

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

RAFAEL SZPAK

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA EM FORMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO
SANITÁRIO PARA O MUNICÍPIO DE CASCAVEL**

**CASCAVEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

RAFAEL SZPAK

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA EM FORMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO
SANITÁRIO PARA O MUNICÍPIO DE CASCAVEL**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Engº Civil Esp. Nelson Muller Junior

**CASCAVEL - PR
2017**

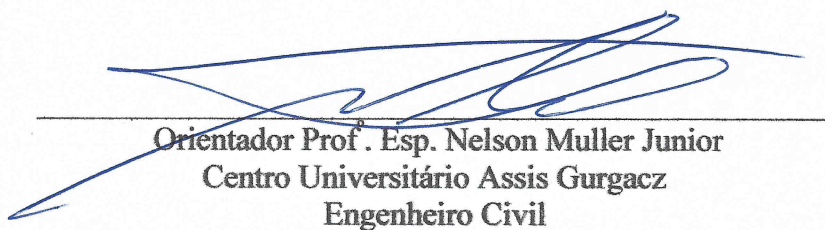
CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

RAFAEL SZPAK

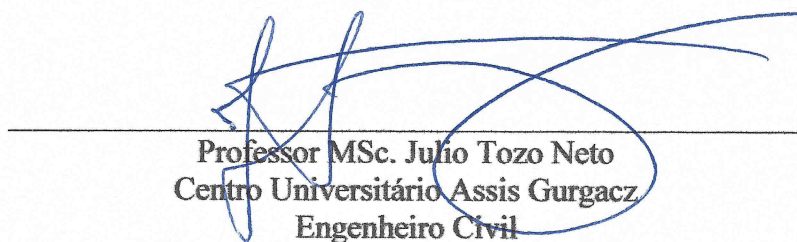
**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA EM FORMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO
SANITÁRIO PARA O MUNICÍPIO DE CASCAVEL**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **Esp. Nelson Muller Junior**.

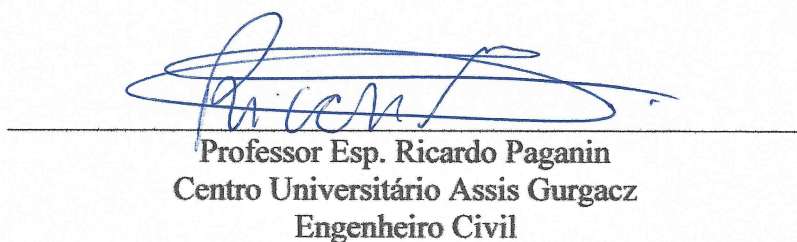
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Esp. Nelson Muller Junior
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professor MSc. Julio Tozo Neto
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professor Esp. Ricardo Paganin
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 08 de Junho de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meus pais, minha irmã e à minha namorada, pela paciência, apoio e também pelo amor incondicional depositado em mim.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso fosse possível, a tudo que aconteceu ao longo da minha vida, e não somente nestes anos de vida universitária, mas porque sempre foi o mestre que fez tudo acontecer.

Ao centro universitário Assis Gurgacz e principalmente à professora Débora Felten, com quem tive meu primeiro contato, auxiliando-me muito no processo de transferência entre as instituições, e que além do incentivo na vida acadêmica também prestou o auxílio psicológico quando se fez necessário.

Agradeço a todos os professores que me proporcionaram o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

Ao professor Nelson Muller Junior, meu orientador, pelo apoio e confiança, por ter disponibilizado seu tempo e paciência na realização desse trabalho, pois sem seu auxílio não seria possível realizá-lo com tamanho primor.

Agradeço à minha mãe e ao meu pai, primeiramente a vida, e também por todo o seu apoio e amor incondicional nessa longa jornada acadêmica. Sem o apoio dessas duas pessoas maravilhosas eu não teria conseguido superar todas as dificuldades que a vida me encaminhou. Sou muito grato pelas palavras de incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. À minha irmã sou grato por, sempre que possível, estar ao meu lado me incentivando e sendo um exemplo de dedicação e determinação.

À minha namorada, que ao longo de todos os anos de relacionamento, sempre esteve ao meu lado, nos melhores, como também nos piores momentos da minha vida, e mesmo assim sempre me dando todo o seu amor e carinho, forças para continuar a lutar pelos meus sonhos e objetivos. Foi quem muitas vezes trouxe clareza aos meus pensamentos me ajudando a desvendar os obstáculos da vida.

Enfim, a todos que fizeram direta ou indiretamente parte da minha formação e da minha vida, o meu muito obrigado.

EPÍGRAFE

“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza dos seus sonhos”

Eleanor Roosevelt

RESUMO

A eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário é um fator fundamental na escolha da forma mais adequada de se tratar o esgoto das cidades, dando a este um destino correto e não trazendo prejuízos à natureza e nem à população por ele atendida. O objetivo desse trabalho foi apresentar a eficiência teórica de sistemas de tratamento compostos por um reator UASB seguido de uma lagoa facultativa e outro que possua um reator UASB e um filtro biológico, também apresentando suas vantagens e desvantagens bibliográficas e operacionais. Os conceitos para os cálculos da eficiência dos sistemas foram elaborados através de metodologia de autores com grande respaldo na área de saneamento urbano no Brasil, como Eduardo Pacheco Jordão. Além disso, foi necessário realizar o dimensionamento de algumas das unidades de tratamento situadas nesse trabalho, já que só seria possível obter a eficiência do sistema com parâmetros obtidos através deste dimensionamento. O sistema composto de reator UASB e filtro biológico demonstraram-se teoricamente mais eficientes que o outro, porém, durante esse trabalho levantou-se inúmeros questionamentos sobre a viabilidade real de implantação desse sistema tendo em vista a falta da habilidade técnica para tal. No entanto, devido aos altos custos de desapropriação de áreas para a implantação de grandes lagoas facultativas, a alternativa que possui filtro biológico ainda mostrou-se mais atrativa para ser implantada no município de Cascavel – PR.

Palavras-chave: Eficiência; UASB; Filtro; Facultativa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Reator UASB ETE Norte Cascavel – Vista Geral	23
Figura 2: Vertedouro do reator UASB ETE Norte Cascavel.....	24
Figura 3: Queimador de gás metano produzido pelo reator UASB.....	24
Figura 4: Lagoa Facultativa ETE Norte Cascavel – Vista Geral.....	26
Figura 5: Vista aproximada lagoa facultativa ETE Norte Cascavel.....	26
Figura 6: Filtro biológico percolador ETE Melissa Cascavel	28
Figura 7: Carta climatológica do trimestre mais quente no Paraná.....	42
Figura 8: Carta climatológica do trimestre mais frio no Paraná.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo da tabela utilizada.....	38
Tabela 2: Vantagens, desvantagens e problemas operacionais do reator UASB.	46
Tabela 3: Vantagens, desvantagens e problemas operacionais da lagoa facultativa.	47
Tabela 4: Vantagens, desvantagens e problemas operacionais do filtro biológico.	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

EEEB - Estação Elevatória de Esgoto Bruto

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

IAPAR - Instituto Agrônomo do Paraná

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

NBR - Norma Brasileira

PCO - Planilha de Controle

PLANASA - Plano Nacional de Saneamento

RASO - Relatório de Análise de Situação Operacional

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SST - Sólidos Suspensos Totais

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

URCA - Unidade Regional de Cascavel

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	13
1.1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 JUSTIFICATIVA.....	14
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	15
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
CAPÍTULO 2	16
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.1 Saneamento no Brasil e no estado do Paraná.....	16
2.1.2 Sistema de esgotamento sanitário	18
2.1.3 Estações de tratamento de esgoto (ETE).....	20
2.1.4 Tipos de tratamento de esgoto	20
2.1.4.1 Reator UASB	22
2.1.4.2 Lagoa facultativa	25
2.1.4.3 Filtro biológico	27
2.1.4.4 Decantador	28
CAPÍTULO 3	29
3.1 METODOLOGIA	29
3.1.1 Informações básicas	29
3.1.2 Cálculo da concentração inicial da demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	29
3.1.3 Cálculo da eficiência do reator UASB	31
3.1.4 Análise de eficiência do sistema composto por reator UASB e filtro biológico	31
3.1.5 Análise de eficiência do sistema composto por reator UASB e lagoa facultativa.....	33
3.1.6 Vantagens e desvantagens dos sistemas.....	37
3.1.7 Vantagens e desvantagens operacionais dos sistemas	38
CAPÍTULO 4.....	39
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1.1 Eficiência dos sistemas de tratamento de esgotamento sanitário.....	39
4.1.1.1 Eficiência do reator UASB	40

4.1.1.2 Eficiência do sistema composto por reator UASB e filtro biológico	40
4.1.1.3 Eficiência do sistema composto por reator UASB e lagoa facultativa	42
4.1.2 Vantagens e desvantagens do sistema.....	45
CAPÍTULO 5.....	50
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
CAPÍTULO 6.....	52
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	52
REFERÊNCIAS	53
ANEXO A – RELATÓRIO DE ANÁLISE DA SITUAÇÃO OPERACIONAL	55
ANEXO B – PCO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	56
ANEXO C – QUESTIONÁRIO APLICADO AO GESTOR DA SANEPAR.....	57

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Existe atualmente uma grande preocupação em relação ao grau de tratamento e ao destino final do esgoto, as suas consequências para o meio ambiente, a qualidade das águas, e seus usos benéficos. Hoje, este é um assunto que chama a atenção não apenas dos engenheiros, especialistas e técnicos, mas igualmente das organizações ambientalistas e comunitárias e da sociedade (JORDÃO e PESSÔA, 2014).

No Brasil, o aumento constante da população e a melhora das condições de saneamento básico trouxeram um crescimento no consumo de água tratada. Com o aumento dessa demanda, foi necessário que cada vez mais investimentos no tratamento de esgoto (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Em Cascavel, Oeste do Paraná, a infraestrutura de saneamento básico se equipara à das principais cidades do país e do mundo. A cidade, com pouco mais de sessenta anos, já alcança níveis invejáveis, tanto no abastecimento público, quanto no sistema de coleta e tratamento de esgoto. A rede de coleta de esgoto atinge cerca de 91% da área de distribuição de água, e coleta diariamente cerca de cinquenta milhões de litros de dejetos, os quais são tratados e devolvidos à natureza (SANEPAR, 2016).

Para tratar o esgoto existem diversos tipos de procedimentos, um para cada tipo de situação ou necessidade. A recente evolução do tratamento anaeróbio fez com que o esgoto, e não apenas o lodo, pudesse ser tratado em unidades dimensionadas para tal fim. Há muitos anos que o tratamento anaeróbico de esgoto tem se firmado como uma solução clássica para a neutralização do lodo de efluentes domésticos, porém há pouco tempo que a biotecnologia anaeróbia foi implementada em tratamento de dejetos líquidos (JORDÃO e PESSÔA, 2014).

Segundo Jordão e Pessoa (2014), um dos procedimentos utilizados é o reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) ou reator anaeróbico de fluxo ascendente em manto de lodo, que é consolidado no tratamento de efluentes em municípios do estado do Paraná. Em Cascavel, utiliza-se o reator em várias formas de tratamento, no entanto, para a melhor aplicação dos mesmos, realizou-se a análise sobre qual dos modelos entre reator UASB seguido de lagoa facultativa e reator UASB seguido de filtro, possui maior eficiência para o tratamento de esgotos domésticos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a eficiência de um tratamento de esgoto sanitário de reator UASB e lagoa facultativa e um sistema que possua um reator UASB e filtro biológico para o município de Cascavel - PR.

