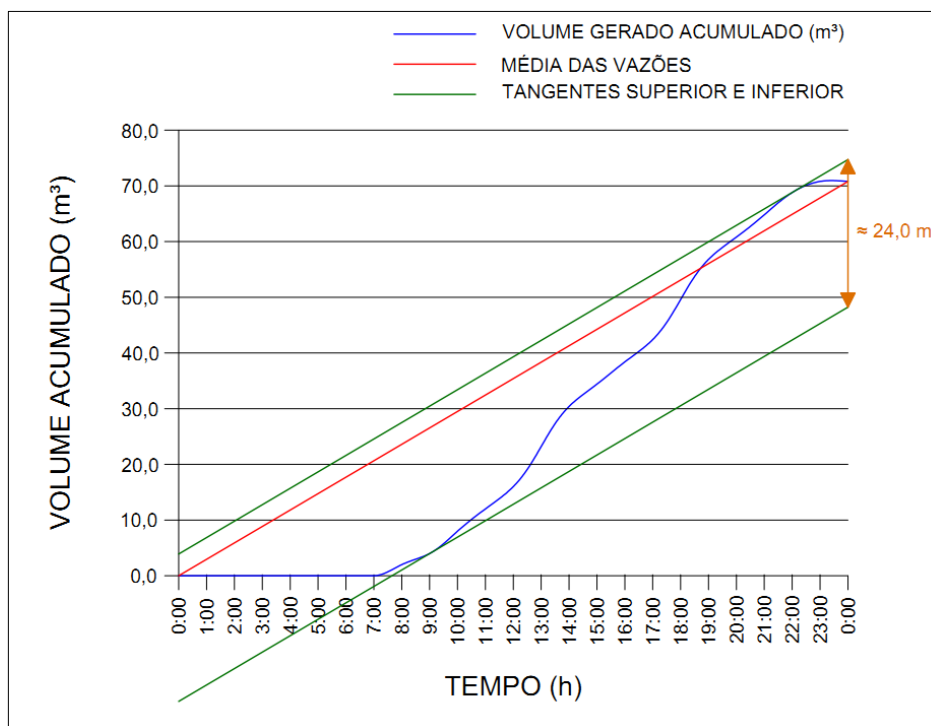


Gráfico 5 – Hidrógrafo para o cálculo do volume do reservatório.
Fonte: Autoria própria.

A distância horizontal aproximada entre as retas tangentes à curva foi $V_{eq} = 24,0 \text{ m}^3$, e o reservatório utilizado será um cubo de arestas internas com 2,89 m.

5.5 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

Sobrinho e Tsutiya (2000) recomendam uma velocidade de escoamento nas tubulações (sucção e recalque) da estação elevatória entre 0,6 e 1,5 m/s. Admitindo-se uma velocidade de 1,0 m/s e considerando a vazão de 0,83 L/s (ou 0,00083 m³/s), obtém-se um diâmetro de 50 mm. Os autores ainda sugerem que o diâmetro de sucção deve ser uma bitola comercial superior ao de recalque. Dessa forma, obtém-se:

Diâmetro de sucção = 75 mm

Diâmetro de recalque = 50 mm

A elevatória deverá fornecer energia suficiente para o esgoto escoar do tanque de equalização até o reator UASB à jusante (cujo dimensionamento está apresentado no tópico seguinte). O desnível geométrico entre o nível mínimo do tanque de sucção para o topo do líquido no reator UASB é de 2,50 m. Admitindo-se ainda uma perda de carga da ordem de 20 m (considerando o comprimento da tubulação, a quantidade de curvas, registros e tês), obtém-se uma altura manométrica de 22,5 metros.

Adotando-se como peso específico do esgoto o valor $\gamma = 9798 \text{ N/m}^3$, para uma temperatura de 15°C de acordo com a equação (1), a potência fornecida pela bomba deverá ser de:

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H_M}{75} = 2,2 \text{ CV} \cong 2,2 \text{ HP} \quad (1)$$

Admitindo-se um rendimento de 80%, a potência consumida pela bomba será de:

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H_M}{75 \times 80\%} = 2,7 \text{ CV} \cong 2,7 \text{ HP} \quad (2)$$

Por questões de segurança, recomenda-se a utilização de duas bombas (de 2,7 CV), ficando uma delas de reserva caso o funcionamento da outra seja interrompido.

5.6 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Para a determinação do volume do reator UASB, foi considerado um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 horas.

$$V_t = Q_{med} \times TDH \quad (3)$$

$$V_t = 3 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 \text{ h}$$

$$V_t = 24 \text{ m}^3 \quad (3)$$

Considerando a altura do reator (H_u) 2,5 metros, a área útil foi:

$$A_u = \frac{V_t}{H_u} \quad (4)$$

$$A_u = \frac{24 \text{ m}^3}{2,5 \text{ m}}$$

$$A_u = 9,60 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Por questões construtivas, visando facilitar a execução deste equipamento, foram utilizadas as mesmas dimensões da base.

$$D = \sqrt{A_u} \quad (5)$$

$$D = \sqrt{9,6 \text{ m}^2}$$

$$D = 3,1 \text{ m} \quad (5)$$

O reator dimensionado tem a base quadrada, com 3,1 metros de comprimento cada lado, e 2,5 metros de altura.

