



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil

GABRIEL SILVEIRA ROCHA

**PROPOSIÇÃO E CONCEPÇÃO DO CONJUNTO MOTO-
BOMBA DE UMA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO
PARA O CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO DA UFOP**

Ouro Preto

2021

PROPOSIÇÃO E CONCEPÇÃO DO CONJUNTO MOTO-BOMBA DE UMA
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO PARA O CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO
DA UFOP

GABRIEL SILVEIRA ROCHA

Monografia de conclusão de curso para
obtenção do grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto
defendida e aprovada em 07 de abril de
2021 como parte dos requisitos para a
obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Área de concentração: Hidráulica e Saneamento

Orientador: Prof. Dr. Aníbal Da Fonseca Santiago - UFOP

Ouro Preto

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R672p Rocha, Gabriel Silveira .

Proposição e concepção do conjunto moto-bomba de uma estação elevatória de esgoto para o campus Morro do Cruzeiro da UFOP.

[manuscrito] / Gabriel Silveira Rocha. - 2021.

71 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Aníbal da Fonseca Santiago.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Tratamento de esgoto - Estação Elevatória. 2. Bombas - Conjunto Moto-bomba. 3. Eficiência Energética. I. Santiago, Aníbal da Fonseca. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716

PROPOSIÇÃO E CONCEPÇÃO DO CONJUNTO MOTO-BOMBA DE UMA
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO PARA O CAMPUS MORRO DO CRUZEIRO
DA UFOP

GABRIEL SILVEIRA ROCHA

Monografia de conclusão de curso para
obtenção do grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto
defendida e aprovada em 07 de abril de
2021 como parte dos requisitos para a
obtenção do Grau de Engenheiro Civil.
Banca examinadora:



Orientador: Prof. Dr. Aníbal da Fonseca Santiago - UFOP



Membro: Prof. Dr. Paulo de Castro Vieira - UFOP



Membro: Prof. Dr. Carlos Eduardo Ferraz de Mello - UFOP

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha família pelo apoio dado durante a elaboração deste trabalho. Aos amigos da UFOP que me ajudaram com o conhecimento técnico e informações que enriqueceram o texto. À Bárbara pelos registros feitos durante a apresentação que foram importantes na revisão. Agradeço ao professor Aníbal por ter me dado excelente orientação e ajudado na elaboração desta monografia. Ao professor Carlos Eduardo pelas considerações e correções feitas. Ao professor Paulo pelas considerações feitas e por toda força nos três dias de coleta do esgoto da UFOP.

RESUMO

Atualmente, o esgoto produzido e coletado pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) *campus* Morro do Cruzeiro é despejado diretamente parte no rio Funil e parte na rede coletora do município de Ouro Preto Minas Gerais, repercutindo de forma negativa para a universidade. É compreensível e aceitável dizer que, o esgoto produzido pela instituição deve ser tratado, procurando atender as legislações ambientais vigentes antes de ser despejado nas bacias da região, como ocorre em outras Instituições Federais do Estado de Minas Gerais onde o esgoto produzido recebe o devido tratamento e destino correto. Pode-se destacar também, os benefícios a serem proporcionados por uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ao ensino e pesquisa da instituição, uma vez que permite aos pesquisadores e estudantes o desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e profissionais. Nem sempre o efluente consegue chegar até o local de tratamento por gravidade, gerando a necessidade de bombeamento. Tendo em vista este propósito, foi realizado um Estudo de Concepção Básica (ECB) de uma Estação Elevatória de Esgoto (EEE) para o futuro sistema de tratamento de esgotos da instituição. Muito importante o ECB para que a coleta seja a mais eficaz possível. Este trabalho buscou a solução mais econômica a partir do estudo das vazões e dimensionamento do conjunto elevatório adequado à demanda. Os resultados apontam que o sistema viável para implementação da EEE é aquele com conjunto moto-bomba de menor potência instalada, e menor tempo de funcionamento em um dia.

Palavras-chaves: Estação Elevatória de Esgoto, Conjunto Moto-bomba, Eficiência Energética.

ABSTRACT

Currently, the sewage produced and collected by Federal University of Ouro Preto (UFOP) on the Morro do Cruzeiro campus is directly dumped partly into the Funil River and partly into the collection network of the municipality of Ouro Preto Minas Gerais, negatively reflecting for the university. It is understandable and acceptable to say that the sewage produced by the institution must be treated, seeking to comply with current environmental legislation before being discharged into the region's basins, as occurs in other Federal Institutions of the State of Minas Gerais where the sewage produced receives the proper treatment and correct destination. It can also be highlighted the benefits to be provided by a Wastewater Treatment Plant (WWTP) to the teaching and research of the institution, since it allows researchers and students to develop academic and professional works. The effluent is not always able to reach the treatment site by gravity, generating the need for pumping. In view of this purpose, a Basic Design Study of a Sewage Pumping Station (SPS) was carried out for the institution's future sewage treatment system. It is very important for the Design Study to make the collection as effective as possible. This work sought the most economical solution based on the study of flow rates and the dimensioning of the elevating set adequate to the demand. The results show that the feasible system for the implementation of the SPS is the one with the lowest power motor-pump set installed, and the shortest operating time in one day.

Keywords: Sewage Pumping Station, Motor-Pump, Energy Efficiency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de bomba centrífuga radial.	12
Figura 2: Esquema de bomba centrífuga axial.	13
Figura 3: Esquema de bomba centrífuga mista.	13
Figura 4: Fuxograma de trabalho.....	20
Figura 5: Representação da Bacia 1 e Bacia 2 no campus Morro do Cruzeiro. .	22
Figura 6: Hidrograma das águas residuárias da Bacia 1.	24
Figura 7: Sequência fotos das coletas de esgoto.	25
Figura 8: Mapa topográfico do campus Morro do Cruzeiro.....	27
Figura 9: Corte longitudinal da topografia do campus Morro do Cruzeiro.....	28
Figura 10: Relação entre o Volume útil e os tempos característicos	33
Figura 11: Fluxo para determinação da potência do conjunto moto-bomba	34
Figura 12: Denominação dos modelos de bombas.....	35
Figura 13: Representação do poço de sucção	40
Figura 14: Ábaco para escolha da bomba	41
Figura 15: Curva característica da bomba KSB KRT S 40 – 160/2P	42
Figura 16: Modelo de Bomba Megaflow k 50 – 160.....	44
Figura 17: Modelo de Bomba KRT S 40 - 160/2p	44
Figura 18: Curva característica da bomba KSB Megaflow K 50 – 160	45
Figura 19: Resumo das características EEE – COPASA.....	46
Figura 20: Variação do volume de efluente durante o dia.....	49
Figura 21: Variação da altura do efluente durante o dia	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Medições de vazões das águas residuárias da Bacia 1.....	24
Tabela 2: Estimativas de vazões médias.....	36
Tabela 3: Tabela de perda de carga linear.	37
Tabela 4: Tabela de perda de carga localizada.	38
Tabela 5: Perda de carga total.....	38
Tabela 6: Altura Manométrica Total.	39
Tabela 7: Dimensionamento Câmara de Sucção.....	39
Tabela 8: Potência conjunto moto-bomba.	43
Tabela 9 – Consumo energético	48

LISTA DE SIGLAS

BNH – Banco Nacional da Habitação

ECB – Estudo de Concepção Básica

EEE – Estação Elevatória de Esgoto

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

SUMÁRIO

Agradecimentos	IV
Resumo	I
Abstract.....	II
Lista de Figuras	III
Lista de Tabelas.....	IV
Lista de Siglas.....	V
Sumário	VI
1 Introdução	1
1.1 Objetivo	5
1.1.1 Objetivos Específicos.....	5
1.2 Estrutura do Texto	5
1.3 Delimitação do trabalho	6
2 Revisão Bibliográfica.....	7
2.1 Sistema Elevatório de Esgoto.....	7
2.2 Câmara de Chegada	7
2.3 Câmara de Sucção (ou Poço Úmido)	8
2.4 Bombas Hidráulicas.....	11
2.5 Conduitos de Elevação.....	14
2.6 Requisitos Específicos.....	15
2.7 Consumo Energético	16
2.8 Outras Considerações	18
	VI

3	Metodologia.....	20
3.1	Descrição da área de Estudo.....	20
3.1.1	Determinação do tema e Revisão Bibliográfica.....	20
3.1.2	Determinação do Estudo de Caso	21
3.2	Dimensionamento do Conjunto Elevatório.....	23
3.2.1	Estudo das vazões.....	23
3.2.2	Dimensionamento dos Conduitos de Elevação.....	26
3.2.3	Câmara de Sucção (Poço Úmido).....	31
3.2.4	Bombas Hidráulicas	34
4	Resultados	36
4.1	Estudo das vazões	36
4.2	Dimensionamento dos Conduitos de Elevação	37
4.3	Câmara de Sucção (Poço Úmido)	39
4.4	Bombas Hidráulicas.....	40
4.5	Análise Comparativa.....	46
4.5.1	Vazão de Projeto.....	46
4.5.2	Diferença de Cota Geométrica.....	47
4.5.3	Perda de Carga nas Tubulações de Recalque.....	47
4.5.4	Altura Manométrica	47
4.5.5	Conjunto Moto-bomba e Consumo Energético	47
5	Considerações finais.....	51
5.1	Em Relação aos Objetivos	51
5.2	Temas para próximos trabalhos	52

Referências.....	53
ANEXOS.....	55
A.1 Anexo 1	55

1 INTRODUÇÃO

Com o saneamento básico apropriado, pode-se garantir uma melhor qualidade de vida para a população, representando uma importante ferramenta no combate de problemas relacionados à saúde e ligados ao meio ambiente. Proporcionar o acesso aos serviços básicos essenciais, que atingem principalmente as populações com menor poder aquisitivo, seja na periferia das cidades ou áreas rurais, promove a minimização dos problemas relacionados à saúde e à qualidade de vida. A ausência ou a ineficiência de investimentos impacta de forma negativa no sistema econômico, pois acarreta maiores gastos no combate aos vetores nocivos à saúde oriundos de condições sanitárias inadequadas (Instituto Trata Brasil, 2012).

Pode-se compreender o Saneamento Básico como “[...] o conjunto de ações para promover e assegurar condições de bem-estar e segurança de uma população, através de sistemas de esgoto, de abastecimento de água, de coleta e disposição final do lixo, de drenagem das águas e do controle tanto da poluição do ar como da produção de ruídos” (Daltro, 2004, p. 22). Tais ações se mostram como medidas capazes de promover melhores condições de saúde à população, garantir a preservação do meio ambiente, podendo também, garantir uma redução a longo prazo dos gastos públicos direcionados ao tratamento de doenças.

Cabe ressaltar que o saneamento básico é um direito garantido pela Constituição Federal, sendo definido pela Lei nº 11.445 de 2007 como o conjunto dos serviços, infraestrutura e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais. A Lei nº 11.445 de 2007 estabelece que os municípios brasileiros elaborem o Plano Municipal de Saneamento Básico como instrumento de planejamento para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico (Lei nº 11.445, 2007).

Com intento de viabilizar a universalização do saneamento básico, foi instituída a Lei nº 14.026 de 2020, cujo objetivo principal é assegurar que até 31 de dezembro de 2033, 99% da população tenha acesso a água potável e 90% da população tenha a coleta e tratamento de esgoto. O Novo Marco do Saneamento busca uniformizar as

regras, definir padrões de atividades regulatórias e a formulação de políticas públicas, como também aumentar a competição entre as empresas, estabelecendo a obrigatoriedade de licitações.

Deve-se evidenciar que a cidade histórica de Ouro Preto, município no qual se localiza a UFOP, obteve um Plano de Saneamento Ambiental no seu processo de urbanização, porém, ele não foi executado adequadamente. Atualmente não há quaisquer tratamentos do esgoto produzido pelo município, com ausência de uma disposição correta dos resíduos sólidos e um manejo apropriado das águas pluviais (Valente, Vieira, Pereira, & Knupp, 2018).

Localizada no município de Ouro Preto, a UFOP sendo uma instituição que visa o desenvolvimento do ensino, da pesquisa e da extensão, deve buscar meios de mitigar os impactos oriundos da ausência de tratamento das águas residuárias, bem como contribuir para o município, seja por ensino, orientação, treinamentos, dentre outros meios. As atividades que suportam o funcionamento da instituição, impreterivelmente, geram águas residuárias. Esses esgotos são provenientes de laboratórios, banheiros, unidades de saúde, biotérios, restaurantes universitários e outros, o que, possivelmente, origina uma característica peculiar. As atividades desenvolvidas em laboratórios de análises químicas dos diversos departamentos (Farmácia, Química, Engenharias, Biologia, Medicina), os restaurantes e os biotérios, por exemplo, podem liberar uma série de resíduos, como soluções ácidas e alcalinas, solventes orgânicos, fármacos, detergentes e outras substâncias químicas perigosas (como os metais pesados). Tudo isso deve servir de alerta quanto ao potencial de poluidor das IES.

O lançamento de esgotos não tratados em rios, lagos e áreas costeiras constitui-se sério agravante da deterioração da qualidade das águas, sendo o seu tratamento uma ação mitigadora dos impactos ambientais negativos necessária. Adicionalmente, a legislação vigente define que as universidades, bem como qualquer outro empreendimento impactante, tenham um sistema de tratamento de esgotos adequado antes de lançá-los na rede ou em um corpo d'água receptor. A Resolução CONAMA 430/2011 e a DN 01/2008 do COPAM MG dispõem sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em âmbito nacional e para o estado de Minas Gerais,

respectivamente. Segundo a Resolução CONAMA 430/11, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente podem ser lançados diretamente no corpo d'água receptor se obedecerem às condições e aos padrões estabelecidos. A DN 01/08 do COPAM MG estabelece que os poluentes de qualquer fonte poluidora somente podem ser lançados, após o devido tratamento e desde que obedecem às condições, aos padrões e às exigências dispostos na DN e em outras normas aplicáveis.