1.2.2 Objetivos específicos

- Indicar a eficiência de um sistema de tratamento de esgoto com reator UASB e lagoa facultativa;
- Indicar a eficiência de um sistema de tratamento de esgoto com reator UASB e filtro biológico;
- Levantar quais são as vantagens e desvantagens operacionais para cada sistema.

1.3 JUSTIFICATIVA

O saneamento urbano é um fator de suma importância, que contribui para a saúde básica da população das cidades. No entanto, ainda é deficiente sua aplicação em regiões mais desfavorecidas financeiramente. A eficiência das unidades de tratamento é de extrema importância para a implantação do sistema, já que gera menores custos e um tratamento mais eficaz (SOUZA E VIEIRA, 1986).

Com a evolução da tecnologia, foram surgindo inúmeras formas de tratamento de esgoto para os efluentes domésticos, sendo possível ser escolhida a melhor forma de tratamento para cada região a ser atendida. Neste caso teórico de estudo de alternativas para tratamento da cidade Cascavel, observou-se a existência de várias formas diferentes de tratamentos implantadas no município, ficando evidente assim, uma não-padronização nas unidades de tratamento de esgoto.

Portanto, a identificação da forma mais eficaz de se tratar esgoto é de extrema valia para a comunidade, sendo possível, em futuras expansões ou implantações de novas estações

de tratamento, que se faça a melhor escolha, trazendo além de eficiência, economia na implantação.

O trabalho tem por finalidade demonstrar dentre duas possibilidades de tratamentos para o município de Cascavel - PR, qual das formas é mais eficiente para se tratar os resíduos gerados pela população, proporcionando, contudo, uma garantia de se realizar a escolha mais adequada para o tratamento.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Qual sistema de tratamento de esgoto, entre um composto por reator UASB e lagoa facultativa e outro contendo reator UASB e filtro biológico, é mais eficiente para o município de Cascavel- PR?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

O reator UASB e filtro biológico são sistemas com uma eficiência teórica elevada e possuem boa funcionalidade no tratamento de efluentes domésticos. Também se mostram vantajosos quando aplicados em áreas onde o custo dos espaços em que podem ser implantados é elevado, sendo assim o sistema mais viável.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho foi limitado ao cálculo da eficiência teórica de duas formas de tratamento de esgoto para o município de Cascavel – PR, no qual será utilizada uma parcela da população para a simulação das unidades de tratamento.

Também foi realizado o levantamento de unidades de tratamento implantadas no município, semelhantes às simuladas no trabalho para realizar o apontamento das principais vantagens e desvantagens, tanto teóricas como operacionais, na possível implantação destes tratamentos.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Saneamento no Brasil e no estado do Paraná

Saneamento é definido como uma série de medidas que tornam um local mais limpo, com melhores condições habitacionais e com impacto significativo na saúde de uma população. Constitui-se de infraestrutura necessária para o desenvolvimento apropriado de serviços como limpeza urbana, abastecimento de água potável, tratamento do esgoto sanitário, drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais. A Constituição Federal por meio da lei 11.445/2007 assegura como direito o acesso ao saneamento à sua população. No entanto, muitas cidades do país ainda carecem desse suporte básico (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2016).

O impacto da falta destes serviços é negativo, não só se tratando de saúde pública, já que estudos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) apontam que mais da metade das internações em crianças com menos de 10 anos de idade tem como justificativas doenças causadas pela falta de esgoto ou água limpa no local em que habitam. Este mesmo estudo demonstra que tais crianças têm uma redução de 18% no rendimento escolar em comparação com outras da mesma faixa etária (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2016).

Além disso, o prejuízo se estende também em relação ao índice de desenvolvimento do país, mensurado pela eficiência em educação, saúde, economia e preservação dos recursos naturais; todos estes abalados de alguma maneira pela ausência de saneamento. Sendo assim, um país considerado desenvolvido oferece este conjunto de medidas, que proporcionam, sobretudo, qualidade de vida à sua população (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2016).

Os investimentos em saneamento no Brasil ocorreram de forma mais incisiva nas décadas de 1970 e 1980 pelo setor público, quando se acreditava que o fornecimento de água tratada e a coleta de esgoto seriam fundamentais na redução da mortalidade. A partir de então, foi desenvolvido e consolidado o Plano Nacional de Saneamento (Planasa), que investiu e se preocupou em garantir o fornecimento de água potável, ao passo que não deu importância para a coleta e tratamento de esgoto (LOENETI, PRADO E OLIVEIRA, 2011).

Esse panorama continuava péssimo ainda no ano de 2006, em que sabidamente apenas 15% do esgoto sanitário gerado pelas grandes regiões urbanas eram tratados no país. A partir de então, o saneamento tem recebido maiores investimentos e atenção por parte dos governos, o que tem melhorado as perspectivas do setor no Brasil (LOENETI, PRADO E OLIVEIRA, 2011).

Um dos fatos impulsionadores para que houvesse esse aumento no interesse e nos investimentos para a coleta e tratamento de esgoto foi o desenvolvimento econômico vivenciado pela nação. A demanda industrial, somada ao estilo de vida dos brasileiros, tem demandado cada vez mais um volume maior de água necessária para o consumo. Entretanto, as reservas de água naturais estão cada vez mais escassas, e uma alternativa para suprir o aumento da demanda sem ter o aumento proporcional da oferta é o tratamento dos esgotos sanitários (LOENETI, PRADO E OLIVEIRA, 2011).

Nesse contexto, as políticas públicas nacionais estão trabalhando em prol da melhoria destes serviços. Isso é demonstrado em dados de pesquisa realizada pelo IBGE, em que 55.446.772 residências foram avaliadas em 2007 e foram comparadas com 36.957.963 consultadas em 2003. Um dos itens avaliados era a quantidade de domicílios com coleta de esgoto. Em 2007, esse número era de 28.905,709, um dado significativamente maior se comparado com 2003, quando esse valor era de 14.381,852. Esse dado é apenas uma amostra. Outros itens avaliados como abastecimento de água e coleta de lixo também evoluíram substancialmente em relação a 2003 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

No entanto, o Brasil ainda está longe do ideal. Levantamentos do Instituto Trata Brasil apostam que no ritmo observado, nem mesmo nos próximos vinte anos o país vivenciará a universalização do saneamento básico (TERA AMBIENTAL, 2016).

Dados mais recentes fornecidos pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2012 apontam que, em uma média nacional, apenas 48,3% da população tem coleta de esgoto e 38,7% acesso ao tratamento desse. Estes valores refletem a falta de investimento na área em uma escala que abrange as esferas federais, estaduais e municipais como responsáveis por tais índices (TERA AMBIENTAL, 2016).

Tratando-se do Estado do Paraná, desde 1951 a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) é a responsável por garantir a infraestrutura necessária e a prestação de serviços no estado. É uma empresa estatal, porém, com um sócio privado. Essa informação é de extrema relevância, pensando, sobretudo na cobertura dos serviços em municípios com menos de 20 mil habitantes, visto que os investimentos são onerosos, ao passo que os lucros são

pequenos nessas cidades menores, o que dificulta a igualdade de distribuição e fornecimentos de serviços para a população (NETO, 2013).

Hoje no Paraná, 52% dos domicílios são atendidos pela rede de coleta de esgoto, no entanto, não é efetivamente todo tratado. Apesar de os números mostrarem que esses serviços estão sendo ampliados para uma maior parcela de cidadãos paranaenses e mesmo tendo melhores índices de coleta e tratamento de esgoto se comparado com outros estados, ainda se faz necessário um maior investimento e melhorias técnicas para universalizar esses serviços (NETO, 2013).

Segundo a SANEPAR (2016), o sistema de esgotamento sanitário no estado é composto por 234 (duzentas e trinta e quatro) estações de tratamento de esgoto e atende cerca de 7,1 milhões de pessoas com o serviço de coleta e tratamento. Nos 345 (trezentos e quarenta e cinco) municípios onde a companhia está presente, cerca de 65% da população é atendida, ficando muito acima da média nacional.

Visto a importância do saneamento em todas as esferas de desenvolvimento de um país, é necessário que não apenas maiores investimentos sejam feitos no setor, mas também um melhor planejamento, para que seja desenvolvido de forma sustentável e sem prejuízos à natureza. Os investimentos serão posteriormente convertidos em menores gastos com saúde pública e a qualidade de vida da população brasileira sofrerá um impacto positivo em larga escala com a universalização do serviço (LOENETI, PRADO E OLIVEIRA, 2011).

2.1.2 Sistema de esgotamento sanitário

Esgoto é a palavra que caracteriza o que é despejado após diversos usos e origem das águas. O esgoto é classificado principalmente entre dois grupos: o esgoto sanitário, proveniente da utilização doméstica, e o esgoto industrial, que como seu próprio nome diz, é proveniente das indústrias (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Segundo a NBR 9648 de 1986, a definição de sistema de esgotamento sanitário é o conjunto de instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente o esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro.

Na maioria das vezes o sistema de esgotamento é concebido de três formas diferentes. Sendo primeiramente o sistema unitário, que tem seu uso proibido no Brasil, porém é utilizado em outras localidades do mundo onde o índice pluviométrico é menor que um terço

da média nacional. Sua vantagem é a construção de uma única tubulação, porém tem um alto custo para a implantação devido aos grandes diâmetros e dificuldades de implantação, já que essas captam tanto as águas pluviais como também os esgotos sanitários. O sistema misto, por sua vez, é projetado para receber as vazões dos esgotos e parte das águas de chuva, sendo limitada a coleta das águas nesse caso, através de dispositivos de barreira. Em alguns países, o sistema misto se dá por conta de ligações clandestinas de água pluvial ou esgoto na rede inadequada. No Brasil não é permitido implantar este tipo de sistema (FUNASA, 2015).

O terceiro tipo de sistema de esgotamento, que é predominante no Brasil, é o sistema separador. Como se pode imaginar pelo nome, as tubulações de esgoto e águas pluviais são completamente separadas. A principal vantagem do sistema é o seu baixo custo de implantação, que se deve ao menor volume de esgoto a ser tratado, o menor dimensionamento das tubulações de esgotamento e nem todas as ruas necessitam de rede de águas pluviais, diminuindo assim a extensão das mesmas. Porém, o maior problema desse sistema são ligações ilegais de águas pluviais à rede de esgoto, tornando-a, em parte, um sistema misto (FUNASA, 2015).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2009), as principais partes de um sistema de esgotamento sanitário são:

- Rede coletora: são as canalizações utilizadas para receber e conduzir o esgoto. Constitui-se da ligação do esgoto predial que se liga à rede coletora, onde se formam ramais. Estes por sua vez formam os troncos que são os coletores principais de uma bacia de atendimento de coleta;
- Interceptor: é a principal canalização que recebe os coletores em sua extensão, nessa tubulação não há ligações prediais;
- Estação elevatória de esgoto bruto (EEEB): são as instalações responsáveis pelo bombeamento do esgoto de regiões mais baixas para cotas mais altas;
- Emissário: é a tubulação responsável de levar o efluente até a estação de tratamento de esgoto, não recebe outros condutos ao longo da sua extensão;
- Estação de tratamento de esgoto (ETE): local onde se encontram as unidades responsáveis pelo tratamento do esgoto antes que este seja lançado de volta à natureza;
- Corpo receptor: é o corpo de água onde o esgoto, após passar pelo tratamento, é devolvido à natureza.