Para o sistema de distribuição do esgoto, considerou-se 2,4 m² de área de influência por tubo, e a quantidade utilizada foi:

$$N_d = \frac{A_u}{A_i} \quad (6)$$

$$N_d = \frac{9,6 \text{ m}^2}{2,4 \text{ m}^2}$$

$$N_d = 4 \text{ tubos} \quad (6)$$

Para uma tubulação de 50 mm, cada tubo possui 0,002 m², e foi calculada a velocidade de escoamento dos efluentes pelos tubos:

$$V_e = \frac{Q_{max}}{N_d \times S_t} \quad (8)$$

$$V_e = \frac{0,000833 \text{ m}^3/\text{s}}{4 \times 0,002 \text{ m}^2}$$

$$V_e = 0,106 \text{ m/s} \quad (8)$$

A etapa seguinte apresenta o cálculo da velocidade ascensional do lodo no interior da câmara de digestão:

$$V_a = \frac{3600 \times Q_{max}}{V_t} \quad (9)$$

$$V_a = \frac{3600 \times 0,000833 \text{ m}^3/\text{s}}{24 \text{ m}^3}$$

$$V_a = 0,125 \text{ m/h} \quad (9)$$

Observou-se que as velocidades de escoamento e ascensional encontradas estão abaixo dos 0,2 m/s ideais (JODRÃO; PESSÔA; 2008), lentas o suficiente para que seja evitado o arraste de bolhas para o interior do tanque.

Admite-se a produção de 0,18 kg SST/kg DQO afluente, e a massa de lodo gerada (M) foi calculada em função da DQO (415,7 mg/l) estimada:

$$M = 0,18 \times DQO \quad (10)$$

$$M = 0,18 \times 0,4157 \text{ kg/m}^3 \times 72 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$M = 5,39 \text{ kg SST/dia} \quad (10)$$

Considerando um teor de sólidos de 4%, densidade típica igual 1,02, o volume gerado de lodo (V_L) no reator será:

$$V_L = \frac{M}{0,04 \times 1020} \quad (11)$$

$$V_L = \frac{5,39}{0,04 \times 1020}$$

$$V_L = 0,132 \text{ m}^3/\text{dia} \quad (11)$$

As eficiências de remoção de DBO e DQO dependem do tempo de detenção hidráulica (TDH) utilizado, e apresentaram os seguintes valores:

$$E_{DBO} = 1 - 0,70 \times TDH^{-0,50} \quad (12)$$

$$E_{DBO} = 1 - 0,70 \times 8^{-0,50}$$

$$E_{DBO} = 75\% \quad (12)$$

$$E_{DQO} = 1 - 0,68 \times TDH^{-0,35} \quad (13)$$

$$E_{DQO} = 1 - 0,68 \times 8^{-0,35}$$

$$E_{DQO} = 67 \% \quad (13)$$

A estimativa de eficiência de remoção de DBO e DQO deve ser feita com ressalvas, pois as constantes presentes nas fórmulas são empíricas e surgiram a partir de um número reduzido de dados (CHERNICHARO, 1997). Assim sendo, adotou-se uma eficiência de remoção igual a 70% para DBO, e 65 % para DQO.

As concentrações de DQO e DBO efluentes ao reator foram:

$$S_{UASB-DQO} = 145,5 \text{ mg/l} \quad (14)$$

$$S_{UASB-DBO} = 60,24 \text{ mg/l} \quad (15)$$

Conforme os cálculos apresentados, o reator UASB dimensionado apresentou um nível satisfatório de remoção de matéria orgânica, com dimensões reduzidas, com total viabilidade de futura implantação nas instalações da UTFPR.

5.7 DESINFECÇÃO

5.7.1 Desinfecção por cloração

Para o dimensionamento do tanque de mistura rápida foi adotado $T_{res} = 5$ segundos (PROSAB, 2003), e V_{TMR} foi:

$$V_{TMR} = Q_{med} \times T_{TMR} \quad (16)$$

$$V_{TMR} = 0,000833 \frac{m^3}{s} \times 5 \text{ s}$$

$$V_{TMR} = 0,00417 \text{ m}^3 \quad (16)$$

Para o dimensionamento do volume do tanque de contato (V_{TC}) foi adotado $T_{TC} = 30$ minutos (PROSAB, 2003).

$$V_{TC} = Q_{med} \times T_{TC} \quad (17)$$

$$V_{TC} = 0,000833 \frac{m^3}{s} \times 30 \text{ min} \times 60$$

$$V_{TC} = 1,5 \text{ m}^3 \quad (17)$$

Para a determinação das dimensões internas do tanque de contato, buscou-se aproximar à relação sugerida comprimento:largura 10:1 (PROSAB, 2003). O tanque deve possuir 5 metros de comprimento, e seção quadrada de lado igual a 0,60 metros.

O último tanque de passagem é o de descloração, e seu volume (V_{TD}) foi calculado em função de $T_{TD} = 10$ minutos.

$$V_{TD} = Q_{med} \times T_{TD} \quad (18)$$

$$V_{TD} = 0,000833 \frac{m^3}{s} \times 10min \times 60$$

$$V_{TD} = 0,5 m^3 \quad (18)$$

As dimensões adotadas para este tanque foram 2,00 metros de largura e seção quadrada com 0,60 metros de lado, seguindo os mesmos padrões do tanque de contato.

5.7.2 Desinfecção por radiação ultravioleta

O reator UV foi dimensionado contemplando lâmpadas UV de baixa intensidade e pressão, com 30 W de potência cada, e eficiência $P_{254} = 8,3$ W. A eficiência considerada para o refletor de alumínio foi 70% (PROSAB, 2003).