No caso específico do campus Morro do Cruzeiro da UFOP, não é realizado o tratamento de seus esgotos, em nenhum nível. Apesar da preocupação concernente aos contaminantes químicos e biológicos, pesquisas de professores e alunos dessa instituição demonstram que a matéria orgânica (em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO – e Demanda Química de Oxigênio – DQO) é o principal problema. Em uma última análise realizada foram encontrados valores de concentração nos esgotos de 321 – 503 mg/L de DBO e 486 – 762 mg/L de DQO (dados passados pelo professor da disciplina). São faixas de valores que demonstram o potencial impactante desses esgotos, cuja maior parte é lançada diretamente *in natura* no Ribeirão do Funil (um tributário da Bacia Hidrográfica do Rio Doce). Estudos de alunos da disciplina CIV 423 Tratamento de Esgotos estimaram que esse lançamento pode provocar níveis de oxigênio dissolvido críticos de 4,6 mg/L, ou seja, abaixo da legislação que é de 5,0 mg/L para a classe 2 de enquadramento do corpo receptor (DN 01/08 do COPAM MG). Ademais, o Ribeirão do Funil, após receber a carga poluidora do campus, percorre parte da cidade de Ouro Preto, que tem o título de Patrimônio Cultural da Humanidade, concedido pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), na quarta sessão do Comitê do Patrimônio Mundial, realizada em Paris, em 1980. O zelo por este título precisa ser foco de uma instituição federal estabelecida nesta cidade.

A instalação de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) no campus Morro do Cruzeiro da UFOP é necessária e urgente. Alguns professores buscaram realizar, juntamente com alunos de graduação e pós-graduação e suporte da Prefeitura do Campus, um levantamento detalhado da caracterização qualitativa dos esgotos, com a identificação dos alguns poluentes e a caracterização quantitativa, com as variações

de vazões nos diferentes períodos do ano. As informações geradas possibilitaram a elaboração de um projeto do sistema de tratamento adequado para a realidade do campus.

É importante destacar que as IES, como a UFOP campus Morro do Cruzeiro, devem ter a responsabilidade de operar seus campi universitários como modelos para a sociedade, principalmente, considerando as condições ambientais críticas da maior parte das cidades brasileiras. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, no ano de 2017, apenas 42,6% da população urbana dispunha de coleta e tratamento de esgotos, enquanto 18,8% dos esgotos são coletados e não tratados, e 38,6% dos esgotos não são coletados nem tratados. A instalação de uma ETE deve fazer parte de um conjunto de ações integradas, que pode incluir a instalação de uma estação elevatória de esgoto (EEE). A EEE é uma parte fundamental do sistema de tratamento em terrenos que possuem seus efluentes direcionados para mais de um sentido. Dessa forma, o efluente gerado pode ser bombeado a um ponto em comum para o tratamento total. A universidade precisa combater os impactos ambientais negativos e servir de exemplo para a sociedade brasileira, extrapolando o campo teórico. Finalmente, a instalação de uma ETE no campus criará um espaço para formação continuada de mão-de-obra qualificada no nível profissionalizante e de pós-graduação, visto que servirá de importante elemento para treinamento e instalação de modelos experimentais.

O campus Morro do Cruzeiro apresenta a disposição dos prédios em uma região com topografia acentuada, apresentando variações de cota. Este fator é desfavorável ao escoamento exclusivamente por gravidade, se fazendo necessário a divisão de sua rede coletora de esgoto em duas bacias. Com isso, para que seja feito o direcionamento de todo o efluente produzido para um ponto em comum, é necessário o uso de uma Estação Elevatória de Esgoto (EEE). Apesar de indesejável a instalação de uma EEE, o que torna os custos do tratamento maiores, cabe aos profissionais buscarem a melhor solução de implementação e dimensionamento dela, minimizando os impactos de sua implantação. No presente trabalho, buscou-se a solução mais

adequada para a concepção, determinando o local de locação da EEE que apresentasse menor cota e menor distância até o ponto de destino do esgoto.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho foi dimensionar e detalhar o projeto de uma Estação Elevatória de Esgoto (EEE) para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da UFOP no *campus* Morro do Cruzeiro localizada no município de Ouro Preto, Minas Gerais.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Avaliar, quantitativamente, o esgoto produzido no campus.
- Realizar o dimensionamento de um conjunto Moto-bomba e fazer uma análise descritiva do modelo desenvolvido pela empresa COPASA no ano de 2010.
- Comparar os resultados obtidos nas análises e determinar qual o melhor sistema a ser adotado.

1.2 Estrutura do Texto

Para obter um melhor aproveitamento deste trabalho, ele foi estruturado em cinco capítulos, sendo estes:

O Capítulo 1 – Introdução: É apresentado as justificativas para o desenvolvimento do estudo de caso, os objetivos esperados, estrutura do texto e as delimitações do trabalho.

O Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: São apresentados os conceitos e recomendações para a concepção de uma EEE.

O Capítulo 3 – Metodologia e Desenvolvimento: São definidos os procedimentos utilizados e a forma que foram empregados para se alcançar os objetivos do presente trabalho.

O Capítulo 4 – Resultados: É apresentado os resultados obtidos no desenvolvimento deste estudo, se correspondem aos objetivos propostos, análise da solução que mais se adequa a realidade do projeto.

O Capítulo 5 – Considerações finais e Conclusão: São apresentadas as conclusões inerentes ao estudo, assim como sugestões para possíveis trabalhos a serem desenvolvidos a partir deste.

1.3 Delimitação do trabalho

Com intuito de atingir os objetivos propostos no presente trabalho, algumas ponderações devem ser elucidadas. O dimensionamento desenvolvido contemplou a Câmara de Sucção, o conjunto de Bombas Hidráulicas e os Conduitos de Elevação.

O presente estudo tenciona obter o melhor conjunto moto-bomba para a EEE, proporcionando o melhor retorno financeiro, e um sistema eficiente e eficaz, que atenda ao sistema de tratamento de águas residuárias.

Foi utilizada a fórmula simplificada para determinação do diâmetro econômico.

Serão considerados na análise comparativa: a potência instalada do conjunto moto-Bomba, a capacidade de bombeamento, o consumo energético, a altura manométrica e o tempo de funcionamento do sistema elevatório.

Não foram considerados na análise comparativa: a vida útil da bomba, a periodicidade de manutenções preventivas e/ou corretivas, o custo de implantação do sistema elevatório.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema Elevatório de Esgoto

Sistemas Elevatórios de Esgoto são instalações normalmente associadas as redes coletoras de águas residuárias, com intuito de direcionar o efluente para o local onde será feito o tratamento de esgoto. Sua necessidade se deve ao fato de as redes coletoras apresentarem variações de cota ao longo do percurso, exigindo que parte desse efluente seja bombeada até o local de tratamento.

De modo geral, estações elevatórias normalmente são instaladas nos pontos mais baixos de uma determinada bacia, armazenando temporariamente os efluentes e posteriormente bombeando-os para dar continuidade no sistema de tratamento. A seguir é apresentado algumas instalações que compõem um sistema elevatória de esgoto.

2.2 Câmara de Chegada

A chegada de águas residuárias às EEE pode ser através de duas formas distintas (Patto, 1990):

- Acesso direto: Os coletores dos afluentes são ligados diretamente ao poço de sucção ou bombeamento;
- Acesso através de uma instalação primaria: Conforme a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020), é obrigatório a instalação de gradeamento na chegada do afluente a EEE ou câmara de bombeamento, dessa forma, previne-se a entrada de materiais sólidos grosseiros que possam vir a ocasionar entupimentos da válvula de pé ou danificar o conjunto moto-bomba.

As instalações comumente utilizadas são apresentadas a seguir (Patto, 1990):

- Gradeamento: Essencial para qualquer sistema de tratamento de esgoto, por evitar a entrada de materiais sólidos grosseiros as instalações, o que

poderia ocasionar avarias as bombas ou entupimentos das tubulações, dentre outros. Podem ser adotados grades do tipo manual ou automáticas.

- Desarenador: Utilizado para a separação das areias do afluyente as instalações. Pode ser adotado desarenador do tipo manual ou mecanizado.

De acordo com a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020, p. 15), os dispositivos removedores de areia podem ser dispensados, quando comprovado que os sólidos transportados não serão prejudiciais ao sistema de recalque (bombeamento).

2.3 Câmara de Sucção (ou Poço Úmido)

Estrutura destinada a receber o afluyente da Câmara de Chegada e adequá-lo para as unidades de recalque, seu volume é definido a partir do nível mínimo de operação do conjunto moto-bomba. A forma e as dimensões da câmara de sucção devem atender ao desempenho das bombas e promover condições adequadas de operação, permitindo que o fluxo hidráulico seja uniforme, estável e livre de formação de vórtices e ar arrastado (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020).

É importante destacar que a falta de uniformidade na câmara de sucção pode resultar em bombas que não operam de maneira adequada, apresentando menor eficiência energética.

Conforme a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020), somente após a definição do conjunto moto-bomba e determinado o sistema operacional das bombas e as despesas operacionais, incluindo a energia elétrica utilizada ao longo da vida útil do sistema, que se determinará o formato e as dimensões do poço úmido.

De acordo com a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020), o volume útil mínimo da câmara de sucção deve ser calculado conforme os passos a seguir:

- a) Vazões afluentes inicial e final (Q_i e Q_f);
- b) Vazão de operação;
- c) Submergência mínima;

- d) Quantidade de conjunto(s) moto-bomba(s) a ser(em) instalado(s);
- e) Número de acionamentos, intervalo de partidas;
- f) Metodologia de cálculo para cada tipo de bomba conforme literatura específica;
- g) Condições de contorno operacional;
- h) Orientações indicadas pela prestadora de serviço ou contratante ou fabricante do equipamento.

A partir do volume útil mínimo determinado, pode-se estabelecer a forma e as dimensões da câmara de sucção atendendo aos requisitos a seguir da NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020):

- a) Atender ao tempo máximo de detenção;
- b) A entrada de esgoto na câmara de sucção deve ser projetada de modo que haja quebra de velocidade por meio físico adequado, não permitir descarga livre na entrada;
- c) Na câmara de sucção, a velocidade de aproximação para a tomada de esgoto não pode ser superior a 0,60 m/s;
- d) O fundo da câmara de sucção deve ter declividade para o ponto de saída, a fim de facilitar sua limpeza;
- e) Em elevatória de menor porte, com área de base total igual ou inferior a 8 m², o fundo da câmara de sucção pode ser executado sem declividade.
- f) Avaliar a necessidade de instalação de escada para acesso na câmara de sucção, atendendo às recomendações da prestadora de serviço ou contratante;
- g) Avaliar a necessidade de guarda-corpo ou outra estrutura, garantindo a segurança nas operações de montagem, desmontagem, manutenção;
- h) Prever acesso(s) operacional(is) por meio de abertura(s) para entrada de pessoal e/ou equipamentos compatíveis com as dimensões do sistema, ou atender à orientação da prestadora de serviço ou contratante;
- i) As dimensões das câmaras devem ser projetadas para permitir o acesso para limpeza e manutenção;
- j) Prever como executar a drenagem da câmara de sucção;
- k) Prever ventilação na câmara de sucção para eliminação de gases, equalização de pressão entre a câmara de sucção e o ambiente externo da estação de bombeamento ou elevatória, compatível com a necessidade e o porte da estação de bombeamento ou estação elevatória, atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 16577 quanto ao espaço confinado e

à legislação em vigor, atender à ABNT NBR IEC 60079 quanto à utilização de equipamentos em atmosferas explosivas;

l) Atender à legislação em vigor.

De acordo com a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020), as câmaras de sucção que fazem o uso de bombas do tipo submersível, devem atender aos seguintes requisitos recomendados em norma:

- a) Projetar o nível mínimo de esgoto na câmara de sucção, de maneira que a bomba fique submersa, atendendo às condições técnicas e operacionais locais e às orientações do fabricante do equipamento.
- b) Projetar a instalação da bomba elevada do fundo, com no mínimo 20 cm; para alturas superiores, atender às orientações do fabricante do equipamento.
- c) Recomenda-se projetar tampa de acesso e grade de proteção à câmara de sucção, e tampa sobre cada bomba a ser instalada, inclusive reserva, com dimensões suficientes para retirada da bomba, do suporte do tubo-guia e do suporte do pedestal. Adotar abertura no sentido da menor dimensão;
- d) Projetar todos os componentes internos à câmara de sucção, como escada, fixadores, abraçadeiras, correntes, chumbadores, parafusos, em material compatível com as condições de agressividade do meio e/ou do entorno. Quando necessário, prever proteção adequada dos componentes contra o processo corrosivo ou o ataque químico;
- e) Recomenda-se, quando necessário, projetar câmaras de sucção independentes para cada equipamento, com comunicações por meio de válvulas ou comportas. As dimensões das câmaras devem permitir o acesso para limpeza e manutenção. Para bombas submersíveis instaladas em poço seco, a câmara de sucção deve ser única.