2.1.3 Estações de tratamento de esgoto (ETE)

A composição do esgoto sanitário é de 99% de água e cerca de 1% de material sólido. Assim as estações de tratamento de esgoto (ETE) são responsáveis pela remoção da parte sólida da água, tornando-a própria para a devolução à natureza. As estações que tratam efluentes domésticos que após passar pelo período de tratamento são lançadas em rios, córregos e lagoas, devem sempre atender a padrões de qualidade e do lançamento de efluentes, conformes as normas vigentes (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é o parâmetro mais utilizado para medir a quantidade de matéria orgânica no esgoto. Essa demanda mede a quantidade de oxigênio necessário para estabilizar a matéria orgânica do efluente. O grau de poluição do esgoto, fornecido pela DBO, é importante para o dimensionamento das estações de tratamento de esgoto e também para o conhecimento de sua eficiência (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

Os tipos de processos para o tratamento de esgoto são compostos por uma série de unidades, que possuem diferentes eficiências, essas são empregadas de forma que removam as substâncias indesejáveis ou transformem para substâncias dentro dos padrões de qualidade aceitáveis (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

2.1.4 Tipos de tratamento de esgoto

A forma mais preocupante de poluição do meio ambiente hoje é a poluição das águas, tendo em vista que essa é fundamental para a sobrevivência e desenvolvimento da sociedade (FOGAÇA, 2016).

Logo, a escolha correta do tipo de tratamento de esgoto é imprescindível para o sucesso da operação. A escolha é, principalmente, baseada no nível de eficiência desejado, a área disponível para a implantação do sistema, o custo, a complexidade da operação do processo, a produção e disposição de lodos e na dependência de insumos externos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Segundo Fogaça (2016), dos diversos tipos de tecnologias usadas para o tratamento de efluentes, pode-se resumir em três tipos: os tratamentos preliminares e ou primários, os secundários e os terciários. Ainda segundo o Ministério do Meio Ambiente (2009), estes podem ser sistemas complementares uns aos outros em uma estação de tratamento,

potencializando assim sua eficiência quando não há recursos para implantação de um sistema único de tratamento ou sua viabilidade não é compatível com o local de instalação.

O tratamento preliminar, e/ou primário, tem como objetivo a remoção de sólidos grosseiros e em suspensão no efluente. Sua principal função é evitar com que se acumulem esses materiais nas tubulações e unidades da ETE (MACHADO, 2014). De acordo com Fogaça (2016), são utilizados processos físicos ou químicos para a retirada desse material do esgoto, como por exemplo:

- Gradeamento – barreira física com barras espaçadas que permitem apenas a passagem da água para a próxima etapa de tratamento;
- Decantação – técnica de separação de sólidos, na qual se deixa a mistura em repouso para que em razão da densidade e gravidade, os sólidos se acumulem no fundo da unidade;
- Flotação – consiste em uma técnica físico-química na qual se adicionam bolhas de ar em uma suspensão, assim fazendo com que as partículas suspensas se juntem às bolhas sendo então arrastadas para a superfície, formando uma espuma que pode ser removida.

Na etapa do tratamento secundário, têm-se como principal função a degradação biológica de compostos carbonáceos. Sua ação se dá nos denominados reatores biológicos e seus processos podem ser anaeróbios, que não precisam de oxigênio, ou aeróbios, que precisam de oxigênio (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

Ainda segundo o Ministério do Meio Ambiente (2009), na maioria das estações já se alcança ótimos níveis de tratamento no estágio secundário, podendo já o efluente ser lançado no corpo receptor. Porém, o efluente do tratamento secundário ainda possui altos índices de nutrientes, como o fósforo e o nitrogênio. Quando estes nutrientes são lançados em demasia nos corpos receptores, estes podem causar o aparecimento de algas e cianobactérias nos leitos atingidos, o que pode acarretar em uma falta de oxigenação da água, causando a morte biológica do corpo hídrico.

Referente ao tratamento secundário, quando este não atinge os níveis necessários de remoção de fósforo e hidrogênio da água, é complementado pela instalação do sistema de tratamento terciário. Neste processo, é removido o nitrogênio através do processo de lodos ativados, e o fósforo é removido utilizando o sulfato de alumínio, cloreto férrico, ou outro coagulante, para sua remoção química. Ainda assim o tratamento terciário pode ser considerado para a desinfecção do efluente, processo no qual faz-se necessário sua aplicação.

São utilizados o cloro, ozônio e até mesmo radiação ultravioleta como meio de eliminação dos patógenos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

2.1.4.1 Reator UASB

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) foi uma tecnologia inicialmente desenvolvida para o tratamento de efluentes industriais concentrados. A utilização do reator para tratar o esgoto doméstico veio com a discussão de quais formas poderiam ser empregadas para o tratamento de efluentes em países em desenvolvimento. Com o desenvolvimento da técnica, sua primeira aplicação em escala real foi na cidade de Cali, na Colômbia. O sucesso da sua utilização em condições tropicais fez com que o método fosse difundido por outras regiões, como em Kanpur e Mirzapur, cidades às margens do rio Ganges, sendo que as unidades estão em funcionamento desde 1989 (FILHO, 2009).

No Brasil, a exemplo de outros países em desenvolvimento, a tecnologia dos digestores anaeróbios de fluxo ascendente para o tratamento de esgoto tem gerado bastante interesse. É fato que apenas uma pequena parcela do esgoto gerado em nosso país é tratada, visto que o alto custo nos processos de tratamentos tradicionais é responsável por parte da causa desse problema. Entretanto, quando falamos de tratamentos anaeróbios o custo é consideravelmente menor que outros sistemas, juntamente ao clima tropical que torna ainda mais atrativa a alternativa de se tratar os efluentes dessa maneira (SOUZA e VIEIRA, 1986).

O reator é formado por um tanque de fluxo ascendente onde os microrganismos se desenvolvem dispersos, não havendo a necessidade de material para o suporte, gerando flocos ou grânulos com alta resistência mecânica que ficam no interior do reator. Na superfície fica localizado um separador trifásico, onde é removido o gás produzido e sedimentado o lodo que retorna a câmara de digestão (RITA, 2002).

Segundo JORDÃO e PESSÔA (2014), a unidade é constituída na maioria dos casos por:

- Câmara de digestão: localizada na parte inferior do reator, onde está localizado o leito de lodo. É onde ocorre a digestão anaeróbia;
- Separador de fases: basicamente é um defletor de gases; este dispositivo separa a fase sólida, da líquida e gasosa;
- Zona de sedimentação: o esgoto emerge pelo acesso da parte inferior, onde alcança os vertedores de superfície que com uma velocidade adequada para a sedimentação dos detritos sólidos, fazem com que eles retornem a câmara de

digestão, sendo assim possível recolher a parte líquida na forma de efluente clarificado;

- Zona de acumulação de gás: o processo de digestão do esgoto faz com que ocorra a formação de gases, que são acumulados na parte superior onde podem ser recolhidos e utilizados para outros fins.

O projeto de um reator UASB para ser considerado bom deve resultar em efluente com eficiência de 65% de remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio), e de 70% de remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Quando tratamos esgoto doméstico, o efluente deve apresentar uma concentração máxima de DBO menor que 120 mg/l e de SST (Sólidos Suspensos Totais) menor que 80mg/l. Estes parâmetros são largamente influenciados pelo tempo de detenção hidráulico que deverá estar entre 6 a 10 horas (JORDÃO e PESSÔA, 2014).

Figura 1: Reator UASB ETE Norte Cascavel – Vista Geral



Fonte: Autor (2017)

Figura 2: Vertedouro do reator UASB ETE Norte Cascavel



Fonte: Autor (2017)

Figura 3: Queimador de gás metano produzido pelo reator UASB



Fonte: Autor (2017)

2.1.4.2 Lagoa facultativa

No meio ambiente, quando há a transformação de matéria orgânica como proteínas, glicídios, entre outras, em moléculas mais simples, como gás carbônico e água, afirma-se que houve o processo de estabilização ou mineralização da matéria orgânica. Os principais responsáveis pela mineralização de matéria orgânica são as bactérias e fungos, denominados organismos heterótrofos. Estes microrganismos buscam em substâncias em processo de decomposição sua fonte de energia para a realização dos processos essenciais para sua manutenção, como a respiração e síntese, que demandam uma quantidade de oxigênio. Contudo, os vegetais e os microrganismos autótrofos (algas) são os responsáveis pela utilização das substâncias simples citadas anteriormente para transformá-las novamente em substâncias complexas, consumindo gás carbônico e gerando oxigênio. Este processo ocorre naturalmente quando a matéria orgânica é jogada em um corpo de água (NUVOLARI, 2011).

Segundo Nuvolari (2011), as primeiras lagoas estabilizadas que surgiram no Brasil foram por volta dos anos de 1960, com as lagoas de São José dos Campos em São Paulo.

A lagoa facultativa é caracterizada por ser composta de uma zona aeróbia superior, onde os mecanismos que estabilizam o composto orgânico são a oxidação aeróbica e redução fotossintética, e por uma zona anaeróbia no fundo da lagoa, onde ocorre a fermentação anaeróbia. A região entre essas duas camadas é chamada de facultativa (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

É importante lembrar que até pouco tempo atrás as lagoas facultativas eram denominadas lagoas aeróbias, porém já é convencionalizado que é praticamente impossível que naturalmente ocorra apenas o processo aeróbio em uma lagoa.

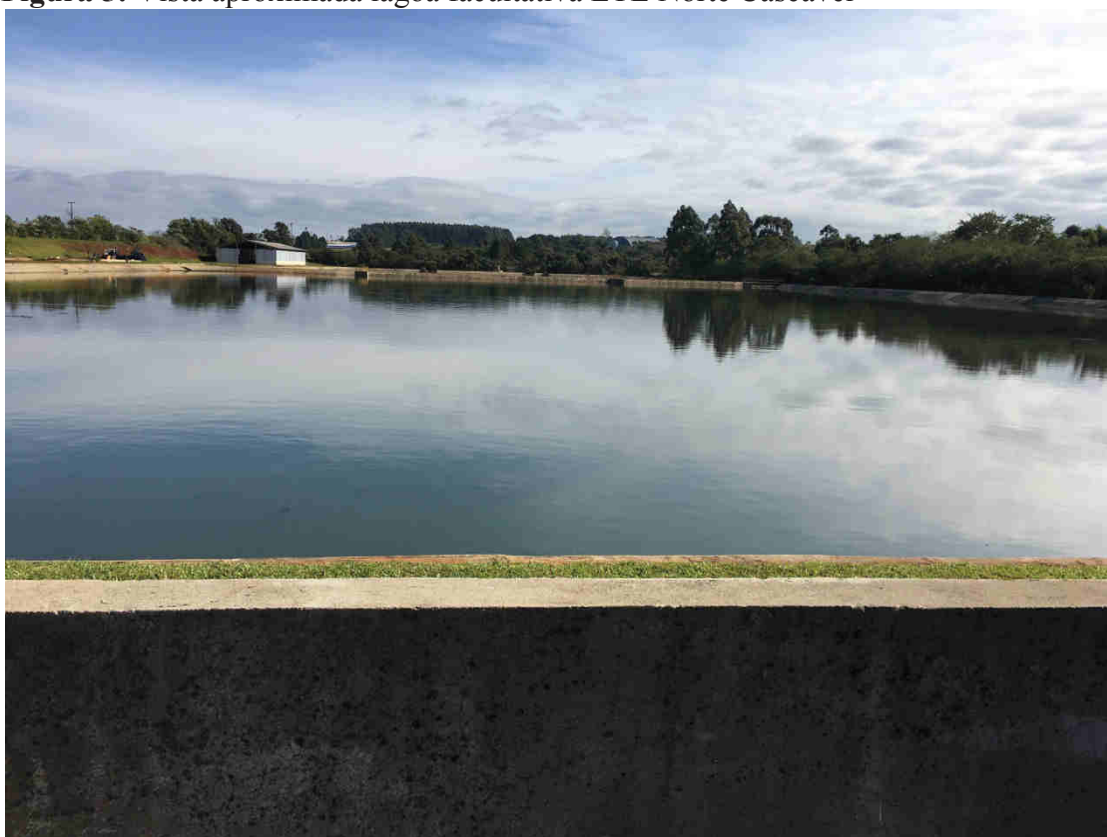
Nessa forma de lagoa, as bactérias aeróbias degradam a matéria orgânica solúvel, consumindo o oxigênio disponível na água e resultando nos subprodutos (água e gás carbônico). Já por sua vez, as algas consomem os nutrientes e o gás carbônico, e utilizando a energia solar realizam a fotossíntese, liberando assim o oxigênio. O material que sedimenta durante o processo, vai para o fundo e sofre a decomposição anaeróbia, desse processo é gerado o gás natural, que é formado em 30 a 40% de gás carbônico e 60 a 70% por gás metano, também se formam outros gases em menor proporção como o gás sulfídrico. O gás carbônico formado se solta do lodo formado no fundo da lagoa e chegando a superfície é consumido pelas algas. Já os demais gases são oxidados pelo alto nível de oxigênio na massa líquida, e assim se encerra um ciclo dentro da lagoa estabilizada (NUVOLARI, 2011).