Para este processo, calculou-se a dose aplicada de radiação, considerando um coeficiente de absorvância igual a 0,527 (PROSAB, 2003) e 4 centímetros de espessura de lâmina d'água.

$$D_a = \frac{D \propto L_{UV}}{1 - e^{-\alpha L_{UV}}} \quad (19)$$

$$D_a = \frac{21 \frac{mJ}{cm^2} \times 0,527 \times 4 cm}{1 - e^{-(0,527 \times 4)}}$$

$$D_a = 50,41 mJ/cm^2 \quad (19)$$

A dose aplicada por volume (D_{av}) foi determinada em função da dose aplicada (D_a) e de L_{UV} através da seguinte equação:

$$D_{av} = 0,2778 \frac{D_a}{L_{UV}} \quad (20)$$

$$D_{av} = 0,2778 \frac{50,41 \text{ mJ/cm}^2}{4 \text{ cm}}$$

$$D_{av} = 3,51 \text{ Wh/m}^3 \quad (20)$$

Foi determinado o número de lâmpadas utilizadas (N_{uv}), em função de Q_{med} , D_{av} , de P_{254} e a eficiência do refletor (f):

$$N_{uv} = \frac{Q_{med} \times D_{av}}{P_{254} \times f} \quad (21)$$

$$N_{uv} = \frac{3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 3,51 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3}}{8,3 \text{ W} \times 70\%}$$

$$N_{uv} = 2 \text{ lâmpadas} \quad (21)$$

Adotou-se $T_{emin} = 40$ segundos (PROSAB, 2003) e foi determinado o volume do reservatório (V_{uv}):

$$V_{uv} = Q_{max} \times T_{emin} \quad (22)$$

$$V_{uv} = 0,000833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 40 \text{ s}$$

$$V_{uv} = 0,033 \text{ m}^3 \quad (22)$$

A altura da lâmina d'água foi mantida, então a área necessária para a câmara de desinfecção foi $A_{uv} = 0,833 \text{ m}^2$, um quadrado de lados com 92 centímetros, com as duas lâmpadas distribuídas sobre este.

Para fins de conferência, foi checada a dose aplicada no reator ($D_{areator}$):

$$D_{areator} = \frac{N_{uv} \times P_{254} \times f}{A_{uv}} \times T_{emin} \quad (24)$$

$$D_{areator} = \frac{2 \times 8,3 \times 70\%}{8333,33 \text{ cm}^2} \times 40 \text{ s}$$

$$D_{areator} = 55,776 \text{ mJ/cm}^2 \quad (24)$$

A dose adotada no dimensionamento (D_a) foi 50,41 mJ/cm². A dose real aplicada encontrada foi $D_{\text{reator}} = 55,78$ mJ/cm², valor acima do necessário para a desinfecção ideal do efluente.

Considerando a possibilidade de implantação de ambas as técnicas, a desinfecção por cloração tem uma demanda maior de área (tanque de contato com 5 metros de comprimento), então um ambiente com 12 m², com 6 metros de comprimento e 2 metros de largura atenderá perfeitamente às necessidades dos métodos aqui estudados.

5.8 ESTIMATIVA DE CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DA ETE

Abaixo estão os custos de implantação de 18 ETEs com sistemas de reatores UASB seguidos por pós-tratamento, no Paraná e no Distrito Federal (Tabela 13).

Tabela 13 - Custos de implantação de sistemas com reatores UASB + pós-tratamento.

UNIDADE	POPULAÇÃO (hab)	VAZÃO (l/s)	CUSTO DE IMPLANTAÇÃO (R\$)	CUSTO IMP./HAB (R\$/hab)
ETE Paranoá - DF	60.000	112,00	2.427.900,61	40,47
ETE Alagado - DF	84.853	154,00	3.639.959,54	42,90
ETE São Sebastião - DF	77.700	226,00	5.899.843,38	75,93
ETE Cambará - PR	23.479	85,00	2.268.239,13	96,61
ETE Congoinhas - Ponta Grossa - PR	33.161	54,30	2.184.327,09	65,87
ETE Arapoti - PR	5.000	10,00	452.324,41	90,46
ETE Recanto das Emas - DF	125.500	320,00	6.433.184,59	51,26
ETE Vale do Amanhecer - DF	15.000	32,00	1.174.378,99	78,29
ETE Cara Cara - Ponta Grossa - PR	24.534	38,20	1.509.602,24	61,53
ETE Gertrudes - Ponta Grossa - PR	17.913	34,40	1.592.525,11	88,90
ETE Leste - Cascavel - PR	81.240	125,33	3.789.318,79	46,64
ETE Caçadores - Cambé - PR	41.811	107,30	2.765.145,76	66,13
ETE Almada Mon. – F. do Iguaçu - PR	47.585	61,13	1.920.517,51	40,36
ETE I8 - Toledo - PR	11.987	22,88	537.446,47	44,84
ETE Antes - Andira - PR	9.072	29,66	643.425,00	70,92
ETE Senges - PR	18.191	26,90	528.362,15	29,05
ETE Almada Jus. F. do Iguaçu - PR	70.622	95,17	1.890.332,46	26,77
ETE Andirá - Barreiros - PR	13.446	37,21	900.795,00	66,99

Fonte: Jordão e Pessoa (2009).

Considerando estes exemplos, foi calculada a média do custo de implantação/habitantes, R\$ 60,22 e para estimativa de população do campus, utilizou-se como base a Tabela 7, resumida abaixo (Tabela 14).

Tabela 14 - Quantidade de alunos matriculados no Campus Ecoville.

CURSO	NÚMERO DE ALUNOS MATRICULADOS
Arquitetura e Urbanismo	284
Engenharia Civil	276
Engenharia de Produção Civil	160
Química	255
Técnico em Edificações	79
Técnico em Processos Ambientais	110
Técnico em Segurança no Trabalho	211
Docentes	450
Total	1825

Fonte: UTFPR (2013b).

Como os valores apresentados por Jordão e Pessoa datam de 2009, utilizou-se como base a média anual da cotação do dólar na época (ASCP, 2013), e foi aproximado então o valor atual real:

$$R\$_{atual} = \frac{R\$_{2009}}{US\$_{2009}} \times US\$_{2013} \quad (25)$$

$$R\$_{atual} = \frac{R\$ 60,22}{US\$ 2,00} \times US\$ 2,12 = R\$ 63,83$$

Onde:

US\$₂₀₀₉: cotação média do dólar americano em 2009;

US\$₂₀₁₃: cotação média do dólar americano em 2013.