A partir da forma e dimensões estabelecidas, pode-se determinar os materiais a serem aplicados na estrutura da câmara de sucção, a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020) faz as seguintes recomendações para os materiais empregados na execução, tampões de fechamento e dispositivos internos e externos:

- a) Resistência mecânica adequada às solicitações atuantes a que cada componente seja submetido, visando a manter as condições de funcionamento e segurança no sistema;

- b) Resistência às substâncias contidas no solo, esgoto afluyente ou geradas no processo de digestão, resistência às intempéries, resistência ao processo corrosivo ou ataque químico do meio e/ou do entorno;
- c) Resistência à pressão hidráulica externa (sub-pressão/empuxo), em zonas suscetíveis a este esforço gerado pelo nível freático (nível de água subterrânea, inundação, alagamento, enchente). Deve ser verificada a necessidade de reforço na estrutura da câmara de sucção, para esta não colapsar ou flutuar e devem ser atendidas as condições mínimas de segurança da estabilidade física, além disto:
- d) Considerar no estudo das condições mínimas de segurança o peso da estrutura, incluindo somente o peso dos equipamentos permanentes da instalação, comparado à sub-pressão/empuxo gerada(o) pelo nível freático;
- e) Recomenda-se aplicar fator de segurança mínimo de 1,2 para garantia na atenuação dos riscos da flutuabilidade;
- f) Recomenda-se avaliar o uso e ocupação do solo no entorno da estrutura, e as possíveis influências na sua estabilidade;
- g) Ser estanque. Recomenda-se avaliar a necessidade de impermeabilização quando da aplicação de estruturas de concreto, alvenaria, ferrocimento, outros materiais montados ou moldados *in loco*, e o atendimento aos requisitos específicos estabelecidos pela prestadora de serviço ou contratante;
- h) Compatibilização entre os diferentes materiais aplicados na câmara de sucção. Quando não houver, prever os devidos elementos para a transição.

A câmara de sucção dever ser provida de um mecanismo descarregador de emergência, de forma a extravasar o afluyente na hipótese de exceder o volume útil (Fernandes, 2008).

2.4 Bombas Hidráulicas

O presente trabalho se desenvolve no estudo de bombas centrífugas. Dentre elas, destacam-se três tipos: as centrífugas/escoamento radial, as de escoamento axial e as de escoamento misto (Fernandes, 2008). As bombas centrífugas, como o nome indica, utilizam a força centrífuga para mover o líquido de um ponto ao outro conferindo um aumento de pressão.

- Bombas Centrífugas de Escoamento Radial: o líquido penetra axialmente no rotor, paralelo ao eixo, sendo direcionado pelas pás para a periferia fazendo com que o líquido saia na direção ortogonal ao eixo (radial). A entrada do líquido pode ser por aspiração simples (por um lado) ou aspiração dupla (por dois lados).

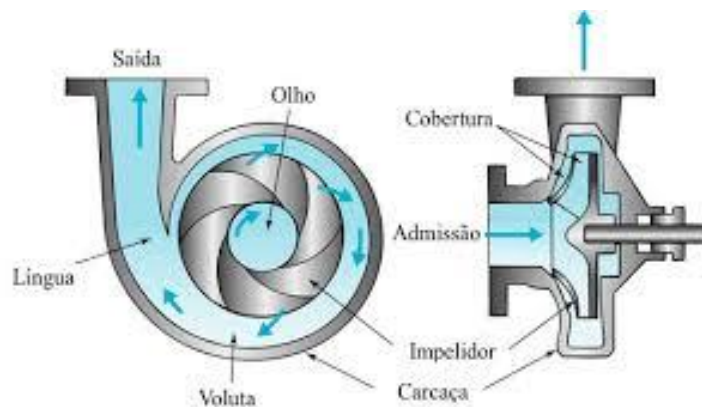


Figura 1: Esquema de bomba centrífuga radial.

Fonte: (Potter , Wiggert, & Ramadan, 2010)

- Bombas Centrífugas de Escoamento Axial: o líquido penetra axialmente no rotor, paralelo ao eixo, diferentemente da de escoamento radial que conduz o líquido para uma saída ortogonal, este modelo conduz o líquido parcialmente de forma axial. A pressão gerada é devida especialmente pela ação da sucção (ou arrasto). Seu uso destina-se essencialmente para grandes vazões, sendo comumente empregadas em irrigações.

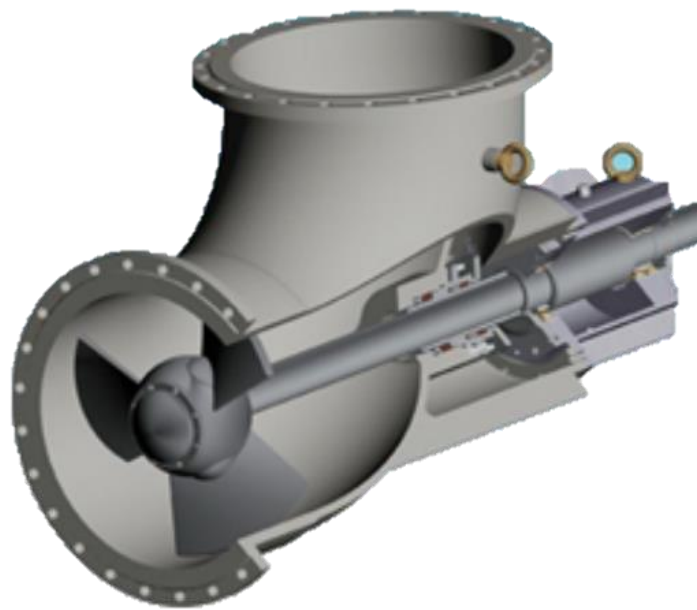


Figura 2: Esquema de bomba centrífuga axial.

Fonte: (Brasil, 2010) – Adaptado pelo autor

- Bombas Centrífugas de Escoamento Misto: sendo um caso semelhante entre a bomba radial e axial, em relação à trajetória e empregos. O líquido penetra axialmente no rotor e é direcionado para uma trajetória diagonal, sendo comumente empregada em médias vazões e médias alturas de elevação.

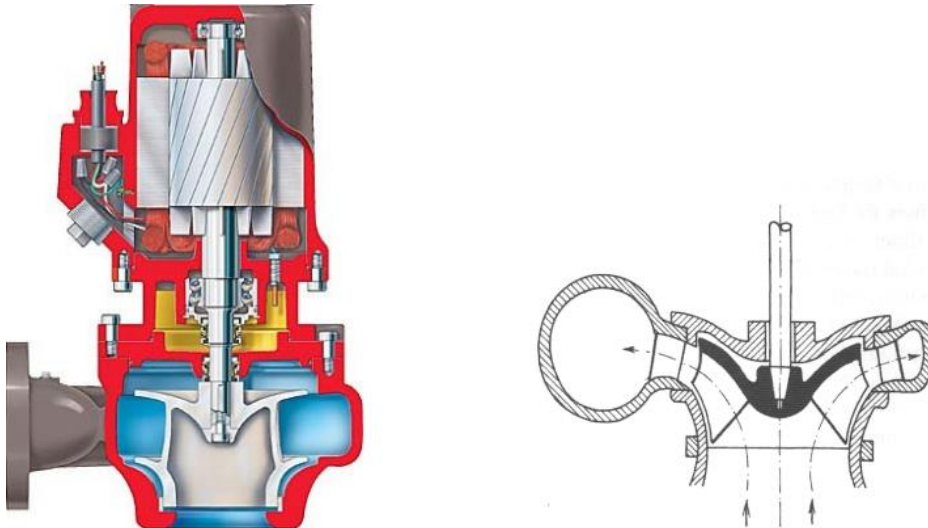


Figura 3: Esquema de bomba centrífuga mista.

Fonte: (Brasil, 2010) – Adaptado pelo autor

De acordo com a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020, p. 16) o número de partidas máximas por hora do conjunto moto-bomba deve ser inferior ou igual a 5. Contudo, a norma também prevê que em EEE de menor porte, com vazão de até 7L/s, a adoção de um número máximo de partidas por hora igual ou inferior a 15, conforme a recomendação da prestadora de serviço, contratante ou fabricante. Fabricantes admitem um intervalo de tempo entre duas partidas sucessivas da bomba de 10 min.

De acordo com a NBR 12.208 (ABNT, 2020, p. 47), Anexo A item A.12, deve-se prever um sistema de automação que possibilite as partidas de acordo com as características do equipamento instalado. A instrumentação e o sistema de automação devem garantir que seja feita a modulação da vazão a ser bombeada, para a medição de pressões de sucção e recalque, potência elétrica de operação, de forma a monitorar e otimizar a operação de todo o sistema. Em instalações de menor porte é facultativo o uso de equipamentos para monitoramento ou modulação da vazão.

A NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020, p. 21) estabelece os seguintes critérios a serem considerados na seleção do conjunto moto-bomba:

- Vazão de recalque;
- Altura manométrica;
- NPSH disponível;
- Número de conjuntos moto-bomba;
- Rendimento do sistema.

2.5 Condutos de Elevação

No projeto de uma estação elevatória existem dois principais pontos a serem considerados em relação ao custo de implantação. O primeiro é a potência do conjunto moto-bomba e o segundo é o diâmetro da tubulação de recalque. Esses dois custos são inversamente proporcionais quando a referência é o diâmetro. Um diâmetro muito grande resulta em uma menor perda de carga, o que implica menor altura total de elevação e menor potência do conjunto moto-bomba. Dessa forma, o custo de implantação do conjunto moto-bomba é menor, porém, o custo da tubulação se torna

maior. Ao passo que uma tubulação com diâmetro pequeno tem um custo menor da linha adutora e maior custo do conjunto, devido a maior perda de carga (Porto, 2006).

A vazão e a altura geométrica são fixas, contudo, os custos da tubulação de recalque e do conjunto moto-bomba, incluindo energia elétrica gasta, dependem de formas opostas do diâmetro determinado. Dessa forma, o professor Rodrigo de Melo Porto apresenta em seu livro de Hidráulica Básica a curva que define o diâmetro mais conveniente (Porto, 2006). Se trata da soma entre a curva de custo da tubulação e a curva de custo do conjunto elevatório. Os parâmetros considerados nessa otimização são: custo total do projeto, incluindo abertura de valas, assentamento das tubulações, consumo de energia elétrica, custo econômico do capital investido.

Para esse problema complexo do diâmetro econômico, existe uma tratativa simplificada quando se tem uma instalação de baixa potência. Todas as equações, gráficos, parâmetros e considerações são resumidos em uma fórmula, chamada fórmula de Bresse que é detalhada no item 3.2.2. Essa fórmula depende basicamente da vazão de projeto e de uma constante, que está relacionada aos custos de material, mão de obra, operação e manutenção do sistema. Contudo a fórmula de Bresse só é aplicada nos casos de funcionamento contínuo, 24 horas por dia. O conjunto moto-bomba dimensionado irá funcionar em parte do dia, dessa forma deverá ser usada a equação recomendada pela NBR-5626, que leva em consideração a fração do dia em que o conjunto será acionado.

2.6 Requisitos Específicos

De acordo com a ABNT NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020), alguns dos requisitos específicos necessários para o dimensionamento de uma EEE são destacados a seguir. Na norma constam outros itens, mas foram ocultados por não fazerem parte do escopo deste trabalho.

- a) Localização da estação de bombeamento ou elevatória.
- b) Elementos topográficos, geotécnicos, geológicos e arqueológicos na área de abrangência da estação de bombeamento ou elevatória.
- c) Relação das características hidráulicas e morfológicas.
- d) Vazão para dimensionamento.

- e) Dimensionamento e desenvolvimento do projeto da estação de bombeamento ou elevatória.
- f) Dimensionamento da câmara de sucção (ou poço de sucção).
- g) Dimensionamento do volume útil da câmara de sucção (ou do poço de sucção).
- h) Tempo de detenção médio.
- i) Forma e dimensões da câmara de sucção (ou do poço de sucção)
- j) Dimensionamento dos barriletes de sucção e de recalque
- k) Vazão de recalque
- l) Altura manométrica
- m) NPSH disponível
- n) Número de conjuntos moto-bomba
- o) Rendimento do sistema
- p) Estudo de viabilidades técnica, financeira e econômica para o sistema de bombeamento projetado
- q) Requisitos gerais
- r) Custos e despesas
- s) Estudo da estação de bombeamento ou elevatória, contemplando diversas
- t) Alternativas de tipos de conjunto moto-bomba

2.7 Consumo Energético

De acordo com Heber Pimentel e Paulo Sérgio (Gomes & Carvalho, 2012, p. 5), os sistemas de abastecimento e de esgotamento sanitário são responsáveis por aproximadamente 3% da energia consumida no mundo. No Brasil a situação é similar e, de acordo com os dados do Programa Nacional de Conservação de Energia para o setor de saneamento (Procel Saneam), esses sistemas foram responsáveis por cerca de 4% do total de consumo de energia elétrica em 2018, correspondendo a um consumo de aproximadamente 12 bilhões de kWh/ano. O Procel Saneam é desenvolvido pela Eletrobras e possui como objetivo promover ações que visem diminuir o uso ineficiente de energia elétrica e água em sistemas de abastecimento e esgotamento sanitário.

Tal consumo de energia elétrica refere-se aos usos nos processos de abastecimento de água e esgotamento sanitário. O programa também incentiva o uso efetivo de recursos hídricos, tendo como estratégia prevenir a escassez de água para a geração de energia por usinas hidroelétricas.

A maior parte desse consumo se deve aos equipamentos moto-bomba usados em Estações Elevatórias, correspondendo a aproximadamente 90% da energia consumida (Gomes & Carvalho, 2012). É importante evidenciar que parte da energia gasta no setor de saneamento deve-se à ineficiência do sistema.

Atualmente, no mundo, tem-se que aproximadamente 25% da energia consumida seja gasta em sistemas ineficientes energeticamente. Isso se deve ao uso de equipamentos de bombeamento com baixo rendimento, seja por serem obsoletos ou mal dimensionados, pela perda de carga excessiva nas linhas hidráulicas de adução e em tubulações de abastecimento, da precária ou ausência de manutenção, e por procedimentos de operação incorretos ou inexistentes (Gomes & Carvalho, 2012).

Condicionantes importantes para o dimensionamento de estações elevatória, o volume do poço úmido e seu formato, tempo de detenção do efluente (período no qual a bomba estará em funcionamento) e o número de acionamentos são fatores que inferem diretamente no consumo de energia elétrica (Gomes & Carvalho, 2012).