Figura 4: Lagoa Facultativa ETE Norte Cascavel – Vista Geral



Fonte: Autor (2017)

Figura 5: Vista aproximada lagoa facultativa ETE Norte Cascavel



Fonte: Autor (2017)

2.1.4.3 Filtro biológico

A filtração biológica iniciou sua utilização na Inglaterra em 1897. No Brasil, em 1910 foi construída a ETE Paquetá, no Rio de Janeiro, onde o tratamento secundário foi constituído de filtro biológico (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

Segundo Jordão e Pessôa (2014), no começo as unidades de filtro biológico eram construídos de tanques, cheios de pedras, nos quais os efluentes eram retidos por algum tempo, estabelecendo o processo de esvaziamento e enchimento da unidade. As unidades da época eram limitadas da sua capacidade, pois a rápida ocupação dos espaços vazios e ciclos operacionais contínuos tornavam o processo lento. Com o tempo foram sendo desenvolvidos os filtros de fluxo contínuo que aumentaram a capacidade de filtração destes, através de uma distribuição contínua do esgoto.

Os leitos percoladores, que de forma incorreta são chamados de filtros biológicos, são formados de uma extensa camada de material altamente permeável, por onde o efluente que necessita de tratamento penetra o filtro no sentido vertical, ou seja, de cima para baixo. No material que preenche esse leito começa a formação de uma película ou massa biológica, que formada por microrganismos começa a decomposição da matéria orgânica a ser retirada (NUVOLARI, 2011).

De acordo com Jordão e Pessôa (2014), os filtros biológicos são constituídos dos seguintes componentes:

- Mecanismo de distribuição do esgoto – que é um sistema de canalização constituído de aspersores que são alimentados intermitentemente por uma câmara de dosagem que garante distribuição uniforme do efluente;
- Meio suporte – material que constitui uma massa de sólidos, que depositada no tanque tem a finalidade de agregar a biomassa. Esta, que em condições adequadas, desenvolve as reações bioquímicas responsáveis pelo processo;
- Sistema de drenagem do efluente – sistema responsável pelo escoamento contínuo do esgoto já tratado pela unidade, geralmente formado de blocos ou calhas pré-moldadas em concreto e encontra-se disposto em todo o fundo do filtro.

Figura 6: Filtro biológico percolador ETE Melissa Cascavel



Fonte: SANEPAR (2017)

2.1.4.4 Decantador

A decantação consiste no ato de separar, por meio da gravidade, os sólidos sedimentáveis contidos em uma solução líquida. Os sólidos então sedimentam para o fundo do decantador, onde o efluente, livre dos sólidos, escoar pelo vertedouro. Os decantadores possuem as dimensões especificadas de acordo com a taxa de escoamento superficial que são empregadas, o tipo e as características do efluente. A norma brasileira, recomenda que o dimensionamento dos decantadores ocorram com uma taxa inferior à de $24 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e sua profundidade seja maior que 3,50 metros (NUVOLARI, 2011).

Os decantadores podem ser construídos de diversas formas. Também possuem diferentes dimensões e vazões, onde tudo dependerá da utilização dele. Existem, por exemplo, os decantadores mecanizados, que removem o lodo acumulado no fundo da unidade de forma mecânica, e outros como os que realizam a aplicação do efluente da parte baixa da unidade, gerando assim o processo de floculação nos sólidos do efluente (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Este trabalho analisou qual sistema de tratamento de esgoto, entre reator UASB seguido por lagoa facultativa e reator UASB e filtro biológico, é o mais eficiente para o município de Cascavel - PR. A comparação das alternativas neste trabalho foi desenvolvida através dos indicadores de eficiência teórica de cada unidade.

3.1.1 Informações básicas

Para a realização deste trabalho, inicialmente foi necessária a mensuração da população que será atendida por esse tratamento de esgoto. Esse dado encontra-se apresentado no “Relatório de Análise da Situação Operacional” (RASO) que é disponibilizado para consulta na Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), na unidade regional Cascavel (URCA). No entanto, como o município possui uma grande população atendida pela companhia, será utilizada parte desta população no desenvolvimento dos cálculos, já que este fator não é determinante para a eficiência da unidade de tratamento.

Também foi necessário o emprego de mapas climatológicos da cidade para a obtenção das temperaturas médias que serão usadas para a realização dos critérios de eficiência e dimensionamento dos sistemas. O Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) disponibiliza em seu site os mapas referentes às temperaturas médias do estado.

A partir dessa coleta de dados e análise das temperaturas médias do município, foram usados os métodos que seguem para a análise da eficiência de cada um dos sistemas propostos neste trabalho.

3.1.2 Cálculo da concentração inicial da demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

O cálculo da concentração inicial da DBO é fator fundamental para obter os valores de eficiência de algumas unidades de tratamento de esgoto.

Inicialmente, para a obtenção desse valor, foi necessário o cálculo da vazão média de água utilizada pela população e a carga de DBO. Estes valores são obtidos através das Equações 1 e 2.

$$Q_{\text{média}} = P \times \frac{q}{86400} \times C \quad (1)$$

Onde:

$Q_{\text{média}}$ – Vazão Média (L/s);

P – População atendida;

q – Consumo per capita (L/hab. dia);

C – Coeficiente de retorno.

$$DBO = \frac{P \times c}{1000} \quad (2)$$

Onde:

DBO – Carga de DBO (Kg/dia);

P – População atendida;

c – Carga orgânica por habitante (A SANEPAR utiliza em nossa região os valores referência de 54 até 65 g. DBO hab/dia).

De posse destes dados, foi possível o cálculo de concentração inicial da DBO com a Equação 3.

$$\text{Concentração}_{\text{DBO}} = \frac{DBO \times 1000}{Q_{\text{média}} \times 86,40} \quad (3)$$

Onde:

Concentração DBO – Concentração inicial DBO (mg/L);

DBO – Carga de DBO (Kg/dia);

$Q_{\text{média}}$ – Vazão média (L/s).

3.1.3 Cálculo da eficiência do reator UASB

A estimativa da eficiência do reator foi calculada a partir da Equação 4, que permite estimar a eficiência do reator operando em uma faixa de temperatura, em função do tempo de detenção hidráulica:

$$E=100\times(1-0,70\times t^{-0,50}) \quad (4)$$

Onde:

E – Eficiência do reator UASB (%);

t – Tempo de detenção hidráulica (h);

0,70 – Constante empírica;

0,50 – Constante empírica.

De posse da porcentagem de eficiência do reator obteve-se o valor da concentração de DBO após o efluente passar pelo processo de tratamento no UASB, diminuindo o valor da concentração de DBO obtido da eficiência pela concentração de DBO inicial. Este valor de concentração de DBO, que a partir de agora será denominado DBO_{uasb}. Será equivalente para ambos os sistemas analisados neste trabalho, tendo em vista que estes métodos utilizam o reator UASB como fonte primária de tratamento do esgoto.

3.1.4 Análise de eficiência do sistema composto por reator UASB e filtro biológico

Neste sistema de tratamento de esgoto, foi necessário o dimensionamento do filtro biológico para a obtenção de sua eficiência. O método de dimensionamento escolhido para a elaboração do trabalho são os parâmetros recomendados por Jordão e Pessoa (2014), requisitos estes usados pela SANEPAR no dimensionamento de suas unidades. As informações obtidas pelo método serão, por exemplo, a altura meio suporte, DBO afluente ao filtro, carga de DBO média afluente ao filtro e volume de enchimento.

Inicialmente, foi necessário o cálculo da vazão máxima do sistema que é realizado através da Equação 5.

$$Q_{\text{máxima}} = P \times \frac{q}{86400} \times C \times k_1 \quad (5)$$

Onde:

$Q_{\text{máxima}}$ – Vazão máxima (m³/dia);

P – População atendida (hab);

Q – Consumo per capita (L.hab.dia);

C – Coeficiente de retorno;

k_1 – Coeficiente de segurança (Valor estipulado pela SANEPAR).

O dimensionamento do filtro biológico iniciou-se através da Equação 6. Onde foi possível obter o valor da carga de DBO média afluente ao filtro.

$$\text{CargaDBOmédia} = (1 - 0,65) \times \text{CargaDBO} \quad (6)$$

Onde:

CargaDBOmédia – Carga de DBO média afluente do filtro (Kg DBO/dia);

CargaDBO – Carga DBO sistema (Kg DBO/dia).

Gerados os resultados, foram utilizados parâmetros que são adotados pela SANEPAR em seus dimensionamentos. Tais parâmetros foram a carga volumétrica (CV) que tem o valor de 0,59 KgDBO/m³ dia, por se tratar de um filtro que utiliza anéis de plástico e a altura de enchimento do filtro que é de 2,50 metros, também conforme a companhia.

De posse dessas informações foi possível obter o volume necessário de enchimento e a área do filtro, através das Equações 7 e 8.

$$\text{Venchimento} = \frac{\text{CargaDBOmédia}}{\text{CV}} \quad (7)$$

Onde:

Venchimento – Volume necessário de enchimento (m³);

CargaDBOmédia – Carga de DBO media afluyente do filtro (Kg DBO/dia);

CV – Carga volumétrica (KgDBO/m³.dia).

$$A_{\text{filtro}} = \frac{V_{\text{enchimento}}}{a_{\text{enchimento}}} \quad (8)$$

Onde:

A_{filtro} – Área do filtro (m²);

$V_{\text{enchimento}}$ – Volume necessário de enchimento (m³);

$a_{\text{enchimento}}$ – Altura de enchimento do filtro (m).

Diante disso, a verificação da eficiência do filtro é calculada de acordo com a Equação 9:

$$E_1 = \frac{1}{1 + 0,443 \sqrt{\frac{w}{V \times F}}} \quad (9)$$

Onde:

E_1 – Eficiência em termos de redução de DBO (%);

w – Carga orgânica aplicada em Kg/dia;

V – Volume de enchimento em m³;

F – Fator de recirculação.

Para a verificação da eficiência do sistema de tratamento, foi necessário que a DBO_{uasb} fosse subtraída da parcela da concentração de DBO calculada pela eficiência do filtro biológico, gerando uma concentração final de DBO. Assim, quando comparada a concentração inicial de DBO com a concentração ao final do tratamento, foi possível obter a eficiência total do sistema.

3.1.5 Análise de eficiência do sistema composto por reator UASB e lagoa facultativa

O critério para a análise da eficiência desse sistema será semelhante ao anterior, porém, para serem obtidos valores mais precisos, foi necessário o dimensionamento da lagoa

facultativa para esse exemplo proposto. A metodologia que será aplicada nesse sistema foi obtida através de critérios propostos por Jordão e Pessôa (2014) e Von Sperling (1996), que são utilizados em paridade para a obtenção do dimensionamento final.