O produto da média do custo de implantação/habitantes com o número de pessoas frequentantes do campus resulta na estimativa de custo da ETE:

$$Custo Estimado A = R\$ 63,83 \times 1825 \quad (26)$$

$$\text{Custo Estimado A} = \text{R\$ } 116.489,80$$

Para uma maior confiabilidade nos valores estimados, foram considerados também os valores *per capita* dos principais sistemas de tratamentos de esgotos, conforme Von Sperling (2005) apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores per capita dos principais sistemas UASB de tratamento de esgotos.

SISTEMA	DEMANDA DE ÁREA (m ² /hab)	IMPLANTAÇÃO (R\$/hab)	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (R\$/hab.ano)
Reator UASB	0,03 - 0,10	30 - 50	2,5 - 3,5
UASB + lodos ativados	0,08 - 0,20	70 - 110	7,0 - 12,0
UASB + biofiltro aerado submerso	0,05 - 0,15	65 - 100	7,0 - 12
UASB + filtro anaeróbio	0,05 - 0,15	45 - 70	3,5 - 5,5
UASB + flotação por ar dissolvido	0,05 - 0,15	60 - 90	6,0 - 9,0
UASB + lagoas de polimento	1,50 - 2,50	40 - 70	4,5 - 7,0
UASB + lagoa aerada facultativa	0,15 - 0,30	40 - 90	5,0 - 9,0

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005).

Aplicou-se a esta pesquisa os valores de um reator UASB e filtro anaeróbio, e foi feita a correção dos valores para os custos atuais:

$$R\$_{\text{atual}} = \frac{R\$_{2005}}{US\$_{2005}} \times US\$_{2013} \quad (27)$$

$$R\$_{\text{atual}} = \frac{R\$ 57,50 \text{ (média dos valores)}}{US\$ 2,43} \times US\$ 2,12 = R\$ 50,16$$

Onde:

US\$₂₀₀₅: cotação média do dólar americano em 2005;

US\$₂₀₁₃: cotação média do dólar americano em 2013.

Desta forma, o Custo Estimado B foi:

$$\text{Custo Estimado B} = R\$ 50,16 \times 1825 \quad (28)$$

$$\text{Custo Estimado B} = R\$ 91.542,00$$

A partir dos valores da Tabela 13, também foi corrigido o custo apresentado para a manutenção da ETE:

$$R\$_{atual} = \frac{R\$_{2005}}{US\$_{2005}} \times US\$_{2013} \quad (29)$$
$$R\$_{atual} = \frac{R\$ 4,50 \text{ (média dos valores)}}{US\$ 2,43} \times US\$ 2,12 = R\$ 3,93$$

foi possível também aproximar os custos de manutenção da ETE em estudo:

$$\text{Custo de Manutenção A} = R\$ 3,93 \times 1825 \quad (30)$$

$$\text{Custo de Manutenção A} = R\$ 7.172,25/\text{ano}$$

$$\text{Custo de Manutenção A} = R\$ 597,69/\text{mês}$$

A partir do dimensionamento das unidades da ETE, apresentado no decorrer deste estudo, elaborou-se um orçamento prévio, com quantidades estimadas, no qual são apresentados apenas os itens de maior representatividade no custo total da obra, como concreto, aço, tubulações e impermeabilizações.

As quantidades exatas, juntamente com um orçamento completo de todas as unidades, só seriam possíveis com a elaboração de todos os projetos complementares necessários à execução da ETE.

A tabela a seguir apresenta os preços estimados construtivos para cada uma das unidades tratantes.

Tabela 16 - Estimativa de custos da ETE

	ITEM	UNIDADE	QUANTIDADE	R\$ UNITÁRIO	R\$ TOTAL
1	Peneira Estática	un	1	15.000,00	15.000,00
2	Tanque de Equalização				
2.1	Escavações	m ³	29,39	21,39	628,68
2.2	Concreto	m ³	6,76	358,05	2.419,13
2.3	Aço	kg	1351,28	6,21	8.391,45
2.4	Impermeabilizações	m ²	50,85	51,63	2.625,39
3	Estação Elevatória				
3.1	Escavações	m ³	9,19	21,39	196,58
3.2	Concreto	m ³	2,96	358,05	1.061,05
3.3	Aço	kg	592,68	6,21	3.680,55
3.4	Impermeabilizações	m ²	3,18	51,63	164,18
4	Reator UASB				
4.1	Escavações	m ³	4,81	21,39	102,78
4.2	Concreto	m ³	4,71	358,05	1.687,13
4.3	Aço	kg	942,40	6,21	5.852,30
4.4	Impermeabilizações	m ²	48,05	51,63	2.480,82
5	Sala de pós-tratamento				
5.1	Escavações	m ³	3,92	21,39	83,85
5.2	Concreto	m ³	2,35	358,05	842,13
5.3	Aço	kg	470,40	6,21	2.921,18
5.4	Impermeabilizações	m ²	7,84	51,63	404,78
6	Sala de desinfecção				
6.1	Escavações	m ³	7,08	21,39	151,33
6.2	Concreto	m ³	4,25	358,05	1.519,92
6.3	Aço	kg	849,00	6,21	5.272,29
6.4	Impermeabilizações	m ²	14,15	51,63	730,56
7	Tubulações em geral	m	100	33,83	3.383,00
8	Bombas	un	2	956,35	1.912,70
	TOTAL				61.511,80

Fonte: Aatoria própria.

Apesar de distante das outras estimativas de custos apresentadas, o valor obtido através dos levantamentos quantitativos prévios tem a mesma magnitude que

os demais. Diversos itens de grande representatividade foram desconsiderados neste cálculo, como fundações, registros, pavimentações.

De forma resumida, a Tabela 17 apresenta os valores encontrados para a construção da ETE proposta no Campus Ecoville.