De acordo com Heber e Paulo (Gomes & Carvalho, 2012) e seus estudos sobre conjuntos moto-bomba em estações elevatórias, quanto maior o poço de sucção menor será o tempo de funcionamento e um menor número de acionamentos dos motores.

No dimensionamento de sistemas de esgotamento sanitários deve-se levar em consideração os limites de velocidade nos condutos. De acordo com a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020) a tubulação de sucção deve ter uma velocidade entre 0,6 m/s e 1,5 m/s, já para a tubulação de recalque deve ter uma velocidade entre 0,6 m/s e 3,0 m/s, exceções para esses intervalos devem ser justificadas atendendo aos critérios técnicos e econômicos. A norma prevê que para estações elevatórias com baixa vazão de projeto (menor que 3 L/s) é aceitável velocidade abaixo de 0,6 m/s desde que seja justificada tecnicamente.

A respeito do tempo de detenção do esgoto sanitário no poço úmido, a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020) preconiza que se deve adotar o menor possível, recomendando que o tempo máximo não exceda 30 minutos. “Deve ser o menor tempo de detenção possível e, portanto, eventuais folgas nas dimensões da câmara de sucção ou poço de sucção devem ser eliminadas. O maior valor recomendado é de 30 min” (ABNT NBR 12.208, 2020, p. 22).

Isto posto, a utilização de poços com menores volumes apresenta a melhor solução. No entanto, a adoção de poços pequenos resulta em menores ciclos de acionamento do conjunto moto-bomba, devido aos tempos de enchimento e esvaziamento. O maior número de acionamentos poderá acarretar um superaquecimento do conjunto moto-bomba, pois é gerado uma determinada quantidade de calor a cada partida (Gomes & Carvalho, 2012).

2.8 Outras Considerações

De acordo com a NBR 12.208 (ABNT, ABNT NBR 12.208, 2020), os elementos necessários para a concepção de um projeto de EEE são apresentados a seguir:

- a) A caracterização da estação de bombeamento ou estação elevatória, pontos de sucção e de recalque/descarga, vazão de dimensionamento, características físico-químicas e biológicas do esgoto a ser bombeado ou elevado, níveis de enchente ou inundação no local;
- b) O levantamento planialtimétrico cadastral da área da estação de bombeamento ou elevatória com detalhes da vegetação, tipo de pavimento, acesso, obras especiais, indicação das interferências;
- c) O cadastro de unidade(s) operacional(is) relacionada(s) à estação de bombeamento ou elevatória e de interferências;
- d) Informações ou levantamentos socioambientais, geotécnicos, geológicos e arqueológicos, vazão de outorga, se aplicável;
- e) Dados físicos e operacionais do sistema de esgotamento sanitário existente;
- f) Disponibilidade de energia elétrica;
- g) Estudos, planejamentos e projetos existentes correlacionados;
- h) Estudo de concepção do sistema de esgotamento sanitário, elaborado conforme a ABNT NBR 9648;

- i) Planos diretores do sistema de esgotamento sanitário e demais planos diretores;
- j) Plano de urbanização, legislação relativa ao uso e ocupação do solo;
- k) Restrição ambiental que interfira na área de influência do projeto;
- l) Plano de saneamento básico;
- m) condições mínimas de segurança e medicina do trabalho, conforme legislação e normas vigentes;
- n) Legislações pertinentes vigentes;
- o) Critérios, procedimentos e diretrizes da prestadora de serviço ou contratante do sistema de esgotamento sanitário;
- p) Vazões médias afluentes, inicial e final (Q_i e Q_f), definidas conforme literatura específica.

3 METODOLOGIA

3.1 Descrição da área de Estudo

Ao definir a proposta de estudo, estabeleceu-se a metodologia de pesquisa a ser utilizada, sintetizando todas as ações necessárias para se atingir o objetivo final esperado. Na Figura 4, o fluxograma define a estrutura metodológica utilizada na pesquisa e a sequência de trabalho adotada, definindo os procedimentos empregados nas etapas de desenvolvimento.

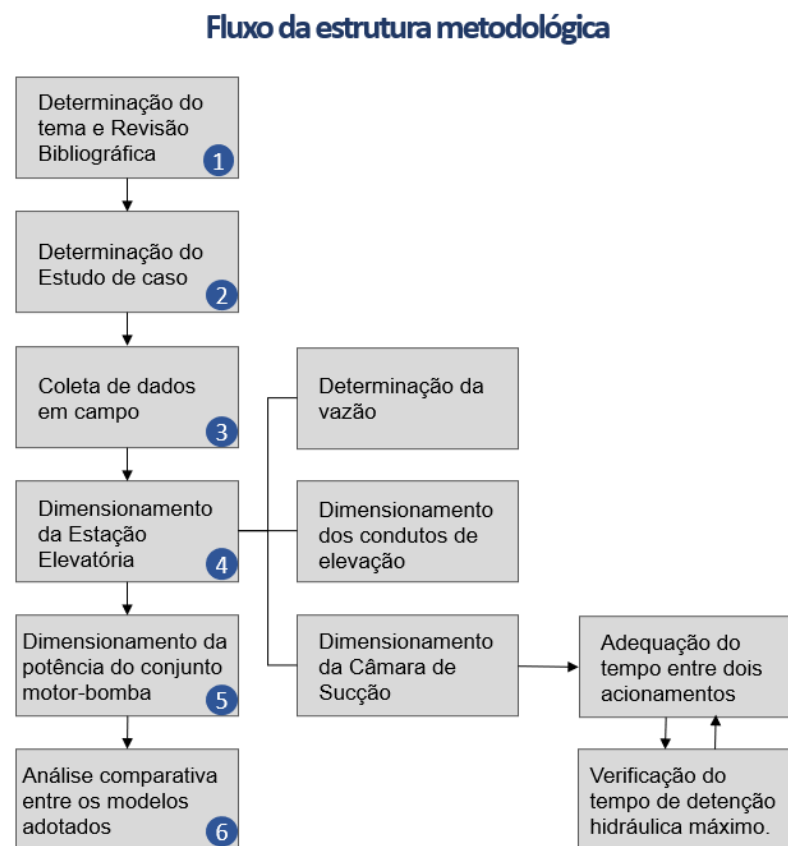


Figura 4: Fluxograma de trabalho.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1.1 Determinação do tema e Revisão Bibliográfica

Estabeleceu-se como estudo, o dimensionamento do conjunto motobomba, sucedendo a solução que melhor se adeque aos critérios pré-estabelecidos.

Por ser uma importante instalação dos sistemas de tratamento de esgoto, como informado na Revisão Bibliográfica, a proposição de estudo de uma estação elevatória é um tema relevante para delimitação da pesquisa. Definiu-se o tema da revisão bibliográfica do trabalho, as Estações Elevatórias. Foi tratado de temas como saneamento básico no Brasil, poço de sucção e tubulação de recalque e o quanto seus dimensionamentos adequados influenciam no consumo de energia e no custo de implantação.

3.1.2 Determinação do Estudo de Caso

Em seguida a definição do tema a ser estudado, determinou-se um estudo de caso que se relacionasse com a proposta do trabalho e abrangesse os fundamentos da engenharia civil. O estudo deste trabalho se refere a uma Estação Elevatória de Esgoto que fará parte do futuro sistema de tratamento de águas residuárias da UFOP campus Morro do Cruzeiro. Foi desenvolvido um Estudo de Concepção e Projeto Básico de uma Estação Elevatória de Esgoto, visando o melhor aproveitamento energético.

A EEE no campus é necessária devido à topográfica do terreno, onde há um sistema de esgotamento sanitário dividido em duas bacias (ver Figura 5). Foi definido neste trabalho que a Bacia 1 é a que recebe os efluentes do Restaurante Universitário (RU), Departamento de Geologia (DEGEO) e Departamento de Minas (DEMIN). Já a Bacia 2 recebe o efluente do resto do campus e das moradias estudantis vizinhas, consequentemente, a maior parte do esgoto está associado a ela. É prudente dizer então que a melhor maneira de concentrar a coleta de todo efluente produzido pela UFOP seja levar o esgoto da Bacia 1 até um ponto em comum com a Bacia 2. O local proposto para instalação da EEE está representado na Figura 5. Dessa forma, o foco deste trabalho está na Bacia 1, que têm as seguintes características das águas residuárias por dependência:

- Restaurante Universitário: água residuária proveniente de caixa de gordura e banheiros;
- Departamento de Geologia: água residuária proveniente de banheiros;
- Departamento de Minas: água residuária proveniente de banheiro

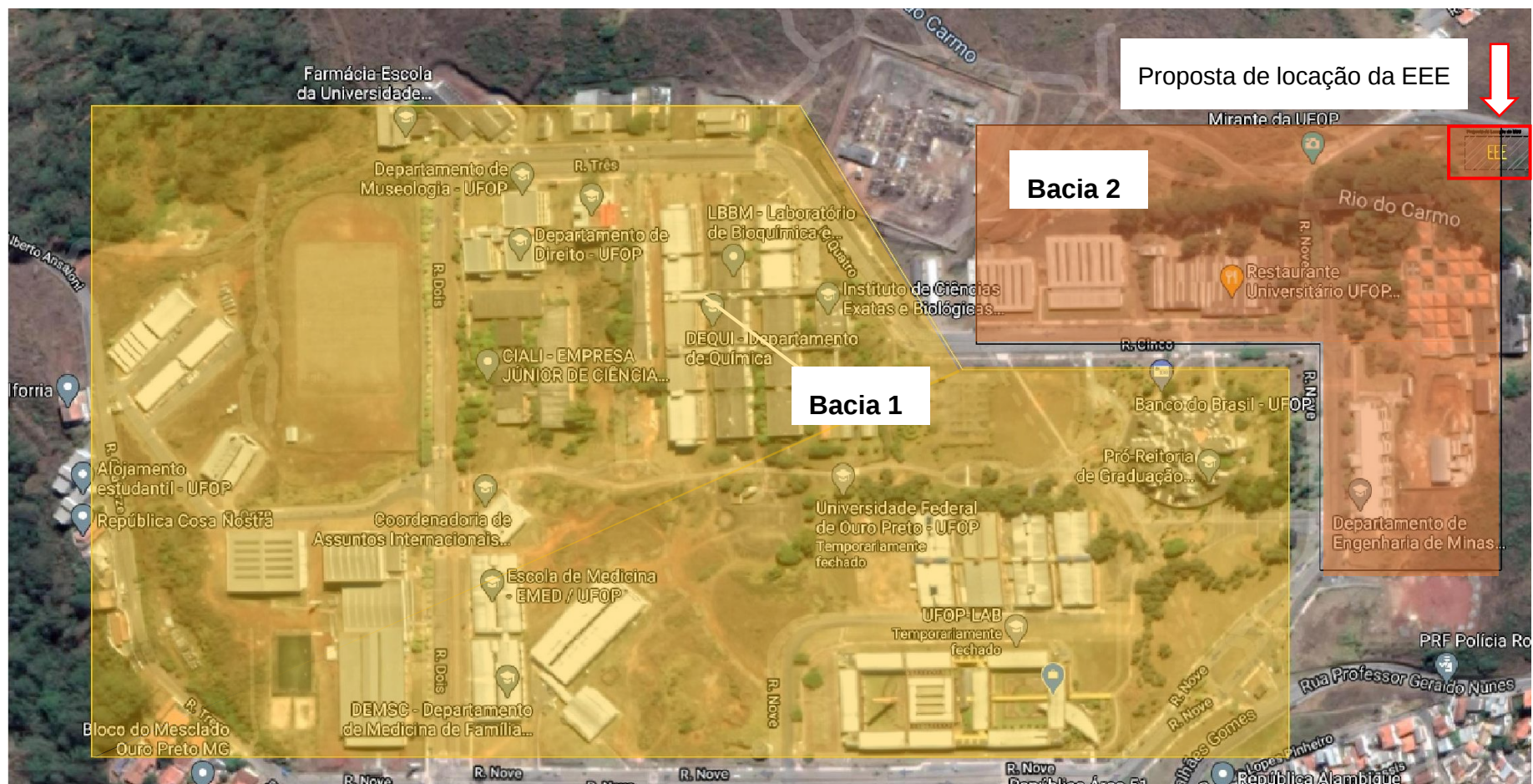


Figura 5: Representação da Bacia 1 e Bacia 2 no campus Morro do Cruzeiro.

Fonte: Google Maps – Adaptado pelo Autor, sem escala.

Dado o estudo de caso, buscou-se caracterizar o efluente produzido pela UFOP. Foi feita a caracterização qualitativa e quantitativa das águas residuárias do campus Morro do Cruzeiro, contemplando as duas bacias existentes.

As águas residuárias geradas no campus Morro do Cruzeiro foram caracterizadas quanto à qualidade (caracterização física, química e microbiológica) e quantidade (vazão). Nesse trabalho foi usado somente os dados de vazão gerada.

Destaca-se que apesar deste estudo se basear nos dados de Concepção Básica de um sistema de tratamento de águas residuárias, procurou-se estabelecer uma metodologia que possa ser adotada em outros projetos de EEE. Desse modo, as análises deste trabalho podem ser adotadas em outros estudos, desde que recebam as devidas considerações quanto as especificidades de cada sistema.

3.2 Dimensionamento do Conjunto Elevatório

3.2.1 Estudo das vazões

A caracterização quantitativa das águas residuárias da UFOP no campus Morro do Cruzeiro ocorreu a partir da aferição direta da vazão pelo método volumétrico, conforme a NBR 13.403 (ABNT, 1995), sendo indicado para vazões de até 5 l/s.

É cauteloso atentar para a contribuição proveniente das águas da chuva, que por meios irregulares chegam à rede coletora de águas residuárias aumentando assim o volume das águas destinadas ao tratamento. Nos períodos em que ocorreram as medições, não ocorreram chuvas que pudessem contribuir para as vazões das águas residuárias amostradas.