Para início do dimensionamento foi necessário a obtenção da temperatura do líquido, que foi obtido através da Equação 10.

$$\text{Temp,liquido} = 12,7 + 0,54 \times \text{Tar} \quad (10)$$

Onde:

Temp,liquido – Temperatura do líquido (°C);

Tar – Temperatura do ar na região (°C).

Com a obtenção desse valor foi possível estimar os parâmetros necessários para o dimensionamento da lagoa, obtendo-se os valores referentes a DBO afluente a ela. Nessa etapa chegou-se aos valores da carga de DBO, taxa de aplicação superficial e área requerida para a lagoa. Estes dados foram calculados através das equações 11, 12 e 13.

$$L = \frac{\text{DBOuasb} \times \text{Qmédia}}{1000} \quad (11)$$

Onde:

L – Carga de DBO afluente (Kg.DBO/dia);

DBOuasb – Concentração de DBO afluente (mg/L);

Qmédia – Vazão Média (m³/dia).

$$L_s = 350 \times [(1,107 - 0,002 \times T)^{T-25}] \quad (12)$$

Onde:

Ls – Taxa de aplicação superficial (Kg.DBO/ha.dia);

T – Menor temperatura do líquido (°C).

$$A = \frac{L}{L_s} \quad (13)$$

Onde:

A – Área requerida para a lagoa (m²);

L – Carga de DBO afluente (Kg.DBO/dia);

Ls – Taxa de aplicação superficial (Kg.DBO/ha.dia).

Que por fim, através da equação 14, calcula-se a área superficial requerida para a lagoa.

$$A_s = \frac{A}{2} \quad (14)$$

Onde:

A_s – Área superficial requerida para a lagoa (m²)

A – Área requerida para a lagoa (m²).

Com o valor da área superficial da lagoa facultativa pode-se estimar suas dimensões como seu comprimento, largura e comprimento de talude. Definidos os valores de dimensões da lagoa calculou-se a área média, volume da lagoa, tempo de detenção e coeficiente de remoção de DBO. Estes valores foram obtidos através das equações 15, 16, 17 e 18.

$$A = 2 \times [(L - C_t) \times (C - C_t)] \quad (15)$$

Onde:

A – Área média da lagoa (m²);

L – Largura da lagoa (m);

C – Comprimento da lagoa (m);

C_t – Comprimento do talude (m).

$$V = A \times h \quad (16)$$

Onde:

V – Volume da lagoa (m³);

A – Área média da lagoa (m²);

h – Profundidade da lagoa (m).

$$t = \frac{V}{Q} \quad (17)$$

Onde:

t – Tempo de detenção (dias);

V – Volume da lagoa (m³);

Q – Vazão média (m³/dia).

$$K = 0,091 + (2,05 \times 10^{-4}) \times L_s \quad (18)$$

Onde:

K – Coeficiente para remoção de DBO (d⁻¹);

L_s – Taxa de Aplicação superficial (Kg.DBO/ha.dia).

Contudo, para que fosse possível obter a eficiência da unidade foi necessária à estimativa de valores da DBO efluente a lagoa. Com isso foi determinado os valores da estimativa de DBO solúvel efluente, também a estimativa de DBO particulada efluente e por fim a DBO total efluente, sendo utilizadas as equações 19, 20 e 21 para obtenção de tais valores.

$$S = \text{concentração DBO afluente} \times e^{-k \times t} \quad (19)$$

Onde:

S – Estimativa de DBO solúvel efluente (mg/l);

Concentração DBO afluente – Concentração da DBO afluente a lagoa (mg/l);

k – Coeficiente para remoção de DBO (d⁻¹);

t – Tempo de detenção (dias).

$$DBO_{part} = DBO_{gerada} \times \text{Parcela de sólidos} \quad (20)$$

Onde:

DBO_{part} – Estimativa de DBO particulada efluente (mg.DBO/L);

DBO_{gerada} – DBO gerada pelos sólidos (mg.DBO/mg.SS). Esse valor é o de referência utilizado pelo autor;

Parcela de sólidos – Parcela de sólidos (%). Valor de referência utilizado pelo autor.

$$DBO_{total} = S + DBO_{part} \quad (21)$$

Onde:

DBO_{total} – DBO total efluente (mg/L);

S – Estimativa de DBO solúvel efluente (mg/L);

DBO_{part} – Estimativa de DBO particulada efluente (mg/L).

Todos os resultados apresentados pelo dimensionamento foram fundamentais para que posteriormente fosse possível calcular a eficiência da lagoa facultativa. O cálculo da eficiência foi obtido através da Equação 22.

$$E = \frac{DBO_{uasb} - DBO_{total\ efluente}}{DBO_{uasb}} \times 100 \quad (22)$$

Onde:

E – Eficiência da lagoa (%);

DBO_{uasb} – Concentração de DBO ao final do reator UASB (mg/L);

DBO_{total\ efluente} – Concentração de DBO ao final da lagoa facultativa (mg/L).

Da mesma forma que anteriormente, para obter a eficiência total do sistema foi necessária a comparação entre a concentração inicial da DBO e a concentração da DBO ao final do processo do tratamento.

3.1.6 Vantagens e desvantagens dos sistemas

Esse trabalho objetivou a verificação das principais características dos sistemas de tratamento de esgoto, por meio dos registros fotográficos das unidades existentes e utilizou da planilha exemplificada, para comparar tanto as vantagens, desvantagens e problemas operacionais apontadas em bibliografia, como também as operacionais para as unidades existentes semelhantes às simuladas.

Tabela 1: Exemplo da tabela utilizada.

Vantagens	Desvantagens	Problemas Operacionais

Fonte: Autor (2017).

3.1.7 Vantagens e desvantagens operacionais dos sistemas

Com o intuito de apresentar as vantagens e desvantagens operacionais dos sistemas, foi entrevistado o químico que é o gestor das estações de tratamento de esgoto da SANEPAR na unidade regional de Cascavel. Sendo assim, com seu conhecimento e vivência prática o mesmo pode apontar quais são as vantagens e desvantagens operacionais de cada sistema. Nessa etapa serão aplicados os seguintes questionamentos sobre as unidades de tratamento de esgoto.

Questão 1 – Há quantos anos é gestor das estações de tratamento de esgoto da SANEPAR?

Questão 2 – Quais são os tipos de tratamentos de esgoto que se encontram em operação no município de Cascavel?

Questão 3 – Quais as vantagens e desvantagens da implantação de um reator UASB? E quais são as vantagens e desvantagens operacionais deste?

Questão 4 – Quais as vantagens e desvantagens de implantação de uma lagoa facultativa? E quais são as vantagens e desvantagens operacionais da mesma?

Questão 5 – Quais as vantagens e desvantagens de implantação de um filtro biológico? E quais são as vantagens e desvantagens operacionais do equipamento?

Questão 6 – Quando acumulados duas formas de tratamento se acrescenta a alguma desvantagem ou vantagem na operação do sistema?

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Eficiência dos sistemas de tratamento de esgotamento sanitário

Os dados utilizados no dimensionamento das unidades dos sistemas propostos foram obtidos através do relatório de análise da situação operacional (RASO), disponível no Anexo A, da estação de tratamento de esgoto Bezerras, situada no município de Cascavel – Pr. Para o ano de 2017 estimou-se no relatório que a população atendida seria de aproximadamente 36.863 pessoas, a taxa de consumo per capita na região é de 169,92 l.hab.dia. O coeficiente de retorno utilizado nos cálculos é de 0,80, parâmetro esse utilizado pela SANEPAR em seus dimensionamentos.

De posse destes dados foi dado início ao cálculo da concentração inicial da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), inicialmente obteve-se a vazão média e a carga de DBO, através das equações 1 e 2.

$$Q_{\text{média}} = 36863 \times \frac{169,92}{86400} \times 0,80 \quad (1)$$

Dessa forma, concluiu-se que a vazão média para a população atendida é de 58 l/s.

Para a carga de DBO é necessário o parâmetro da carga orgânica por habitante. A SANEPAR, em suas diretrizes, afirma que os valores de referência na região de Cascavel ficam entre 54 e 65 g. DBO hab/dia. A partir disso, por meio de uma média simples entre esses dados, obteve-se o valor de 59 g. DBO hab/dia que será então utilizado no cálculo referente à carga de DBO.

$$DBO = \frac{36863 \times 59}{1000} \quad (2)$$

O resultado da carga de DBO foi de 2174,91 kg/dia. Sendo assim, através da equação 3, foi possível realizar o cálculo da concentração inicial de DBO.

$$\text{Concentração}_{\text{DBO}} = \frac{2174,91 \times 1000}{58 \times 86,40} \quad (3)$$

Diante disso, a concentração inicial de DBO foi de 434 mg/l.

4.1.1.1 Eficiência do reator UASB

Para a elaboração da eficiência dos sistemas de tratamento de esgoto propostos nesse trabalho, o reator UASB, unidade comum aos tipos de tratamento, também teve sua eficiência calculada. Segundo Jordão e Pessoa (2014), a eficiência do UASB é na ordem de 70% para remoção de DBO, resultando em um efluente com DBO inferior a 120 mg/l. Porém, a eficiência é fortemente influenciada pelo tempo de detenção, esse, por sua vez, é influenciado pela temperatura, sendo que, para valores entre 21 e 25 °C possui um tempo de detenção maior ou igual a 7 horas. Assim, de posse desses dados, utilizando a equação 4, foi possível chegar à eficiência teórica do reator UASB.

$$E=100 \times (1 - 0,70 \times 7^{-0,50}) \quad (4)$$

A eficiência do reator UASB ficou em torno de 73,5%. Em vista que a concentração inicial de DBO afluente ficou em 434mg/l, constatou-se que a concentração de DBO efluente ao reator, DBO_{uasb} , foi de 115,01 mg/l.

4.1.1.2 Eficiência do sistema composto por reator UASB e filtro biológico

De posse dos valores obtidos anteriormente, iniciou-se a análise das eficiências dos sistemas compostos por reator UASB e filtro biológico e também de reator UASB e lagoa facultativa. A princípio, foi obtida a eficiência do primeiro sistema nomeado anteriormente, e neste sistema foi necessário realizar o dimensionamento do filtro biológico. O dimensionamento foi realizado por parâmetros recomendados por Jordão e Pessoa (2014). Iniciou-se o dimensionamento obtendo-se os valores da vazão máxima e carga de DBO média efluente ao filtro, através das equações 5 e 6.

$$Q_{\text{máxima}} = 36863 \times \frac{169,92}{86400} \times 0,80 \times 1,20 \quad (5)$$

Resultando em uma vazão máxima de 69,6 l/s ou 6013,4 m³/dia.

$$\text{Carga}_{DBO\text{média}} = (1 - 0,65) \times 2174,9 \quad (6)$$

Obtendo-se uma carga de DBO média afluente ao filtro de 761,21 kg DBO/dia.

Utilizando os parâmetros recomendados pela SANEPAR, utilizou-se das equações 7 e 8 para obter-se os valores do volume necessário de enchimento e a área do filtro.

$$V_{\text{enchimento}} = \frac{761,21}{0,59} \quad (7)$$

O volume necessário de enchimento foi de 1290,1 m³.

$$A_{\text{filtro}} = \frac{1290,1}{2,50} \quad (8)$$

Assim chegou-se a uma área do filtro de 516 m². Portanto o diâmetro do filtro é igual a 25,63 metros, apesar de teórico por questões construtivas será adotado o diâmetro de 26 metros. Com esse novo diâmetro estabelecido foi necessário o cálculo da área do filtro novamente e do novo volume de enchimento do filtro.

$$A_{\text{filtro}} = \frac{\pi \times 26^2}{4}$$

Resultando em uma área recalculada do filtro de 530,9 m².

$$V_{\text{enchimento}} = 530,9 \times 2,50$$

Obteve-se então, o volume de enchimento recalculado de 1327,32 m³.