Tabela 17 - Resumo dos custos estimados de implantação

DESCRIÇÃO	CUSTO ESTIMADO (R\$)
Custo Estimado A	R\$ 116.489,80
Custo Estimado B	R\$ 91.542,00
Custo Estimado C	R\$ 61.511,80

Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo dos custos de operação da ETE, considerou-se que um funcionário dedicará uma hora diária na manutenção do bom funcionamento dos equipamentos, e este recebe R\$ 15,00 por hora. Foi deixada uma verba de R\$ 250,00 para o descarte correto do lodo gerado e estimados R\$ 100,00 mensais com energia elétrica, conforme Tabela 18.

Tabela 18 - Custos de manutenção mensais estimados

DESCRIÇÃO	CUSTO (R\$)
Mão de obra	R\$ 345,00
Energia elétrica	R\$ 100,00
Descarte de lodo	R\$ 250,00
TOTAL	R\$ 695,00

Fonte: Autoria própria.

Se comparado ao valor estimado com aqueles apresentados por Von Sperling (2005), não existem grandes discrepâncias, podendo-se afirmar que o custo de manutenção da ETE será em torno de R\$ 700,00.

6 CONCLUSÃO

Em decorrência deste trabalho, conclui-se que a estação de pequeno porte prevista para tratamento do esgoto do campus Ecoville da UTFPR contemplou as seguintes unidades: peneiramento, equalização, estação elevatória, tratamento secundário em reator UASB e desinfecção (com cloro e/ou radiação UV).

Há ainda um espaço físico destinado à futura implementação de unidades de pós-tratamento do reator UASB. Neste local, estudos diversos poderão ser conduzidos, tais como nitrificação e desnitrificação biológica do esgoto, e também a eficiência de processos físico-químicos de pós-tratamento.

Na adoção da vazão de esgoto, foi contemplada a possibilidade de aumento da população que frequenta o campus.

A área total da estação foi estimada em, aproximadamente, 100 m², e a eficiência prevista, em termos de remoção de DBO, é da ordem de 70%.

O custo estimado da estação é de aproximadamente R\$ 90.000,00 e a manutenção mensal na ordem de R\$ 700,00. Constatou-se que não são necessários grandes investimentos, ou grandes disponibilidades de área, para que sejam criadas propostas que sejam bons exemplos à sociedade.

A implantação de novas possibilidades de estudo no ambiente acadêmico é crucial para o desenvolvimento e transmissão do conhecimento. Muitas vezes estes locais são também responsáveis por despertar a curiosidade e cativar novos pesquisadores para a área científica.

Acima de tudo, este trabalho segue a linha sugerida por uma corrente de pensamento que propõe o "tratamento descentralizado", onde o efluente é gerenciado muito próximo ao local de geração, podendo assim haver mais controle de lançamentos indevidos e das próprias unidades de tratamento.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. C.; CAMMAROTA, M. C.; FRANÇA, F. P. **Inibição de lodo biológico anaeróbio por constituintes de efluentes de laboratório de controle de poluição**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, vol. 10, n. 3, jul/set. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

_____. **NBR 12208**: Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992a.

_____. **NBR 12209**: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992b.

_____. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO COMERCIAL DE SÃO PAULO. **Média mensal da cotação do dólar**. Disponível em <http://economia.acspservicos.com.br/IEGV/IEGV_DOLAR.HTM>. Acesso em 11 out. 2013.

ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS DE SANEAMENTO BÁSICO ESTADUAIS. **Financiamento de investimentos em saneamento básico: medidas sugeridas para expansão sustentável e modernizadora**. Brasília, 2006.

AQUINO, S. F. *et al.* **Caracterização dos efluentes produzidos pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)**. Universidade Federal de Viçosa: Relatório anual de pesquisa, 1996.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

BERTOLINO, S. M.; CARVALHO, C. F.; AQUINO, S. F. **Caracterização e biodegradabilidade aeróbia e anaeróbia dos esgotos produzidos em campus universitário**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, vol. 13, n. 3, jul/set. Rio de Janeiro, 2008.

BEZERRA, A. H. **Caracterização do sistema operacional da estação de tratamento de esgotos da UFRN**. Natal, 2004.

BRASIL. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006a.

_____. **Resolução CONAMA n° 377**. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2006b.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Brasília, 2013.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1997.

CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P.; VON SPERLING, M.; MONTEGGIA, L. O. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

CRITES, R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Small and Decentralized Wastewater Management Systems**. Nova Iorque, 1998.

ENVIRONQUIP. **Catálogo de Peneiras Estáticas**. Curitiba, 2013.

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS. **Estação de tratamento de esgoto do campus USP – São Carlos (ETE)**. Disponível em <<http://www.eesc.usp.br/shs/index.php/area-1/12-ete>>. Acesso em 27 mar. 2013.

FERREIRA, R. C. **Avaliação do comportamento de um reator UASB quando submetido à variação de 40% e 60% da vazão afluente**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2012.

HORN, T. B. **Integração de sistemas wetlands construídos + fotoozonização catalítica no tratamento de efluentes de campus universitário**. Santa Cruz do Sul, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de Saneamento 2011**. Rio de Janeiro, 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. **Mapas Curitiba físico/político**. Disponível em <http://www.ippuc.org.br/visualizar.php?doc=http://admsite.ippuc.org.br/arquivos/documentos/D92/D92_003_BR.dwg>. Acesso em 5 set. 2013.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2010.

JARDIM, W. F. **Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa**. São Paulo, 1998.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

JORDÃO, E. P.; VOLSCHAN JUNIOR, I. **Tratamento de Esgotos Sanitários em Empreendimentos Habitacionais**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2009.

LIMA, R. G. **Tratamento descentralizado de efluentes como alternativa a despoluição dos recursos hídricos da região metropolitana de Aracaju/SE.** Universidade Federal do Sergipe. São Cristóvão, 2008.