Foram realizadas três medições nos dias 8, 9 e 10 de outubro de 2019 nos pontos das duas bacias. As medições se sucederam a cada 2 horas e simultaneamente em cada ponto de amostragem, durante um período de 12 horas por dia, iniciando-se às 9 horas e encerrando às 21 horas.

Pode ser observado através da

Tabela 1, onde os dados obtidos de vazão amostrados na rede coletora da Bacia 1 estavam dentro do limite recomendado pela norma.

Tabela 1: Medições de vazões das águas residuárias da Bacia 1.

Vazões aferidas na Bacia 1 (L/s)				
Datas	n° de aferições/dia	Média	Mediana	Máximo
08/10/2019	6	0,66	0,45	1,53
09/10/2019	7	1,02	1,03	1,85
10/10/2019	7	0,92	0,91	1,62
Média global	-	0,87	0,79	1,67

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para fins deste trabalho, utilizou-se apenas os dados correspondentes da Bacia 1, sendo a única que contribui para a EEE a ser dimensionada. Na Figura 6 é apresentado o hidrograma de vazões das águas residuárias da Bacia 1, obtido a partir das aferições feitas em campo nos três dias.

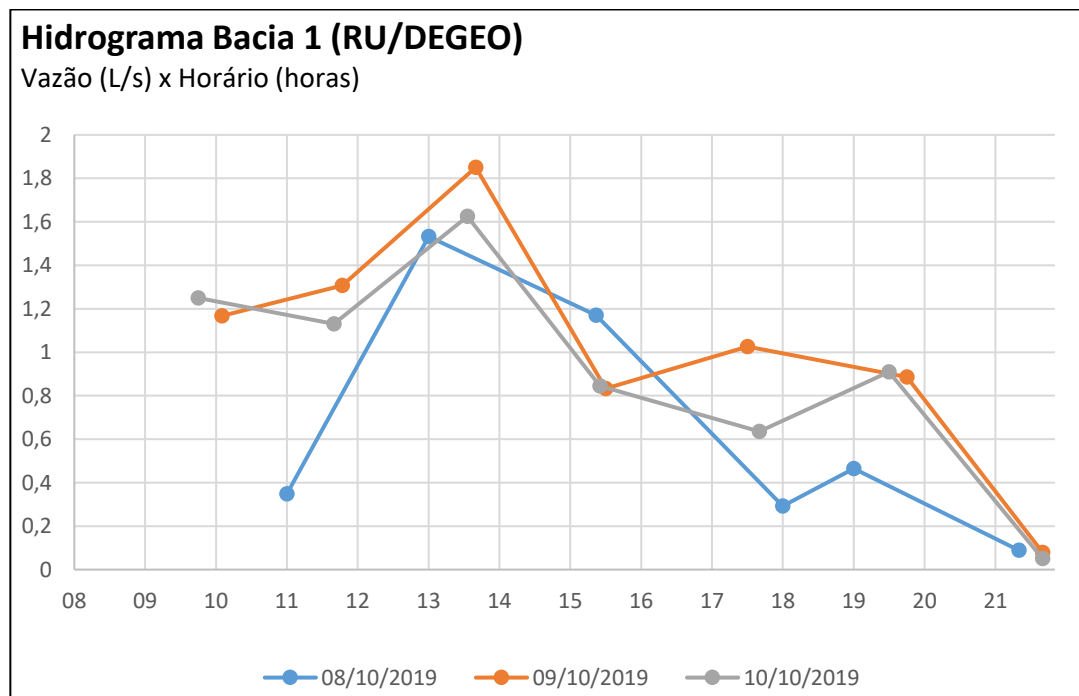


Figura 6: Hidrograma das águas residuárias da Bacia 1.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Figura 7 é apresentado o ponto de coleta da bacia 1, localizado no IFMG, onde é feita a aferição de uma medição pelo autor do presente estudo.



Figura 7: Sequência fotos das coletas de esgoto.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outra forma de obter a vazão do efluente é a partir de uma estimativa de consumo. Este método foi usado em 2010 pela empresa COPASA e apresentado à UFOP. A empresa foi responsável por elaborar o projeto de concepção da estação elevatória de esgoto para atender a necessidade do campus. Para o cálculo da estimativa da vazão foi feito inicialmente uma projeção da população até o ano de 2030, considerado como fim de plano 12.000 habitantes. Os parâmetros usados para a estimativa da vazão foram:

- População de projeto (fim de plano): 12.000 habitantes;
- Consumo per capita de água no restaurante: 35 l/refeição*dia;
- Consumo per capita de água para as demais unidades: 50l/hab*dia;
- Coeficiente do dia de maior descarga: $k_1 = 1,20$;
- Coeficiente de hora de maior descarga: $k_2 = 1,50$;
- Coeficiente de retorno: $Cr = 0,8$;

3.2.2 Dimensionamento dos Conduitos de Elevação

Como descrito na Introdução, o presente trabalho buscou adequar locação da EEE de forma a obter a menor cota possível, buscando também um local de fácil acesso, que facilite as manutenções no decorrer da vida útil. Na Figura 8 é apresentado a proposta de locação do conjunto elevatório. É destacado também o traçado da tubulação de recalque até o ponto de maior cota, totalizando aproximadamente 446,90 metros.

Na sequência, é apresentado o corte longitudinal do terreno (ver Figura 9). Através deste é possível extrair a altura geométrica, que foi utilizada para o cálculo da altura manométrica total. A altura geométrica é a diferença entre a cota de implantação da EEE (1210 m) e a cota mais elevada do trajeto (1219 m) totalizando 9 metros. Foi considerado ainda 1,0 metro para compensar as posições exatas da instalação do conjunto elevatório e da saída do efluente. Dessa forma, a altura geométrica considerada foi de 10 metros.

Estão destacadas com uma seta vermelha na Figura 8 e na Figura 9 o ponto de saída do efluente. Até este ponto, que possui a maior cota, a elevatória irá bombear o esgoto, a partir daí será escoado por gravidade até o encontro do lançamento da Bacia 2.

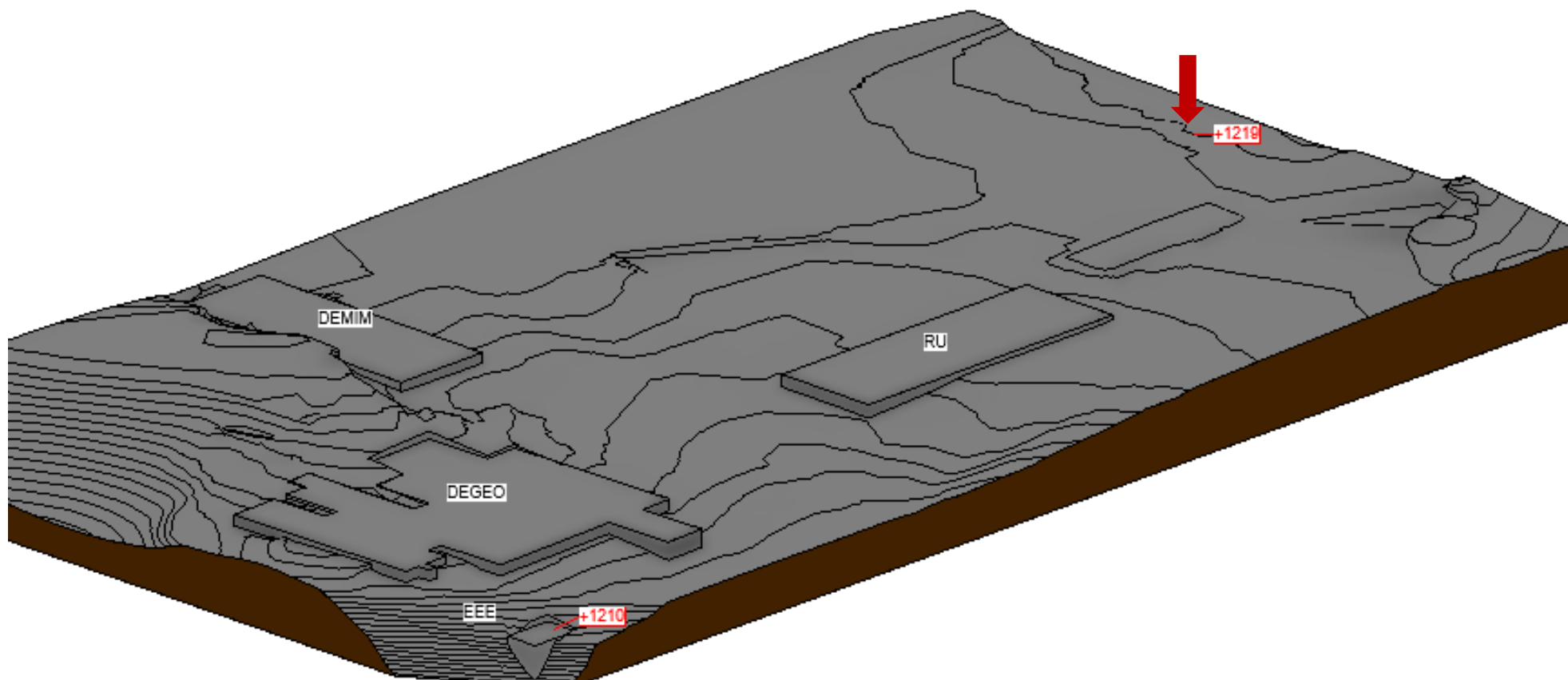


Figura 9: Corte longitudinal da topografia do campus Morro do Cruzeiro.

Fonte: Prefeitura do Campus (PRECAM) – Adaptado pelo Autor.

- Perda de carga linear

A perda de carga linear foi calculada a partir da Equação 1 de Hazen-Williams, apresentada a seguir:

$$\Delta h_L = \frac{10,65 * Q_b^{1,852}}{C^{1,852} * D^{4,87}} * L$$

Equação 1: Perda de carga linear.

Foi considerado como material da tubulação de recalque ferro fundido, sendo o coeficiente de rugosidade (C) 130. O diâmetro da tubulação de recalque é hidraulicamente indeterminado. Como descrito na Revisão Bibliográfica, se trata de um sistema complexo de equações e parâmetros envolvendo mão de obra, materiais e consumo de energia. Em pequenas instalações, pode-se utilizar a equação simplificada de Bresse. Contudo esta equação é aplicada somente a sistemas com funcionamento contínuo, 24 horas por dia. O conjunto moto-bomba previsto neste trabalho terá seu funcionamento em parte do dia. Dessa forma, a NBR-5626 prevê uma adaptação da fórmula de Bresse, de forma a considerar a fração do dia em que o conjunto elevatório estará em funcionamento. A fórmula é apresentada pela Equação 2. O coeficiente X é referente a fração do dia, ou seja, a quantidade de horas de funcionamento dividido por 24.

$$D_i = 1,3 * \sqrt[4]{X} * \sqrt{Q}$$

Equação 2: Adaptação da fórmula de Bresse (NBR-5626)

Sendo:

D_i : Diâmetro interno, mm.

X: Fração de funcionamento no dia.

Q: Vazão de bombeamento (m³/s).

O comprimento da tubulação (L), foi estimado a partir do levantamento topográfico, onde definiu-se o caminho a ser percorrido pela tubulação até o despejo do afluente que posteriormente será encaminhado para a ETE.

- Perda de carga localizada

Para o cálculo da perda de carga localizada, foram considerados os seguintes itens:

- ✓ 2 Curvas 90°
- ✓ 4 Curvas 45°
- ✓ 1 Saída de Canalização
- ✓ 1 Válvula de Retenção
- ✓ 1 Peça de Junção
- ✓ 1 Registro de Gaveta aberto

A perda de carga localizada foi calculada a partir da seguinte equação:

$$h_p = K * \frac{V^2}{2g}$$

Equação 3: Perda de carga localizada.

Sendo:

h_p : perda de carga localizada, m.

K: Coeficiente de perda de carga ou coeficiente de singularidade.

V: velocidade de escoamento, m/s.

g: aceleração da gravidade, m/s².

Os valores da velocidade de escoamento (V) variam de acordo com as vazões de bombeamento, para isso estabeleceu-se os limites máximo e mínimo recomendados pela NBR 12.208 apresentados nos tópicos anteriores. O coeficiente de singularidade (K) foi estabelecido em função dos acessórios na tubulação de recalque, como registros, ventosas, mudanças de direção, dentre outros. Vale ressaltar que poderia ter sido usado o método dos comprimentos equivalentes para o cálculo da perda de carga localizada.

- Perda de carga total

A perda de carga total foi calculada a partir da seguinte equação:

$$\Delta h_{Total} = \Delta h_L + \Delta h_s$$

Equação 4: Perda de carga total.

- Altura manométrica

A altura manométrica foi calculada a partir da seguinte equação:

$$H_m = \Delta h_{Total} + \Delta h_{Dif. de cota}$$

Equação 5: Altura manométrica

3.2.3 Câmara de Sucção (Poço Úmido)

Como mencionado anteriormente, a câmara de sucção é um compartimento destinado a receber e acumular as águas residuárias durante um período.

O dimensionamento da câmara de sucção foi em função da intermitência dos acionamentos das bombas e do tempo de detenção das águas residuárias. O volume útil da câmara de sucção é diretamente dependente da capacidade de bombeamento do conjunto moto-bomba, e o tempo de detenção do esgoto foi um limitante para o volume máximo do poço em função da vazão do seu afluente. O tempo de intermitência dos acionamentos deve estar dentro dos limites recomendados pela NBR 12.208 que dita 6 acionamentos por hora ou menos.