Com o dimensionamento do filtro realizado foi possível aplicar a equação 9, da eficiência do filtro, conseguindo assim seu valor.

$$E_1 = \frac{1}{1 + 0,443 \sqrt{\frac{761,21}{1327,32 \times 1}}} \quad (9)$$

O filtro atingiu uma eficiência teórica de aproximadamente 74,87%. Com isso, tem-se uma eficiência para o sistema reator UASB e filtro biológico igual a 93,34%, obtendo-se

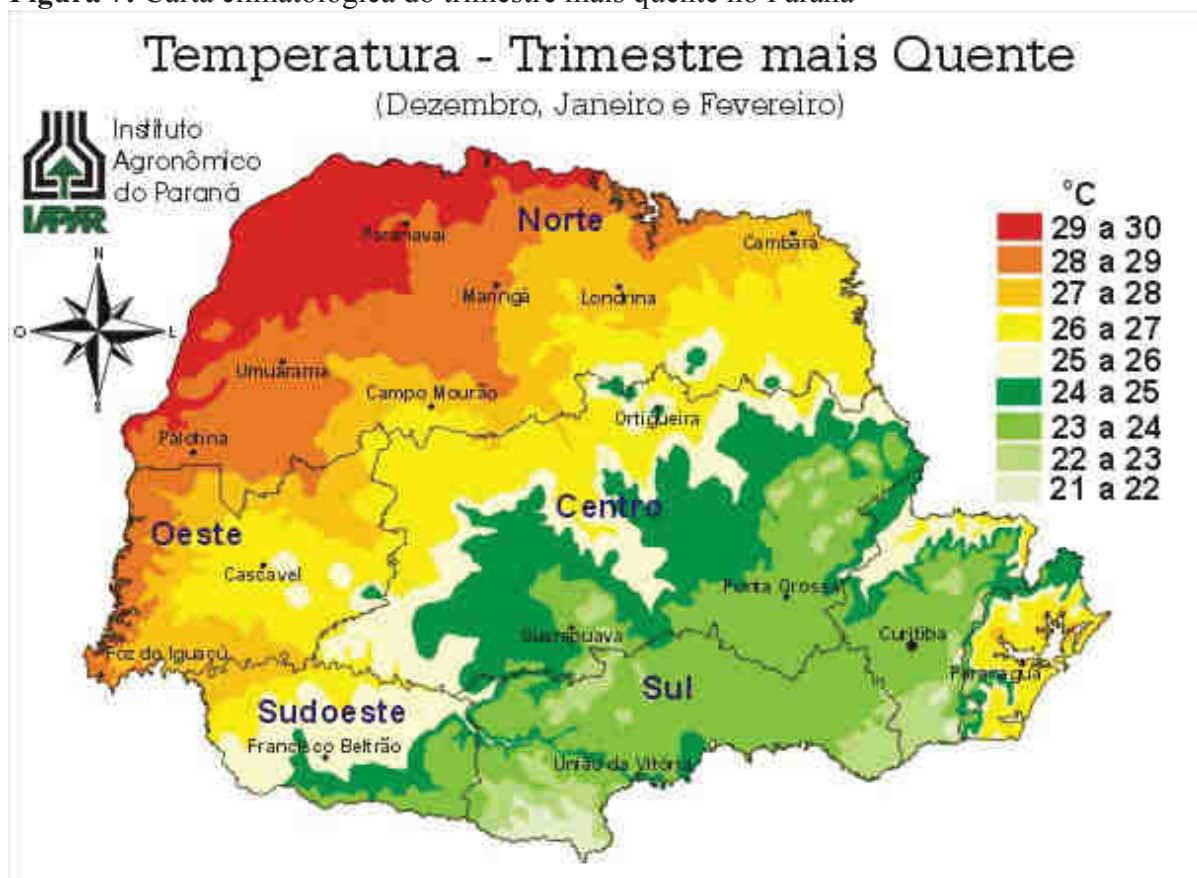
então o valor de 28,9 mg/l para a concentração de DBO no efluente final, ficando inferior ao limite máximo de 90 mg/l.

4.1.1.3 Eficiência do sistema composto por reator UASB e lagoa facultativa

Para a verificação da eficiência do sistema de tratamento de esgoto composto por reator UASB e lagoa facultativa é necessário o dimensionamento da lagoa facultativa. Para isso, é preciso que primeiramente se realize o levantamento da temperatura média mais fria do ano e da temperatura média mais quente da região onde se pretende implementar o sistema. Em Cascavel, para a obtenção destes dados foi realizada consulta digital ao site do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), onde foram obtidas as cartas climatológicas do estado do Paraná.

Em referência ao trimestre mais quente, pode se visualizar na figura 7, que a temperatura média mais elevada para a região de Cascavel é de 27 °C.

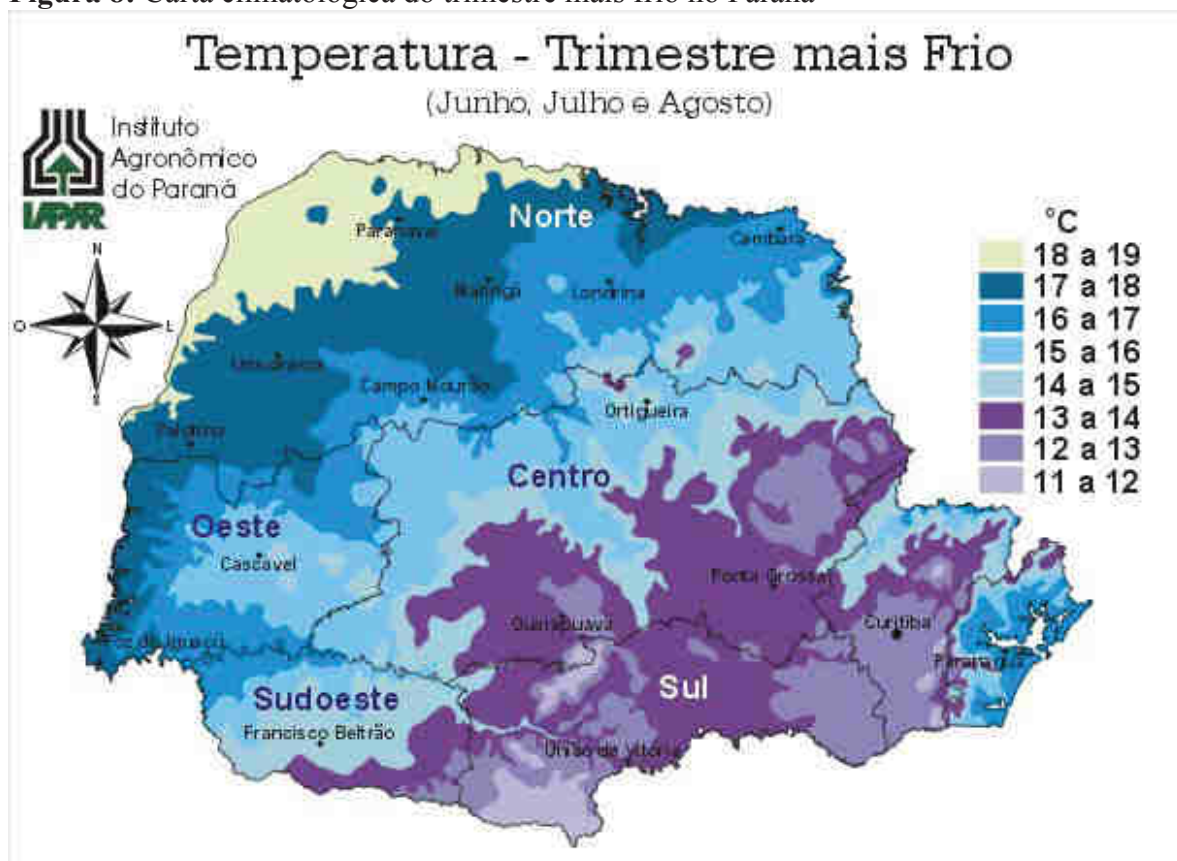
Figura 7: Carta climatológica do trimestre mais quente no Paraná



Fonte: IAPAR (2017)

Conforme a figura 8, para o trimestre mais frio, observa-se que a temperatura média mais baixa na região de Cascavel é de 16 °C.

Figura 8: Carta climatológica do trimestre mais frio no Paraná



Fonte: IAPAR (2017)

Assim, seguindo os critérios de Jordão e Pessoa (2014) e Von Sperling (1996), pode-se dar início ao dimensionamento da lagoa facultativa. Os parâmetros recomendados pelos autores para o dimensionamento é de que profundidade da lagoa fique em 2,00 metros e que seu talude tenha uma relação de 1:2.

O primeiro parâmetro do dimensionamento é a obtenção da temperatura do líquido para as menores temperaturas quanto para as maiores temperaturas, assim aplicando-se a equação 10, obteve-se que a temperatura do líquido no inverno é de 21,34 °C e no verão de 27,78 °C.

Então se calculou os valores referentes à DBO afluente a lagoa, utilizando as equações 11 e 12.

$$L = \frac{115,01 \times 5011,2}{1000} \quad (11)$$

Resultando em uma carga de DBO (L) afluyente de 576,33 kg.DBO/dia.

$$L_s = 350 \times [(1,107 - 0,002 \times 16)^{16-25}] \quad (12)$$

Obtendo um valor da taxa de aplicação superficial (Ls) de 196,24 Kg.DBO/ha.dia.

Diante disso, foi possível calcular a área requerida para a lagoa, equação 13, também sendo obtido o valor da área superficial da lagoa, equação 14.

$$A = \frac{576,33}{196,24} = 2,93 \text{ Hectares} \times 10000 = 29.368 \text{ m}^2 \quad (13)$$

$$A_s = \frac{29.368}{2} \quad (14)$$

Atingindo uma área superficial requerida para a lagoa (As) de 14.684,3 m².

Para a área superficial calculada estimou-se uma lagoa facultativa com as seguintes dimensões, comprimento (C) de 300 metros, largura (L) de 50 metros e o comprimento do talude (Ct) de 4 metros. Diante disso, calculou-se a área média, volume da lagoa, tempo de detenção, coeficiente de remoção de DBO e os parâmetros de DBO efluente a lagoa. Para determinar esses valores foram utilizadas as equações 15, 16, 17 e 18.

$$A = 2 \times [(300 - 4) \times (50 - 4)] \quad (15)$$

Resultando em uma área média (A) de 27.232 m².

$$V = 27.232 \times 2 \quad (16)$$

E em um volume da lagoa (V) de 54.464 m³.

$$t = \frac{54.464}{5.011,2} \quad (17)$$

Estimou-se então que o tempo de detenção (t) é de 10,86 dias.

$$K = 0,091 + (2,05 \times 10^{-4}) \times 196,24 \quad (18)$$

Assim então obteve-se o coeficiente para remoção de DBO (K) de $0,131 \text{ d}^{-1}$.