LETINGA, G.; ZEEMAN, G.; LENS, P. **Decentralized Sanitation and Reuse: Concepts, Systems and Implementation.** Londres: IWA, 2001.

MANCUSO, P. C.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água.** Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública. São Paulo, 2003.

METCALF & EDDY INCORPORATION. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse.** 4. ed. Nova Iorque, 2003.

NOUR, E. A. A.; STEFANUTTI, R.; CORAUCCI FILHO, B.; FIGUEIREDO, R. F.; KLUSENER FILHO, L. C.; BROLEZE, S. T. **Pós-tratamento de efluente de filtro anaeróbio: modelo reduzido em valas de filtração – ABNT 7229/1992.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola.** 2. ed. São Paulo, 2011.

PHILIPPI, L. S. **Saneamento Descentralizado: Instrumento para o Desenvolvimento Sustentável.** IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Seguro, 2000.

PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas.** Florianópolis, 2004.

PINTO, M. A. T.; FORESTI, E.; JÚNIOR, J. M. **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006.

PROSAB. **Desinfecção de efluentes sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2003.

SANEPAR. **Diretrizes para Elaboração de Estudos de Disponibilidade Hídrica e Qualidade da Água para Projetos de SES.** Curitiba, 2011.

_____. **45% dos imóveis vistoriados em Pato Branco não têm caixa de gordura.** Pato Branco, 2001. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/45-dos-imoveis-vistoriados-em-pato-branco-nao-tem-caixa-de-gordura>>. Acesso em: 2 abr. 2013.

SANTOS, K. D.; SILVA, V. F.; SOUZA, J. T.; VIEIRA, F. F. **Tratamento anaeróbio de esgoto doméstico para fertirrigação.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Campina Grande, 2005.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2010.** Brasília, 2012.

SOBRINHO, P. A.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; NETTO, O. M. C. **Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento**. Rio de Janeiro: Cad. Saúde Pública, 2002.

SOUZA, H. N.; OLIVEIRA, J. A.; BASTOS, R. K. X. **Determinação da tratabilidade e toxicidade dos efluentes produzidos na UFV**. Universidade Federal de Viçosa: Relatório anual de pesquisa, 1997.

TAUCHEN, J.; BRANDLI, L. L. **A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário**. Revista Gestão & Produção, v. 13, p. 503-515, 2006.

TCHOBANOGLIOUS, G.; SCHROEDER, E. D. **Water Quality: Characteristics, Modeling and Modification**. Nova Iorque, 1985.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Onsite Wastewater Treatment Systems Manual**. Cincinnati, 2002.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Diretoria de Projetos e Obras**. 2013a.

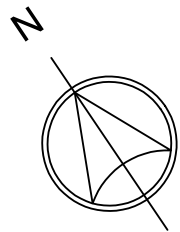
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Departamento de Serviços Gerais**. 2013b.

VERSIANI, B. M. **Desempenho de um reator UASB submetido a diferentes condições operacionais tratando esgotos sanitários do campus da UFRJ**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

VOESE, A. L. **Tratamento de esgoto de campus universitário através de unidade integrada UASB + wetlands alternados**. Universidade de Santa Cruz do Sul. Santa Cruz do Sul, 2008.

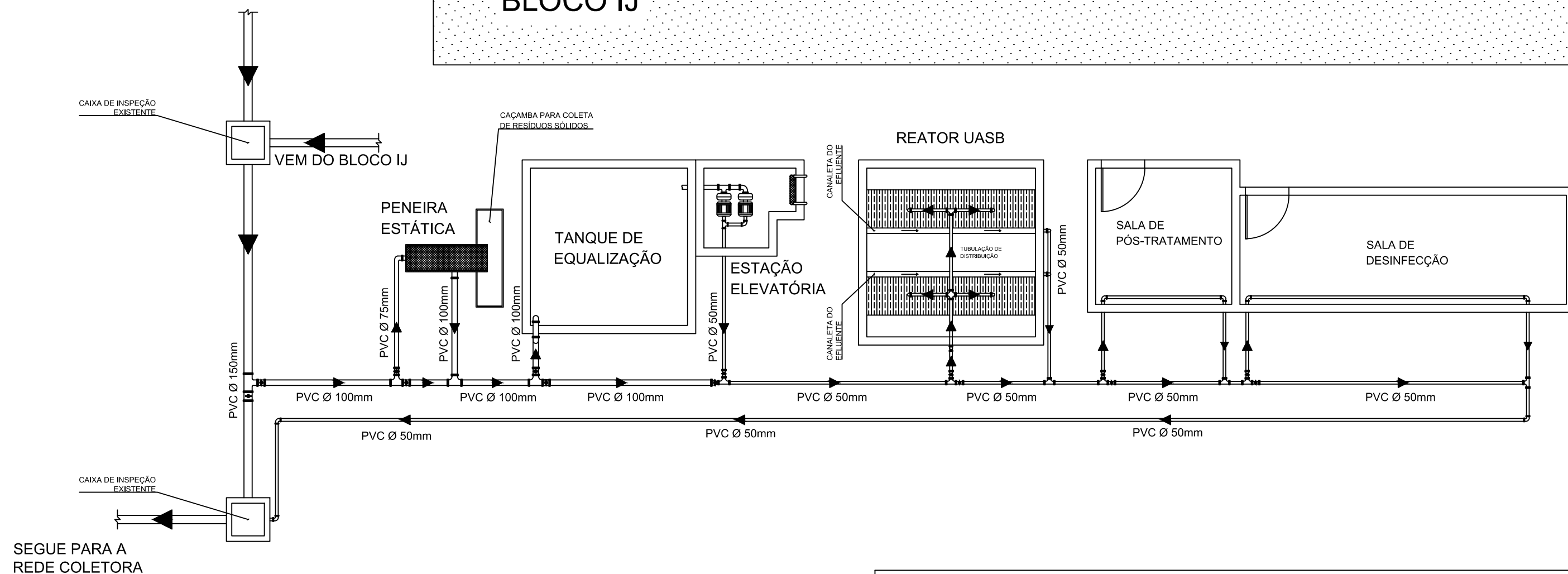
VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **A comparison between wastewater treatment processes in terms of compliance with effluent quality standards**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária Ambiental. Porto Alegre, 2000.