Para o dimensionamento da câmara de sucção da EEE, foi inicialmente calculado o volume útil, que é a porção do poço que está entre o nível mínimo e o nível máximo de operação. A seguir é apresentado a Equação 6 para se determinar o volume útil:

$$V_{\text{útil}} = \frac{Q_b * T}{4}$$

Equação 6: Volume útil da Câmara de sucção.

Sendo:

$V_{\text{útil}}$: Volume útil, m³;

Q_b : Capacidade de bombeamento da bomba, m³/min;

T: Intervalo de tempo entre duas partidas seguidas da bomba, min.

Como apresentado na Revisão Bibliográfica, quanto menor o poço de sucção, maior é a quantidade de acionamentos da bomba por hora e por consequência, maior o consumo energético. Considerando que a capacidade de bombeamento não altera,

temos que quanto maior for o intervalo de tempo entre dois acionamentos sucessivos, maior o volume útil do poço de sucção. Dessa forma, foi adotado o maior valor de T, de forma que o tempo de detenção hidráulica máximo não ultrapasse 30 min, o recomendado pela ABNT NBR 12.208.

O intervalo T entre dois acionamentos é dado pela soma do tempo de parada e o tempo de funcionamento. O tempo de parada é referente ao período necessário para o afluente subir do nível mínimo de operação até o nível máximo, considerando a bomba desligada. O tempo de funcionamento é referente ao período gasto para o afluente descer do nível máximo (quando a bomba é ligada) até o nível mínimo (quando a bomba é desligada), considerando a chegada do afluente simultânea ao bombeamento. Dessa forma, temos que o intervalo T pode ser definido pela Equação 7 apresentada a seguir:

$$T = t_p + t_f$$

Equação 7: Intervalo de funcionamento entre duas partidas

Sendo:

t_p : tempo de parada, dado por: $t_p = \frac{V_u}{Q_{afluente}}$

t_f : tempo de funcionamento, dado por: $t_b = \frac{V_u}{(Q_b - Q_{afluente})}$

Para determinar o volume efetivo da câmara de sucção da EEE foi utilizado a Equação 8 apresentada a seguir:

$$V_{efetivo} = Q_m * T_d$$

Equação 8: Volume efetivo da Câmara de sucção.

Sendo:

$V_{efetivo}$: volume efetivo, considerado entre do fundo do poço até o nível médio de operação da câmara de sucção, m³.

Q_m : vazão média de projeto do afluente no início da operação.

T_d : Tempo de detenção no poço, que deve ser menor do que 30 min

Por recomendações normativas, deve-se estabelecer o tempo de detenção máximo o menor possível para evitar a anaerobiose da água residuária e, com isso, recomenda-se evitar eventuais folgas nas dimensões da câmara de sucção. Contudo, para reduzir o consumo de energia, foi adotado o T_d que possibilite o maior volume útil possível, pois dessa forma é possível obter o maior intervalo entre dois acionamentos consecutivos. Para este cálculo, foi fixado $T_d = 30$ minutos e a partir daí encontrado os valores de Volume efetivo, tempo de acionamento entre duas partidas, tempo de parada, tempo de funcionamento e volume útil. Na Figura 10 é apresentada a relação entre o volume útil e os tempos de parada, funcionamento e detenção hidráulica.

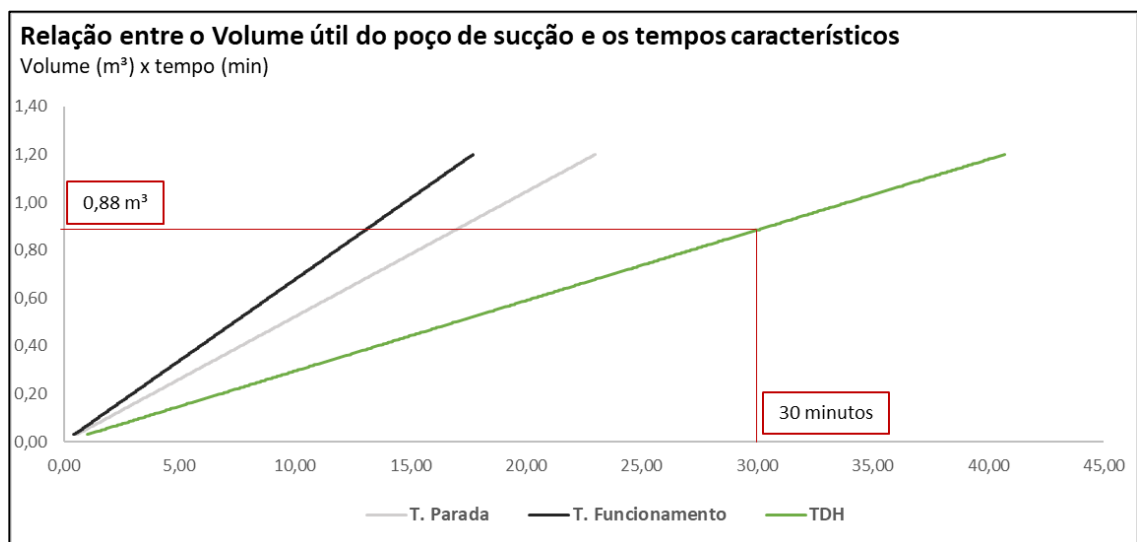


Figura 10: Relação entre o Volume útil e os tempos característicos

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Dessa forma, fixando o TDH = 30 min e resolvendo as demais equações, foi encontrado que o intervalo de tempo entre dois acionamentos consecutivos é igual a 29,49299 min. Foi adotado então que o intervalo de tempo entre duas partidas fosse igual a 29 minutos. Com isso, foi encontrado TDH = 29,5 minutos e volume útil igual a 0,87 m³.

3.2.4 Bombas Hidráulicas

Para determinação e escolha do conjunto moto-bomba, foram consultados manuais técnicos de bombas da fabricante KSB. A KSB é um dos principais fabricantes de bombas e válvulas do mundo, com grande reconhecimento técnico no assunto. Todos os manuais consultados estão disponíveis em seu site (KSB Brasil Ltda., 2021). Na Figura 11 é apresentado o fluxo seguido para identificação do conjunto moto-bomba que melhor se adequa aos parâmetros deste estudo.

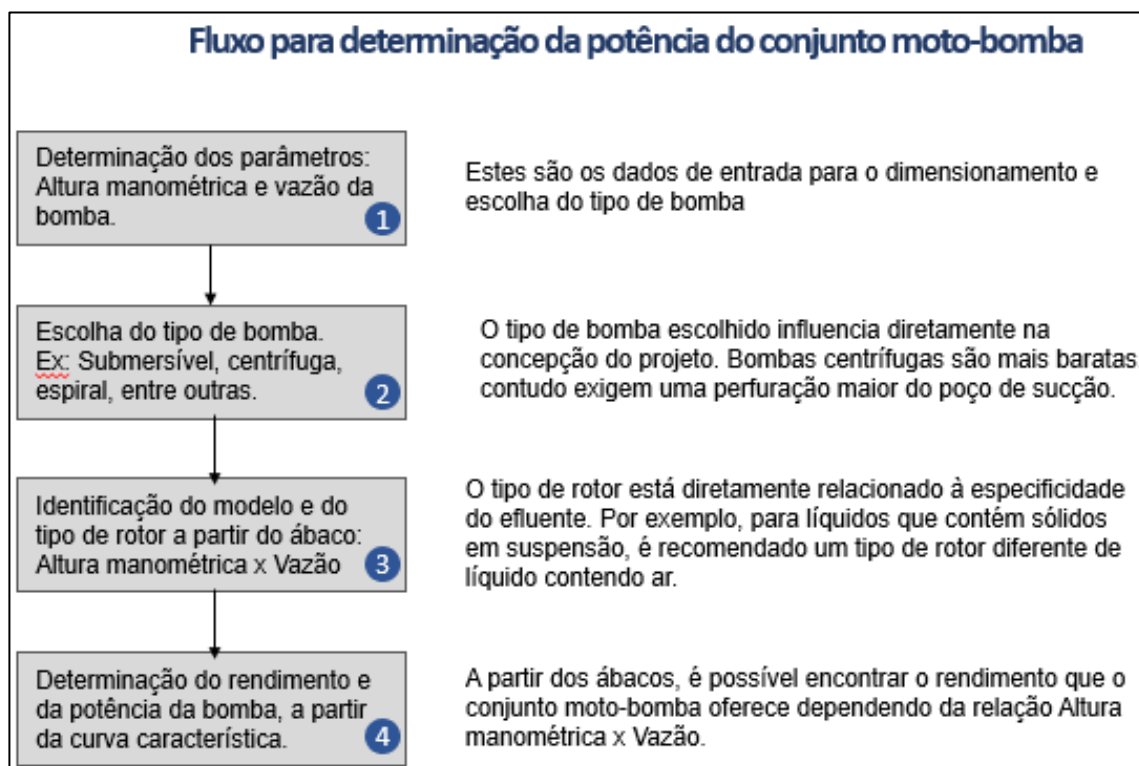


Figura 11: Fluxo para determinação da potência do conjunto moto-bomba

Fonte: (Porto, 2006), adaptado pelo autor

As bombas seguem uma denominação que as classificam de acordo com a marca, modelo, tipo de rotor, diâmetro do rotor, entre outros parâmetros. A Figura 12 apresenta como é feita essa denominação para as bombas KSB KRT.

3. Denominação

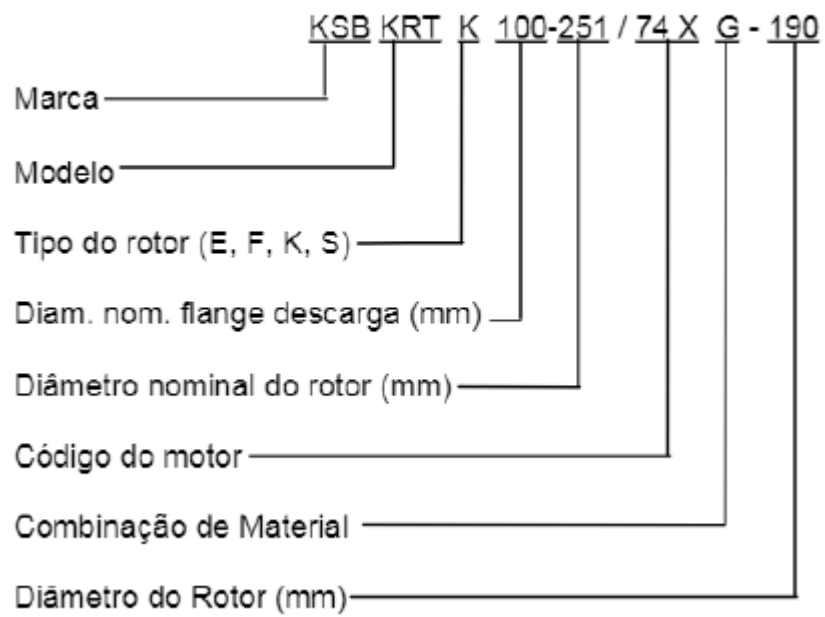


Figura 12: Denominação dos modelos de bombas

Fonte: Manual técnico A 2553.0P/1 (KSB Brasil Ltda., 2021)

4 RESULTADOS

4.1 Estudo das vazões

O primeiro parâmetro definido para o dimensionamento da EEE foi a vazão das águas residuárias, para posteriormente ser determinado a altura manométrica atingida através do bombeamento.

A seguir é apresentado as estimativas para as vazões médias das águas residuárias geradas na Bacia 1 do campus Morro do Cruzeiro da UFOP. É apresentado as vazões obtidas de forma direta e as determinadas no projeto da COPASA no ano de 2010 (ver

Tabela 2).

Tabela 2: Estimativas de vazões médias.

	B1 (RU/ DEGEO)		
	Medição Direta	COPASA (2010)	Desvio
Qméd (l/s)	0,87	3,93	351%
Qmáx (l/s)	1,85	6,33	240%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nota-se nos dados obtidos uma divergência entre os valores das vazões apresentadas nos diferentes estudos, sendo que o desenvolvido pela Empresa COPASA no ano de 2010 foi maior que os valores obtidos pela medição direta dos efluentes. Esta estimativa acima do que é realizado está associada a uma expectativa de aumento do corpo discente e docente que não ocorreu. Vale ressaltar também que em 2010 existia moradia estudantil dentro da UFOP, contribuindo com a vazão da Bacia 01. Desde o ano de 2018, essas moradias foram migradas para um espaço fora do campus.

Para o dimensionamento, foi adotado neste trabalho a vazão máxima de projeto obtida através da medição direta dos efluentes para a Bacia 1 de 1,85 L/s,

considerando o horário de maior pico aferido. Foi considerado para a capacidade de bombeamento, a vazão de 2,0 L/s, de forma a ter uma folga entre a vazão máxima e a capacidade da bomba.

4.2 Dimensionamento dos Condutos de Elevação

As tubulações de recalque serão projetadas com diâmetro econômico de DN 80 mm com material do tipo ferro fundido, possuindo uma extensão de aproximadamente 446,90 m. No cálculo para determinação do diâmetro apresentado na Equação 2, foi encontrado o valor de 49 mm, considerando o funcionamento da bomba durante 12 horas em um dia. O esgoto possui sólidos que podem causar o entupimento da tubulação, não sendo viável adoção de diâmetros pequenos. Então devido ao tipo de efluente a ser recalcado, optou-se pelo diâmetro de 80 mm, dessa forma é possível encontrar no mercado a tubulação de ferro fundido. Por adotar um diâmetro acima do encontrado na fórmula, é preciso ter atenção quanto à velocidade da tubulação. Considerando a vazão de projeto de 2 L/s, a velocidade encontrada foi de 0,40 m/s. A NBR 12208 prevê que a velocidade mínima na tubulação de recalque deve ser 0,60m/s. Contudo a norma apresenta uma exceção para estações de pequeno porte, sendo aceitável velocidade abaixo de 0,60 m/s desde que haja justificativa técnica. Essa exceção se dá para elevatórias com vazão de projeto abaixo de 3 L/s.