Finalizados os critérios básicos de dimensionamento da unidade fez-se necessário os cálculos dos valores da DBO efluente a lagoa, diante disso, foram gerados os resultados da DBO através das equações 19, 20 e 21.

$$S = 115,01 \times e^{-0,131 \times 10,86} \quad (19)$$

Resultando em uma estimativa de DBO solúvel efluente (S) de $27,72 \text{ mg/l}$.

$$\text{DBOpart} = 0,30 \times 70\% \quad (20)$$

E gerando uma estimativa de DBO particulada (DBOpart) de 21 mg/l .

$$\text{DBOtotal} = 27,72 + 21 \quad (21)$$

Finalmente obteve-se um valor de DBO total efluente a lagoa de $48,72 \text{ mg/l}$.

Assim, utilizando-se da equação 22 foi obtida a eficiência da lagoa.

$$E = \frac{115,01 - 48,72}{115,01} \times 100 \quad (22)$$

A lagoa facultativa obteve uma eficiência teórica de aproximadamente $57,60\%$. Com isso, tem-se uma eficiência para o sistema reator UASB e lagoa facultativa igual a $88,77\%$, obteve-se então o valor de $48,7 \text{ mg/l}$ de concentração de DBO no efluente final, ficando inferior ao limite máximo de 90 mg/l , respeitando assim o limite estabelecido na literatura.

4.1.2 Vantagens e desvantagens do sistema

No momento da implantação de um novo sistema de tratamento de esgoto é preciso avaliar as vantagens e desvantagens apresentadas por cada unidade, visto que a eficiência do sistema não é o único fator determinante para a escolha da forma de tratamento, pois cada localidade tem particularidades específicas que devem ser levadas em consideração no momento da escolha. Diante disso, a fim de facilitar a comparação entre as unidades

abordadas neste trabalho, foram elaboradas tabelas de acordo com o gestor das estações de tratamento juntamente com a literatura disponível.

Sendo assim, é possível verificar, conforme a Tabela 1, que o reator UASB possui inúmeras divergências para a sua implantação de modo que, a principal vantagem da implantação de um reator UASB é a simplicidade na construção e operação. No entanto, sua maior desvantagem é a dependência de uma temperatura ideal do efluente para ser tratado. Além disso, pode apresentar alguns problemas operacionais, como:

- A obstrução dos vertedouros por onde entra o efluente;
- Perda do manto de lodo ativo, que devido a grandes vazões pode ser expulso para fora do reator;
- Acidificação do manto de lodo ativo, por falta das bactérias responsáveis pela estabilização, tornando o tratamento ineficaz;
- Liberação de mau cheiro;
- Dificuldade na remoção do lodo da unidade.

Tabela 2: Vantagens, desvantagens e problemas operacionais do reator UASB.

Vantagens	Desvantagens	Problemas Operacionais
Simplicidade na construção e operação, ocasionando um baixo investimento e custo operacional.	Remoção de DBO limitada entre 70 a 80%.	Obstrução dos vertedouros
Baixo consumo de energia.	A temperatura do esgoto necessária para a aplicação desse processo deve ser superior a 15 °C.	Perda de manto de lodo ativo.
Pode ser aplicado para qualquer população.	O tratamento pode ser afetado por diversos compostos químicos.	Acidificação de manto de lodo ativo.
Excesso de produção de lodo baixo.	A remoção de nutrientes é baixa.	Liberação de mau cheiro.
O lodo produzido é bem estabilizado.	Remoção de coliformes e patógenos baixa.	Dificuldade na remoção de lodo da unidade.
Produz metano que poderá ser utilizado para fins energéticos.		
A alimentação do reator pode ser paralisada por meses, sem prejuízo na eficiência do tratamento.		

Fonte: Jordão e Pessoa (2014); SANEPAR (2017).

Para a lagoa facultativa a principal vantagem observada é o alto índice de remoção de DBO. A maior desvantagem relatada são as extensas dimensões necessárias para a construção de uma lagoa, sendo assim, apesar de um processo simples, torna-se custoso a aquisição da área para implantação.

Alem disso, pode apresentar alguns problemas operacionais, como:

- Maus odores;
- Superfloração de algas;
- Problemas com vegetação;
- Presença de musgo e algas filamentosas.

Tabela 3: Vantagens, desvantagens e problemas operacionais da lagoa facultativa.

Vantagens	Desvantagens	Problemas Operacionais
Satisfatória remoção de DBO.	Elevados requisitos de área.	Maus odores.
Satisfatória remoção de patógenos.	Dificuldades em satisfazer padrões de lançamento.	Superfloração de algas.
Construção, operação e manutenção simples.	Possível aumento de algas do efluente.	Problemas com vegetação.
Remoção de lodo necessária após períodos de 20 anos.	Possibilidade de crescimento de insetos.	Presença de musgo e algas filamentosas.
Reduzidos custos de implantação e operação.	Desempenho variável com as condições climáticas.	
Ausência de equipamentos mecânicos.		

Fonte: Jordão e Pessoa (2014); SANEPAR (2017).

Sobrepõe-se como vantagem para o filtro biológico a elevada eficiência na remoção da DBO. Contudo, possui elevados custos de implantação fazendo com que o processo seja pouco aplicado. Além disso, segundo o gestor das estações, a maior dificuldade para a implantação de um filtro biológico é encontrar empresa capacitada para a sua execução, tendo em vista que o preenchimento do recheio do filtro deve ser executado com primor para que ele tenha uma boa eficiência e cumpra seu objetivo.

Em sua operação, podem ocorrer alguns problemas operacionais, por exemplo:

- Empoçamento do meio filtrante;
- Proliferação de moscas;
- Odor desagradável;
- Entupimento dos dutos de dispersão do efluente;

Tabela 4: Vantagens, desvantagens e problemas operacionais do filtro biológico.

Vantagens	Desvantagens	Problemas Operacionais
Elevada eficiência na remoção de DBO.	Menor flexibilidade que lodos ativados.	Empoçamento do meio filtrante.
Requisitos de áreas relativamente baixos.	Elevados custos de implantação	Proliferação de moscas.
Menor dependência quanto a temperatura.	Relativamente sensível a descargas tóxicas.	Odor desagradável.
Índice de mecanização relativamente baixo.	Necessidade do tratamento do lodo na sua disposição final.	Entupimento dos dutos de dispersão do efluente.
Estabilização de lodo no próprio filtro.	Possível problema com moscas.	

Fonte: Jordão e Pessoa (2014); SANEPAR (2017).

Durante a elaboração deste trabalho deparou-se com inúmeras divergências entre a literatura e a prática na implantação destes sistemas. No município de Cascavel, PR, encontram-se quatro estações de tratamento de esgoto em funcionamento, sendo que duas delas possuem configurações semelhantes à deste trabalho.

A estação de tratamento de esgoto Antas possui em seu sistema primário de tratamento duas unidades de reator UASB sendo seguido por uma lagoa facultativa. De acordo com o PCO das estações de tratamento de esgoto, disponível em Anexo B, a eficiência da ETE Antas para as duas primeiras semanas de março de 2017 foi de 81,71%.

Em comparação a estação de tratamento de esgoto Melissa, que possui tratamento primário com duas unidades de reator UASB sendo seguido por duas unidades de filtro biológico, conforme o PCO da estação de tratamento de esgoto, a eficiência desta ETE para as duas primeiras semanas de março de 2017 foi de 78,20%.

Entretanto, é preciso levar em consideração que o objetivo do trabalho não era realizar um estudo minucioso sobre as eficiências operacionais das estações de tratamento de esgoto

de Cascavel, PR, sendo apenas um dado pontual de relevância questionada, mas suficiente para exemplificar a eficiência do sistema.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De posse dos dados obtidos neste trabalho, foi possível concluir que os sistemas de tratamento de esgoto trazem diversos pontos a serem avaliados para que se possa escolher a forma ideal de tratamento para o município de Cascavel.

O primeiro resultado obtido foi que teoricamente o sistema de tratamento composto de reator UASB e a lagoa facultativa tiveram uma eficiência de 88,77% e que o outro sistema estudado, composto por reator UASB e filtro biológico obteve uma eficiência de 93,34%. Contudo, esses valores são teóricos e como foi possível visualizar nas visitas realizadas não podem ser considerados na prática, pois sistemas semelhantes possuíram uma eficiência de 81,71% e 78,2% respectivamente.

Essa discrepância de valores ocorre por inúmeros fatores, já que na teoria não são levadas as condições climáticas exatas, bem como incidência de ventos, qualidade do esgoto que chega nessas estações, entre outros. Além disso, a principal causa dessa variação nas eficiências é que existem poucas empresas especializadas na construção desses filtros biológicos, assim sua implantação ocorre de forma ineficiente. Por exemplo, quando o recheio do filtro é colocado é imprescindível que não haja mistura de matéria orgânica no momento do preenchimento, afinal, tal matéria se misturada ao miolo do filtro não permitirá que ele funcione de forma adequada.

Para a implantação de um sistema composto por reator UASB e filtro biológico, como é possível visualizar nos registros fotográficos, a construção dessas unidades não exigem grandes áreas, sendo possível então, tratar o esgoto de uma extensa população em um espaço relativamente pequeno. No entanto, para a implantação de um sistema dependente de lagoas facultativas, são necessárias grandes extensões de terra, já que para pequenas populações exigem-se grande espaço físico para a implantação desse tipo de unidade. Outra questão a ser levada em consideração, é o alto custo das terras na cidade de Cascavel, PR, pois é uma região de extrema produtividade agrícola, suas terras têm um alto valor de mercado tornando-se inviável economicamente a desapropriação de grandes extensões para a implantação de sistemas com lagoas.

O reator UASB por sua vez, é uma unidade excepcional de tratamento de esgoto, seu tamanho é reduzido, sua operação não demanda grandes custos e sua eficiência é satisfatória.

Além disso, sua implantação não apresenta grandes dificuldades técnicas, e secundariamente contribui com a geração de energia que é produzida por meio do gás metano liberado no processo de tratamento. Porém, esse tipo de tratamento não consegue sozinho eliminar toda carga orgânica exigida pela legislação, em razão disso se faz necessária a implantação de unidades secundárias.

Portanto, levando em consideração as vantagens, desvantagens e eficiência, pode-se concluir que se bem executado, a escolha mais adequada de tratamento de esgotos domésticos para o município de Cascavel, PR, tendo em vista a viabilidade operacional é o sistema composto de reator UASB seguido de filtro biológico em detrimento ao de reator UASB seguido de lagoa facultativa.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O conhecimento que foi obtido com este trabalho pode-se considerar ampliado com a realização de estudos mais aprofundados sobre as estações de tratamento de esgoto. A disponibilidade de maior tempo e uma profunda busca por informações pode acrescentar muitos dados importantes ao assunto, trazendo não apenas para o meio acadêmico, mas também podendo ser base de auxílio na real implantação de sistemas de tratamento de esgoto. Eis que se sugerem os seguintes temas para que possam ser realizados a partir deste trabalho:

- Realização orçamentária das unidades de tratamento de esgoto discutidas no trabalho;
- Avaliação prática, através do estudo de vários anos, das eficiências das estações de tratamento de esgoto no município de Cascavel, PR;
- Realizar a eficiência teórica para sistema de tratamento de esgoto em meio aeróbio tendo em vista sua crescente popularização.

REFERÊNCIAS

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

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR. **Serviços de água e de esgoto em Cascavel são de primeiro mundo**. Cascavel, 2016. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/servicos-de-agua-e-de-esgoto-em-cascavel-sao-de-primeiro-mundo>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

_____. **Tratando o esgoto – Manual técnico de operação**. Curitiba, 2017.

_____. **Uma das maiores estruturas de saneamento do brasil**. Cascavel, 2016. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/a-sanepar/servicos/esgoto>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

FILHO, C. F. de M. **Reatores UASB**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba, 2009. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/UASB02.html?submit=Continuar>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

FOGAÇA, J. **Tipos de tratamento de efluentes**. Brasil Escola, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-tratamento-efluentes.htm>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE – FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília: Ministério da Saúde, 4ª edição, 2015.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR **Cartas climáticas do Paraná**. Curitiba: Governo do Estado, 2017. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=616>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **O que é saneamento?** São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/o-que-e-saneamento>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

_____. **Situação saneamento no Brasil**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 08 nov. 2016

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: Editora Abes, 7ª edição, 2014.

LOENETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século 21. Rio de Janeiro: **Revista de Administração Pública**, FGV, 45ª edição, 2011.

MACHADO, G. B. **Processos de tratamento de esgoto sanitário**. Belém: Portal Resíduos Sólidos, 2014. Disponível em: <<http://www.portalresiduossolidos.com/processos-de-tratamento-de-esgoto-sanitario/>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Módulo específico – Licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários**. Brasília: MMA, 2009. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/dai_pnc/_publicacao/76_publicacao19042011110356.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2016.

NETO, N. N. G. **Os desafios do saneamento básico no Paraná e o papel da Sanepar**. Curitiba: Gazeta do Povo, 2013. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/opinioao/os-desafios-do-saneamento-basico-no-parana-e-o-papel-da-sanepar-52bz06kcr3hbw2b4n74hrz87i>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. São Paulo: Blucher, 2ª edição, 2011.

RITA, F. **Desempenho de um reator UASB em escala piloto para o tratamento anaeróbio de líquidos percolados de resíduos sólidos urbanos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2002.

SOBRINHO, P. A.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: Editora Abes, 3ª edição, 2011.

SOUZA, M. E.; VIEIRA, S. M. M. **Uso do reator UASB para tratamento de esgoto sanitário**. São Paulo: Revista DAE, SABESP, vol. 46, nº 145, 1986.

TERA AMBIENTAL. **A situação do saneamento básico no Brasil**. São Paulo: Portal Tera Ambiental, 2015. Disponível em: <<http://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/a-situacao-do-saneamento-basico-no-brasil>>. Acesso em: 08 nov. 2016.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, Volume 1, 4ª edição, 2014.

NECESSIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SEGUNDO MÓDULO FÍSICO QUÍMICO COM CAPACIDADE DE 100 I/S - Alterando o horizonte para 2044.
ESTA EM PROJETO A ETE NOROESTE, DESATIVANDO A ETE NORTE E OESTE.

ANEXO B – PCO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

UNIDADE REGIONAL DE CASCAVEL – COORDENAÇÃO INDUSTRIAL - LABORATÓRIO REGIONAL DE ESGOTO																							
RESULTADOS DA ANÁLISES DO PCO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE CASCAVEL																							
MÊS: Março 2017		SEMANA 1										SEMANA 2											
LOCAL	PONTO/nº amostra	DIA	VAZÃO	PH	T°C	S.SED	DOO	S.SUS	REMOÇA O DOO	RELAÇÃO DQO/DBO	DIA	VAZÃO	PH	T°C	S.SED	DOO	S.SUS	REMOÇA O DOO	RELAÇÃO DQO/DBO	DATA	PONTO	SÓL. TOTAIS	
ETE BEZERRAS	AFLU - 16391	14	89.2	7.45	24.8	6.5	758		281		20	87.00	7.67	23.3	4.3	765							
	EFLU - 16392	COLETOR	87	7.07	25.0	5.77	0.2	176			COLETOR	85.29	6.96	23.6	6.63	0.1	27	30	40				
	MONT - 16393	Paulo Borges		6.86	22.5	7.74	4				Oriando		7.13	21.4	7.94	6							
	JUSA - 16394	TEMPO	7.06	22.7	7.25	28					TEMPO		7.13	22.3	7.73	21							
	R 1 - 16395		6.91																				
ETE ANTAS	R 2 - 16396	Bom	6.98			2.0	251		337														
	DEC.1 - 16397					2.5	312		334														
	DEC.2 - 16398						123																
	PONTO	DIA	VAZÃO	PH	T°C	S.SED	DOO	S.SUS	REMOÇA O DOO	RELAÇÃO DQO/DBO	DIA	VAZÃO	PH	T°C	S.SED	DOO	S.SUS	REMOÇA O DOO	RELAÇÃO DQO/DBO	DATA <td>PONTO<td>SÓL. TOTAIS</td></td>	PONTO <td>SÓL. TOTAIS</td>	SÓL. TOTAIS	
	AFLU - 16381	6	150.35	7.12	24.9	6.0	545		161		13	159.68	7.28	25.3	6.0	574							
ETE QUATÁ	EFLU - 16382	COLETOR	130.72	7.17	24.9	5.27	<0.1	94			COLETOR	92.86	7.21	25.6	4.43	<0.1	111	32	44				
	MONT - 16383	Oriando		7.08	23.1	7.21	7				Allamir		7.14	22.1	7.40	6							
	JUSA - 16384	TEMPO	7.20	23.4	6.83	65					TEMPO		7.13	22.4	7.07	35							
	R1 - 16385		6.79			0.4	177		164		Bom												
	R2 - 16386	Chuvvas	6.97			0.3	128		158														
ETE LOCAL	L 1 - 16387		7.17				183																
	L 2 - 16388						96																
	EFLU FILT. 16382																						
	PONTO	DIA	VAZÃO	PH	T°C	S.SED	DOO	S.SUS	REMOÇA O DOO	RELAÇÃO DQO/DBO	DIA	VAZÃO	PH	T°C	S.SED	DOO	S.SUS	REMOÇA O DOO	RELAÇÃO DQO/DBO	DATA <td>PONTO<td>SÓL. TOTAIS</td></td>	PONTO <td>SÓL. TOTAIS</td>	SÓL. TOTAIS	
	AFLU - 16401	13	170	7.84	23.3	<0.1	432				21	168	7.55	23.5	<0.1	336		185					
ETE MELISSA	EFLU - 16402	COLETOR	162	7.28	24.3	1.64	<0.1	103	36		COLETOR	160	7.56	22.0	4.44	156		128					
	MONT - 16403	Allamir		7.08	21.2	7.49	10				Allamir		6.95	20.3	7.54	5							
	JUS 100 16404	TEMPO	7.03	21.9	6.52	30					TEMPO		7.18	20.6	5.60	12							
	L 1 16406												6.8			107							
	L 3 16408	Bom									Bom		6.97			102							
ETE LOCAL	L 4 16409												7.43			108							
	EFLU FILT. 16402						40	12															
	PONTO	DIA	VAZÃO	PH	T°C	S.SED	DOO	S.SUS	REMOÇA O DOO	RELAÇÃO DQO/DBO	DIA	VAZÃO	PH	T°C	S.SED	DOO	S.SUS	REMOÇA O DOO	RELAÇÃO DQO/DBO	DATA <td>PONTO<td>SÓL. TOTAIS</td></td>	PONTO <td>SÓL. TOTAIS</td>	SÓL. TOTAIS	
	AFLU - 16351	6	48.5	7.46	23.9	3.5	289		264		20	79.36	7.47	22.2	2.0	170							
	EFLU - 16352	COLETOR		7.61	23.8	6.57	0.1	92			COLETOR	73.20	7.79	22.9	5.31	<0.1	20	1	24				
ETE LOCAL	MONT - 16353	Oriando		6.77	22.4	7.55	3				Oriando		7.00	20.7	7.95	0							
	JUSA - 16354	TEMPO	6.51	22.5	7.25	3					TEMPO		6.74	21.2	7.39	16							
	R1 - 16355		6.81			0.3	208		240														
	R2 - 16356		6.83			0.2	160		242														
	FIL 1 - 16357	Chuvvas					185				Chuvvas												
ETE LOCAL	FIL 2 - 16358						144																
	Dec. 1 - 16359						105																
ETE LOCAL	Dec. 2 - 16350						55																

Resultados que não atendem aos limites estabelecidos nas licenças de operação/outorgas

*Resultados que não atendem aos limites estabelecidos nas licenças de operação/outorgas

ANEXO C – QUESTIONÁRIO APLICADO AO GESTOR DA SANEPAR

Questão 1 - Há quantos anos é gestor das estações de tratamento de esgoto da SANEPAR?

G.: 20 anos.

Questão 2 - Quais são os tipos de tratamentos de esgoto que se encontram em operação no município de Cascavel?

G.: Em Cascavel predomina o processo anaeróbico como tratamento. O pós tratamento possui módulo físico químico com decantação acelerada e processo com filtro percolador.

Questão 3 - Quais as vantagens e desvantagens da implantação de um reator UASB? E quais são as vantagens e desvantagens operacionais deste?

G.: Baixo consumo de energia, baixa produção de lodo, geração de metano, admite altas cargas de matéria orgânica, área reduzida para construção, comparado a outros processos e baixo custo de construção, operação e manutenção. Quanto a operação possuem alguns problemas sobre esses reatores como:

- Obstrução dos vertedores nos divisores de vazão;
- Compactação do lodo anaeróbico pela areia, causando formação de "empastamento" e dificuldades para o esgoto passar pela camada de lodo devido a presença excessiva de areia e/ou pela sua mineralização, substituindo o lodo anaeróbico ativo por lodo inerte;
- Perda do manto de lodo ativo, que tende a ser expulso para fora do reator;
- Acidificação do manto de lodo ativo, por falta das bactérias metanogênicas ativas, havendo liberação do gás sulfídrico (diz-se que o processo "azedou");
- Liberação de mau cheiro.

Questão 4 - Quais as vantagens e desvantagens de implantação de uma lagoa facultativa? E quais são as vantagens e desvantagens operacionais da mesma?

G.: Suas vantagens são a satisfatória remoção de DBO, satisfatória remoção de patógenos, construção e manutenção simples e remoção de lodo necessária após períodos de 20 anos. Suas desvantagens são os elevados requisitos de área, dificuldades em satisfazer padrões de lançamento, possível aumento de algas do efluente, possibilidade de crescimento de insetos e sistema dependente dos fenômenos naturais. Suas principais desvantagens operacionais são a superfloração de algas, lançamento de material estranho no efluente, placas de lodo desprendidas do fundo, maus odores, pouca circulação do vento, presença de cianobactérias, presença de musgo e algas filamentosas, decréscimo de OD, baixa de Ph, insetos e aumento de vegetação.

Questão 5 - Quais as vantagens e desvantagens de implantação de um filtro biológico? E quais são as vantagens e desvantagens operacionais do equipamento?

G.: Os filtros biológicos são sistemas de tratamento de esgoto em que se utiliza de microrganismos para digerir a matéria orgânica presente no esgoto. A SANEPAR utiliza três tipos de filtro nas suas estações, sendo eles o filtro biológico anaeróbio, filtro biológico aeróbio percolador e filtro biológico aerado submerso. No caso dos filtros biológicos atuam como pós tratamento, e só tem vantagens se forem bem construídos e operados. Os principais problemas operacionais são o empoçamento do meio filtrante, proliferação de moscas e odor desagradável.

Questão 6 - Quando acumulados duas formas de tratamento se acrescenta a alguma desvantagem ou vantagem na operação do sistema?

G.: Geralmente é utilizado dois tratamentos diferentes como forma de melhorar a qualidade do efluente final e na maioria das vezes para atender a legislação ambiental, em Cascavel existem em operação a ETE norte com o princípio de reatores e lagoa de facultativa, a ETE melissa que possui reatores acompanhado de filtro percolador, a ETE bezerras que trata por reatores e decantação e processo físico químico com decantação acelerada e a ETE quati que opera atualmente com sistema de lagoas anaeróbias e lagoas facultativas no segundo semestre começou a ser operada com reatores e lagoas de decantação e lagoas facultativas. Para 2025, será construída a ETE noroeste que será um sistema de lodos ativados.