DEM DOS BLOCOS A, B, C, IJ

BLOCO IJ



PRÉ-PROJETO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARA O CAMPUS ECOVILLE

SEM ESCALA

APÊNDICE A - PRÉ PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DA ETE



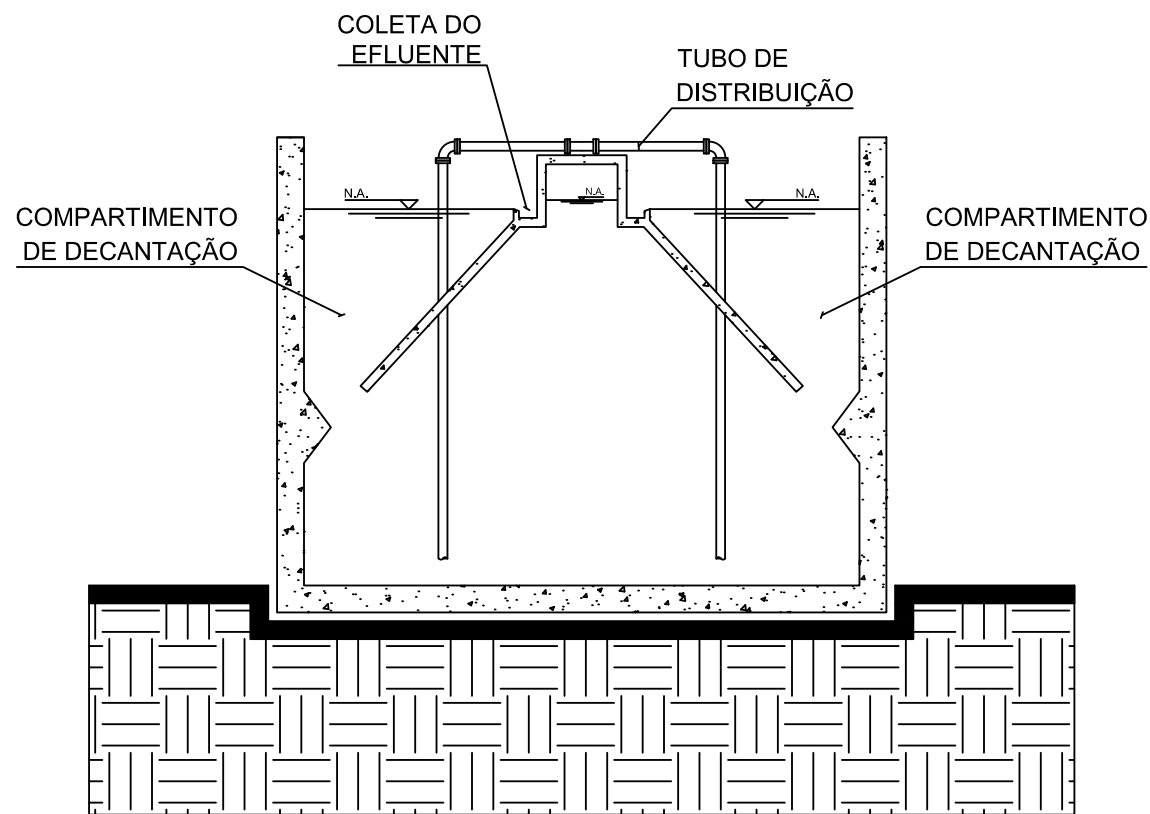
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