O diâmetro da tubulação de sucção é um diâmetro imediatamente acima do definido para o recalque, sendo DN 100 mm. A partir do diâmetro e materiais definidos, determinou-se as perdas de carga linear e localizada das tubulações de recalque, sendo apresentadas a seguir:

- Perda de carga linear:

Como indicado nos itens anteriores, foi aplicado a fórmula de Hazen-Williams para a determinação da perda de carga linear, apresentado na Tabela 3 a seguir:

Tabela 3: Tabela de perda de carga linear.

Perda de Carga Linear		
Parâmetro	Valor	Observação
Vazão de Bombeamento (Qb)	2,00 L/s	Vazão máxima
C	130	Ferro Fundido

D	80 mm	Fórmula simplificada de Bresse
L	446,90 m	Estimado a partir do mapa topográfico
Δh_L	1,28 m.c.a	Fórmula de Hazen-Williams

Fonte: Elaborado pelo Autor.

- Perda de carga localizada:

Nos itens anteriores, a partir da Equação 3 foi calculado a perda de carga localizada. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4: Tabela de perda de carga localizada.

Cálculo da Perda de Carga localizada				
Peças	Quantidade	K	$V^2/2g$	hp (m)
Curva 90°	2	0,40	0,008	3,23E-03
Curva 45°	4	0,20	0,008	1,61E-03
Saída de Canalização	1	1,00	0,008	8,07E-03
Válvula de Retenção	1	2,75	0,008	2,22E-02
Junção	1	0,40	0,008	3,23E-03
Registro de Gaveta Aberto	1	0,20	0,008	1,61E-03
Perda de carga localizada Total				0,04 m.c.a

Fonte: Elaborado pelo Autor.

- Perda de carga total:

A partir dos resultados obtidos nos itens anteriores, foi encontrado a perda de carga total, utilizada para a determinação da Altura Manométrica. O valor obtido para a perda de carga total é apresentado na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: Perda de carga total.

Perda de Carga Total	
Cálculo da Perda de Carga linear	1,28 m.c.a
Cálculo da Perda de Carga localizada	0,04 m.c.a
Total	1,32 m.c.a

Fonte: Elaborado pelo Autor.

- Altura Manométrica:

A partir da perda de carga total somada a diferença de cota geométrica, obtém-se a altura manométrica apresentada na Tabela 6 a seguir. Vale ressaltar que a diferença

de cota foi considerada a partir do fundo do poço até o ponto máximo que o efluente será bombeado.

Tabela 6: Altura Manométrica Total.

Altura Manométrica Total	
Diferença de cota	12,0 m
Perda de Carga Total	1,32 m.c.a
Total	13,32 m.c.a

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3 Câmara de Sucção (Poço Úmido)

Foi adotado para a Câmara de sucção o tipo circular em anel de concreto pré-fabricado com diâmetro de 1,0 m e área de 0,79 m². A partir dos dados das vazões, intervalo entre dois acionamentos e tempo de detenção hidráulica máximo, foi dimensionado a Câmara de sucção. Os dados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Dimensionamento Câmara de Sucção.

Câmara de Sucção		
Parâmetro	Valor	Observação
Volume útil (m ³)	0,87	
T - Tempo entre dois acionamentos (min)	29,00	Maior intervalo possível. reduzindo o consumo energético
tp - tempo de parada (min)	16,70	
tf - tempo de funcionamento (min)	12,80	
Td (Tempo de detenção hidráulica)	29,50	Abaixo de 30 minutos, como recomendado pela norma
Volume efetivo (m ³)	1,50	
Área (m ²)	0,79	
Altura útil (m)	1,10	
NA mín (m)	0,50	
NA máx (m)	1,60	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O dimensionamento se deu a partir das equações apresentadas anteriormente, onde foram estabelecidos os parâmetros de base. Como os anéis em concreto pré-fabricado possuem uma altura de 0,50 m, serão adotados 4 anéis, levando a uma altura final de 2,00 m para a câmara de sucção.

Na Figura 13 é mostrado a representação do poço de sucção de acordo com o dimensionamento feito. É destacado os níveis mínimo e máximo, bem como a altura útil do poço. O modelo de moto-bomba adotado nesta representação é de uma bomba centrífuga afogada, vale ressaltar que não é necessariamente o único modelo aplicável a essa situação.

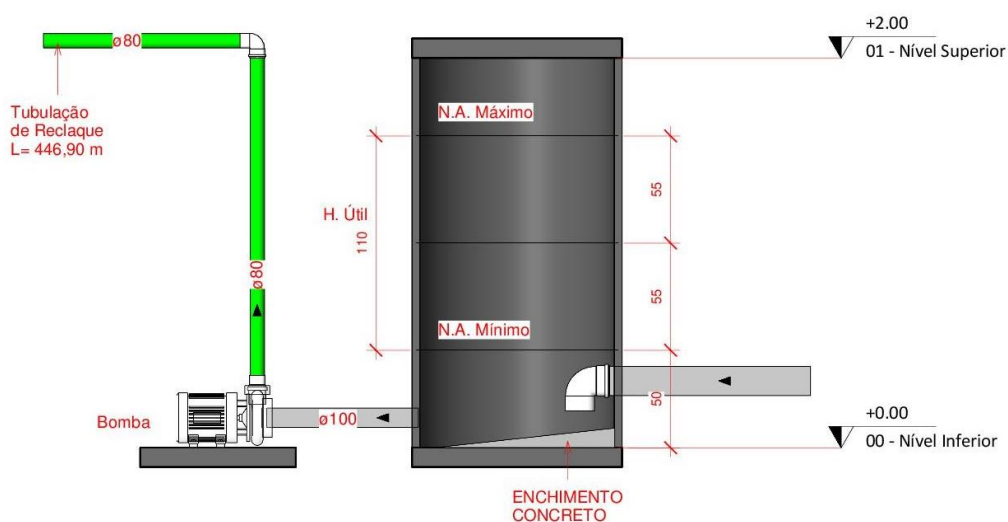


Figura 13: Representação do poço de sucção

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Bombas Hidráulicas

A partir dos dados obtidos nos itens anteriores, foi iniciado o processo de escolha do tipo de bomba. Para a vazão de bombeamento adotou-se $Q_b = 2,0 \text{ L/s}$ que equivale a $Q_b = 7,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Para altura manométrica foi adotado $H_{\text{man}} = 13,32 \text{ m}$.

O primeiro modelo de bomba adotado foi a KSB KRT, bomba submersível DN 40 a DN 700. É uma bomba indicada para qualquer tipo de esgoto e efluente, segundo a KSB em seu manual técnico A 2553.0P/1 disponível no site (KSB Brasil Ltda., 2021).

Dentre os tipos de rotores dessa bomba, foi adotado o Rotor (S), sendo o modelo KRT S 40, com capacidade de bombeamento de até 25m³/h e alturas até 80m. Este é um modelo que se adequa melhor a pequenas vazões e grandes alturas. Na Figura 14 é mostrado o primeiro ábaco, que dentre a família de bombas desse modelo, foi definida a mais adequada. A partir do traçado considerando a altura manométrica e a vazão de bombeamento, foi escolhido o modelo 40 – 160/2p.

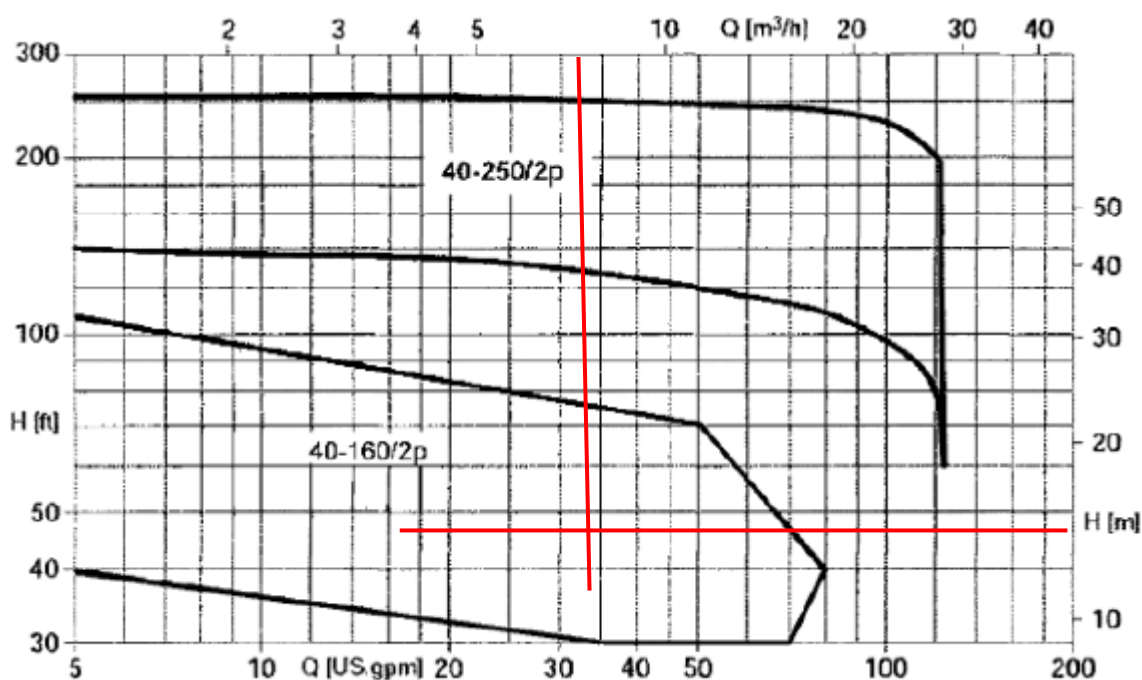


Figura 14: Ábaco para escolha da bomba

Fonte: Manual técnico A 2553.OP/1 (KSB Brasil Ltda., 2021)

Após definir o modelo da bomba, foi verificado sua curva característica para encontrar o diâmetro do rotor e a sua eficiência (Ver Figura 15). A partir do traçado da curva característica da tubulação com o encontro da curva característica da bomba, foi encontrado o diâmetro do rotor igual a 124 mm e o rendimento de aproximadamente 30%. Na curva característica da potência foi feito também o traçado e encontrado a potência de aproximadamente 1,3 kW ou 1,77 cv. O rendimento de 30% está bem próximo do rendimento máximo que a bomba consegue alcançar que é de 31%.

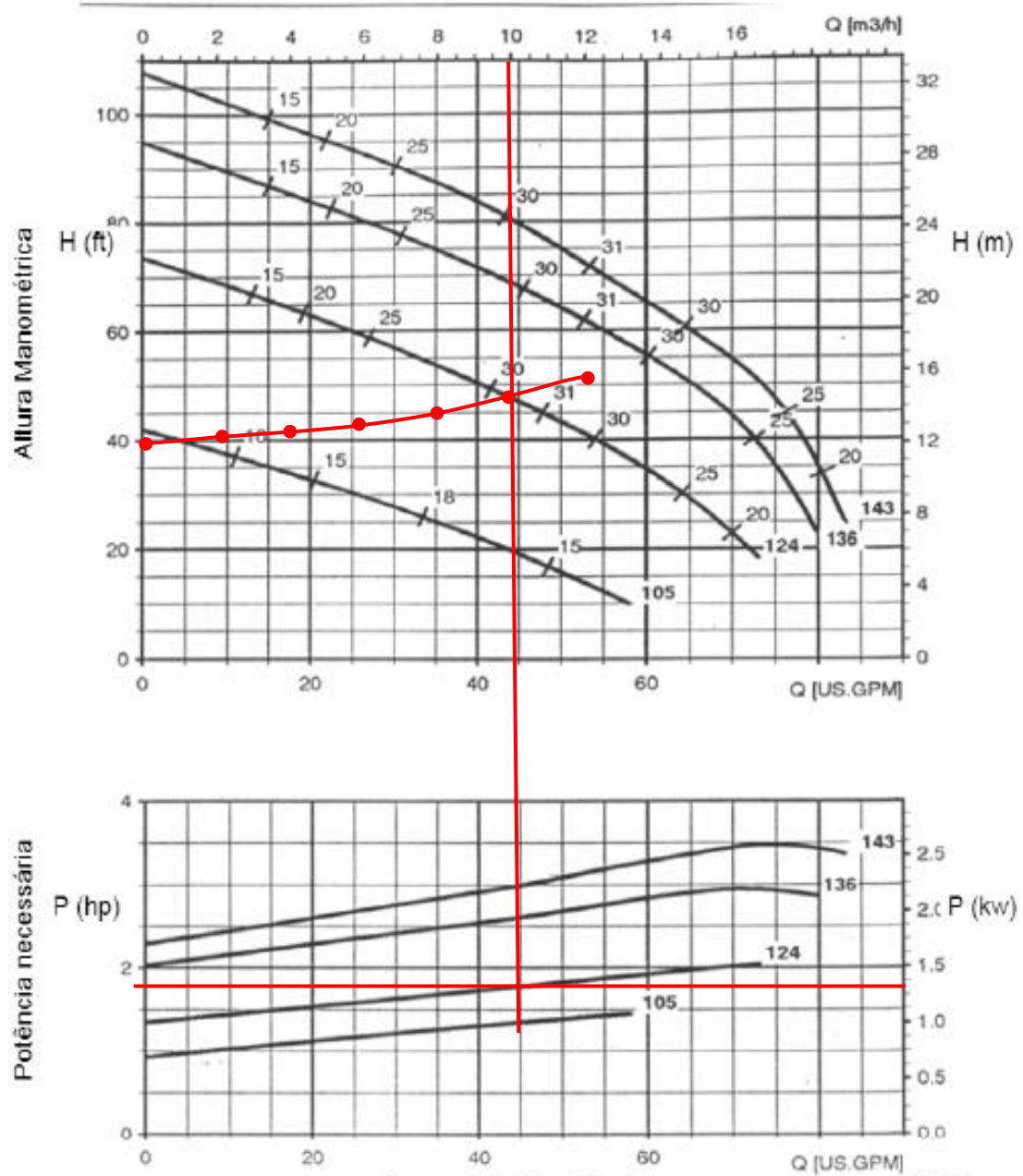


Figura 15: Curva característica da bomba KSB KRT S 40 – 160/2P

Fonte: Manual técnico A 2553.0P/1 (KSB Brasil Ltda., 2021)

De forma análoga ao dimensionamento adotado para o modelo de bomba submersível KSB KRT S 40 – 160/2P, foi feito para uma bomba centrífuga. Foi considerado o modelo de bomba centrífuga KSB Megaflow K 50 – 160, onde a curva característica e os traçados para determinação do rendimento e potência são

mostrados na Figura 18. Para esse modelo não foi necessário traçar a curva característica da tubulação, pois o ponto de operação adotado inicialmente coincide exatamente com a curva característica da bomba. O resultado consolidado dos dois modelos é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Potência conjunto moto-bomba.