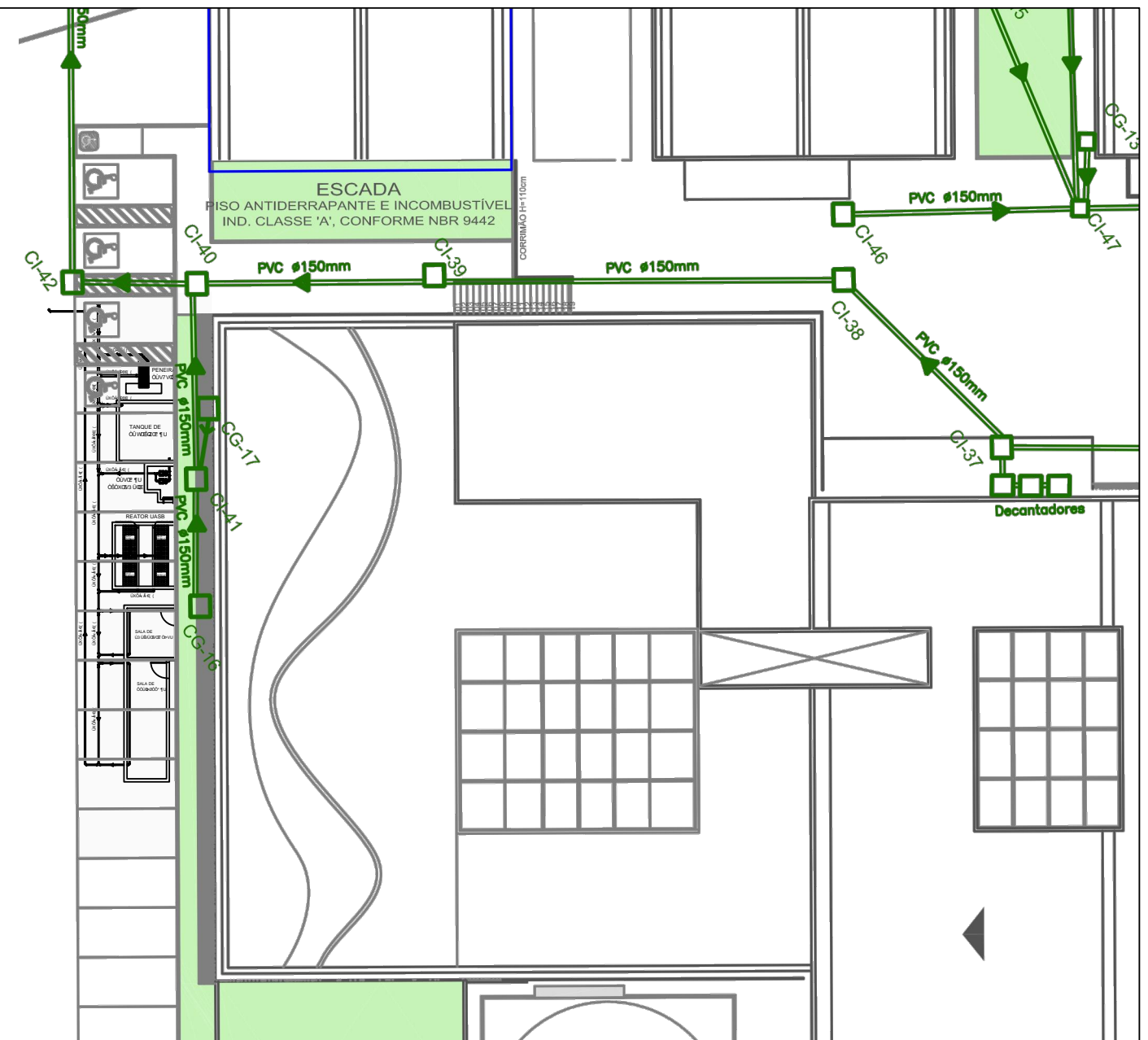
LUCAS HENRIQUES POLIDO

01/02



CORTE ESQUEMÁTICO DO REATOR UASB

SEM ESCALA



POSICIONAMENTO DA ETE

SEM ESCALA

APÊNDICE A - PRÉ PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DA ETE



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LUCAS HENRIQUES POLIDO

02/02

ANEXO A – ANÁLISE DA AMOSTRA DE ESGOTO DO CAMPUS ECOVILLE



LATAM[®]
Laboratório de Análises Toxicológicas e Ambientais

LAUDO 40398/13

Página 1 de 1

SEGMENTO: AMBIENTE

1. LOCAL DA AMOSTRAGEM:

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR
CAMPUS ECOVILLE

RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO, 4900

CURITIBA-PR

FONE/ FAX: (41) 9697-2988

CONTATO: PROFESSOR FLÁVIO FREIRE -
BLOCO U.

CEP: NI

2. EMPRESA SOLICITANTE:

LUCAS HENRIQUE POLIDO

RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO, 4900

CURITIBA-PR

FONE/ FAX: (41) 9915-7748

CONTATO: SR. LUCAS

CEP: NI

3. AMOSTRAGEM EFETUADA POR:

LATAM LABORATÓRIO DE ANÁLISES TOXICOLÓGICAS E AMBIENTAIS

CONTATO: SRA LUISA/ FERNANDA

4. DADOS DA AMOSTRAGEM:

DATA DA AMOSTRAGEM: 26/08/2013

HORÁRIO: 16h 00min

TIPO DE AMOSTRA: EFLUENTE LÍQUIDO

DATA ENTRADA DA AMOSTRA: 26/08/2013

HORÁRIO: 17h 10min

CÓDIGO DA AMOSTRA: A-1816/13

CONDIÇÕES DO TEMPO: NUBLADO INSTÁVEL

TEMP.: 16°C

5. PONTO DE AMOSTRAGEM: CAIXA DE INSPEÇÃO – BLOCO B

6. RESULTADOS:

ANALITOS	RESULTADOS	UNIDADE	V.M.P.*	METODOLOGIA
COLIFORMES TOTAIS	3,4x10 ⁴	UFC/100 mL	NE	SM 9222
COLIFORMES FECAIS	2,8x10 ⁴	UFC/100 mL	NE	SM 9222
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)	11,0	mg/L	NE	SM 5210-B
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	28,0	mg/L	NE	SM 5220-C
pH	8,7	-	5,0- 9,0	SM 4500-H*
SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS TOTAIS	< 0,1	mL/L/h	1,0	SM 2540
NITROGÊNIO TOTAL	68,0	mg/L	NE	SM 4500-N
FÓSFORO TOTAL	14,6	mg/L	NE	SM 4500-PIE
SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	58,0	mg/L	NE	SM 2540-D
SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	541,0	mg/L	NE	SM 2540

LEGENDAS: (1) – Valor Máximo Permitido pela Portaria CONAMA 357/05
NE - Não estabelecido
NI - Não indicado
NA - Não aplicável
ppm - Partes por milhão
ppb - Partes por bilhão

OBSERVAÇÃO: OS RESULTADOS EXPRESSOS NESTE LAUDO REFEREM-SE EXCLUSIVAMENTE A AMOSTRA COLETADA E/OU RECEBIDA PELO LABORATÓRIO, CABENDO AO CLIENTE A EXTRAPOLAÇÃO DESTES DADOS A TODA POPULAÇÃO.

7. REFERÊNCIAS:

STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 21 TH EDITION, WASHINGTON, DC, 2005.

LATAM - Laboratório de Análises Toxicológicas e Ambientais Ltda.
Rua Rodrigues Alves, 240 – Bairro Seminário -CEP 80240-400 – Curitiba – Paraná
CNPJ : 01.509.200/000 -37 Inscrição Municipal: 17 09 475.535-5
Fone/Fax: (41) 3014-3053 – www.latam.com.br – e-mail: latam@latam.com.br



F-107_Rev.00