Potência do conjunto moto-bomba		
Parâmetro	KRT S 40 - 160/2p	Megaflow k 50 - 160
Peso específico do líquido a ser recalcado	Esgoto	Esgoto
Capacidade máxima de bombeamento	20 m ³ /h	65 m ³ /h
Altura máxima de elevação	32 m	18 m
Ponto de Operação: Vazão de bombeamento	10,0 m ³ /h	7,2 m ³ /h
Ponto de Operação: Altura manométrica	15,4 m	13,3 m
Rendimento do conjunto moto-bomba	30%	40%
Diâmetro do rotor	124 mm	160 mm
Potência do conjunto moto-bomba	1,77 cv	1,4 cv

Fonte: Manual técnico A 2553.0P/1 e A2370.0P/2 (KSB Brasil Ltda., 2021)

A partir dos resultados encontrados, foi definido o modelo de bomba centrífuga Megaflow k 50 – 160 (ver Figura 16) como o mais adequado para bombear o efluente da Universidade. Foi visto que o modelo definido apresentou uma potência requerida menor do que a segunda opção. Além disso, este modelo apresentou um rendimento 10 p.p maior do que o modelo de bomba submersível. Este rendimento de 40% está 29 p.p abaixo do rendimento máximo da bomba centrífuga que é de até 69%. O ideal é sempre ter o rendimento o mais próximo do rendimento máximo. Importante destacar que no mercado, a bomba submersível é altamente recomendada para o bombeamento de esgoto por oferecer maior eficiência, ou seja, maior capacidade de bombeamento com a mesma potência requerida. Contudo, para o ponto de operação (altura manométrica e vazão de bombeamento) requerido, o modelo de bomba KRT (ver Figura 17) apresentou resultado pior que o da bomba centrífuga.

Com relação a manutenção, as bombas submersas requerem tratativas com menor frequência. Por outro lado, o custo com a manutenção das bombas centrífugas é menor e mais simples de ser feito, pois a bomba é externa ao poço de sucção, se tornando mais fácil o acesso até ela. A questão do espaço não é um empecilho para a instalação da bomba externa, o local é aberto e o terreno não está comprometido.



Figura 16: Modelo de Bomba Megaflow k 50 – 160

Fonte: Manual técnico A2370.0P/2 (KSB Brasil Ltda., 2021)



Figura 17: Modelo de Bomba KRT S 40 - 160/2p

Fonte: Manual técnico A 2553.0P/1 (KSB Brasil Ltda., 2021)

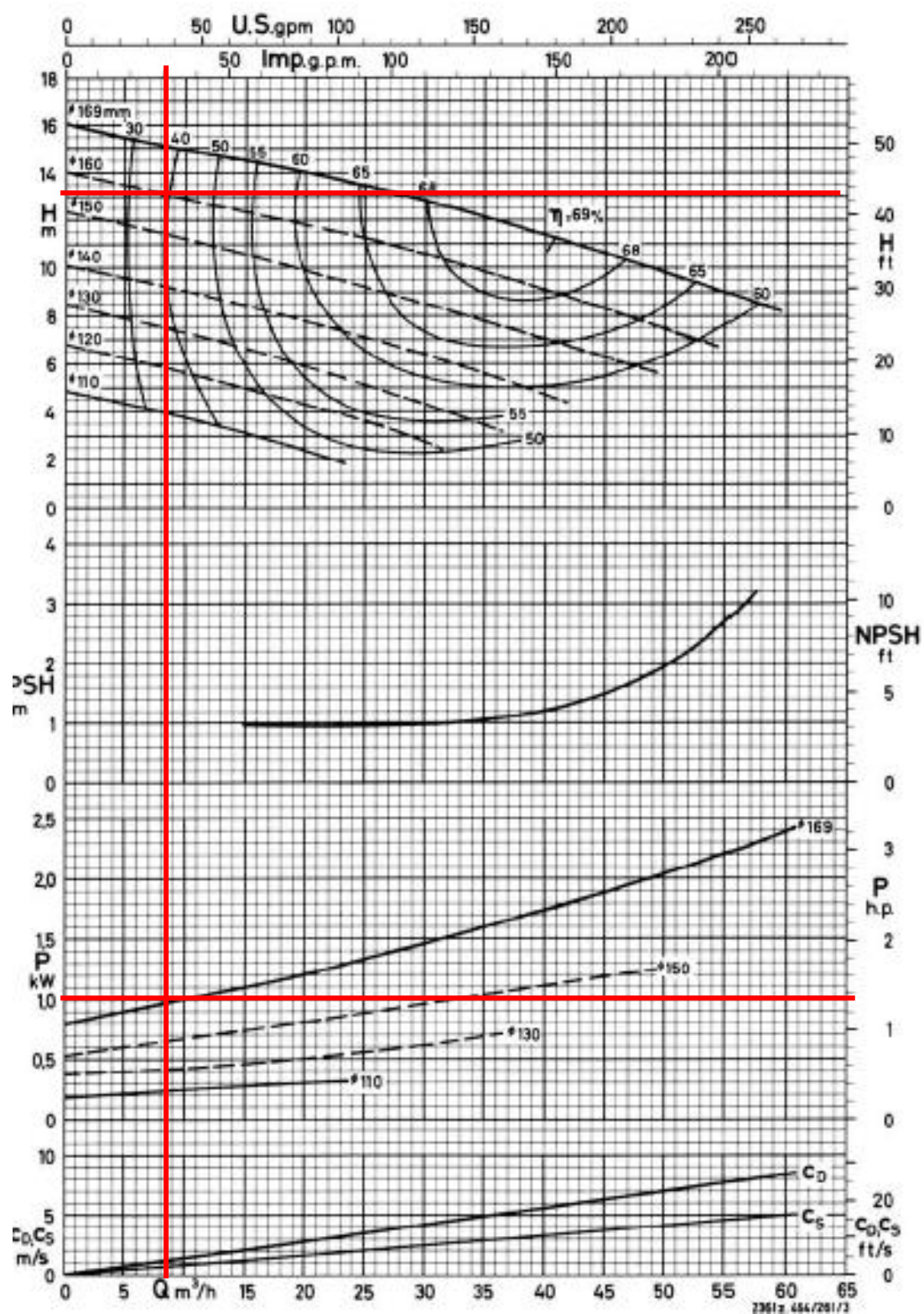


Figura 18: Curva característica da bomba KSB Megaflow K 50 – 160

Fonte: Manual técnico A2370.0P/2 (KSB Brasil Ltda., 2021)

A partir dos diferentes dimensionamentos, é possível fazer ponderações para confrontar as situações e avaliar os aspectos que efetivamente influenciam na escolha do sistema.

Na Figura 19 é apresentado o resumo das características da EEE desenvolvida pela COPASA em 2010, a partir desses dados foi feito a análise comparativa com os resultados obtidos no cenário atual.

Especificação do Conjunto Moto-bomba				
Tipo:	Submersível		Ponto de operação	
Marca:	ABS		Q (m³/h)	Hman (m)
Modelo:	UNI 1000T		22,79	19,31
Nº de conjuntos:	01+01			
Potência requerida: (cv)	4,00			
Potência instalada: (cv)	4,00			
Tensão: (V)	220			
Fluido:	Esgoto			
Rotação (rpm)	3.450			
NPSH requerido: (m)	Afogada			
Rendimento (%)	41%			
Submersão mínima (mm)	105			
Peso do conjunto (kg)	76			
Passagem máx. sólidos (mm)	7			

Figura 19: Resumo das características EEE – COPASA.

Fonte: COPASA.

4.5 Análise Comparativa

4.5.1 Vazão de Projeto

Iniciou-se pela determinação da vazão produzida pela Bacia 1, apesar de diferentes métodos de estimativa de vazão, nota-se uma divergência entre os valores, onde a estimativa realizada pela COPASA em 2010, considerando a população em 2030 apresentou uma vazão de 6,33 L/s, já o levantamento realizado em 2019 apresentou uma vazão máxima de 1,85 L/s.

É importante destacar que a estimativa da vazão é um fator determinante para o dimensionamento do sistema de tratamento, se tivesse sido realizados outro método

de estimativa de vazão pela COPASA, possivelmente apresentaria uma menor divergência entre os valores.

4.5.2 Diferença de Cota Geométrica

Partindo para a análise do local mais adequado para a instalação da EEE a partir do levantamento topográfico, neste foi possível definir um local que apresentasse uma menor diferença de cota e consequentemente uma menor altura manométrica. Comparando as diferentes locações, temos que o projeto desenvolvido pela COPASA em 2010 apresenta um desnível geométrico máximo de 15,79 m, enquanto o desenvolvido nesse trabalho chegou-se a um desnível geométrico de 10,0 m.

4.5.3 Perda de Carga nas Tubulações de Recalque

Após a análise da vazão de projeto e diferença de cota, prosseguiu-se para a determinação da perda de carga das tubulações. No entanto, como informado no item anterior, o valor obtido para a vazão e cota geométrica apresentam uma grande divergência. Dessa forma julgou-se irreal a comparação desse item, pois tornaria a análise um equívoco. Desse modo, tal análise não foi considerada para a conclusão desse trabalho.

4.5.4 Altura Manométrica

Após a análise da diferença de cota geométrica e perdas de carga nas tubulações de recalque, prosseguiu-se para a determinação da altura manométrica necessária para o bombeamento. Comparando as alturas manométricas obtidas por este trabalho e pela COPASA em 2010, constatou-se que, a altura encontrada neste trabalho é menor, sendo de 13,32 m e a da COPASA 19,31 m.

4.5.5 Conjunto Moto-bomba e Consumo Energético

O consumo de energia de um conjunto elevatório pode inviabilizar a instalação do sistema. Este consumo está diretamente ligado a potência do motor e ao tempo que estará em funcionamento em um dia ou mês. O gasto em reais é variável de acordo com a tarifa de energia elétrica e a demanda consumida. Como a implantação dos dois sistemas é referente ao mesmo local, o valor da tarifa foi desconsiderado. Na Tabela 9 é possível identificar a comparação entre os consumos do projeto elaborado

pela COPASA (2010) e o proposto neste trabalho. É apresentado também a capacidade de bombeamento dos dois sistemas.

Tabela 9 – Consumo energético

Consumo Energético			
Parâmetros	COPASA (2010) Submersível	Proposta (2019) Centrífuga	Desvio
Potência da Bomba (cv)	4,0	1,4	-65%
Potência da Bomba (W)	2.941,99	1.029,70	-65%
Coeficiente de Rendimento	41%	40%	-2%
Ponto de Operação. Bombeamento (m³/h)	22,79	7,2	-68%
Ponto de Operação. Altura manométrica (m)	19,31	13,3	-31%
Ciclo de funcionamento (min)	22,71	12,8	-44%
Ciclo total (min)	38,71	28,8	-
Operação - 06:00 - 00:00 (h)	18	18	-
Tempo de funcionamento em um dia (h)	10,56	8,00	-24%
Dias de funcionamento (dias)	30	30	-
Consumo energia (kWh/mês)	932,03	247,13	-73%

(Fonte: Elaborado pelo autor)

É evidenciado na Tabela 9 que o principal fator gerador do alto consumo energético no projeto da COPASA, foi a potência adotada. Isso se deve principalmente a maior capacidade de bombeamento deste conjunto elevatório. O coeficiente de rendimento da bomba submersível foi 1 p.p maior do que o da bomba centrífuga, contudo, esta diferença pouco impactou no consumo energético. Os valores de tempo de funcionamento no dia são estimados, sendo adotado a vazão média durante o período.

Para obter o tempo de funcionamento real foi feito uma projeção do funcionamento do conjunto moto-bomba em um dia a partir do hidrograma

apresentado no item 3.2.1. Para essa projeção foram usadas as dimensões do poço de sucção (item 4.3) e capacidade de bombeamento (item 4.4). A Figura 20 mostra como é a variação do volume do efluente durante um dia. O momento em que o gráfico é crescente representa o poço enchendo e implica que a bomba está desligada. No momento em que o gráfico é decrescente implica que o poço está esvaziando e a bomba está em funcionamento. A partir daí é possível então acompanhar o ciclo de funcionamento real do conjunto moto-bomba em um dia.

A partir dessa análise, foi calculado o período em que esse conjunto esteve em funcionamento. Dessa forma, considerando 13 horas de operação, foi obtido 06:54 de parada e 06:06 de funcionamento do conjunto moto-bomba. A Figura 21 mostra outra visão do funcionamento da bomba, nela é possível ver a variação da altura do efluente no poço de sucção em um dia. É apresentado o intervalo de $H_{mín}$ e $H_{máx}$ do poço.

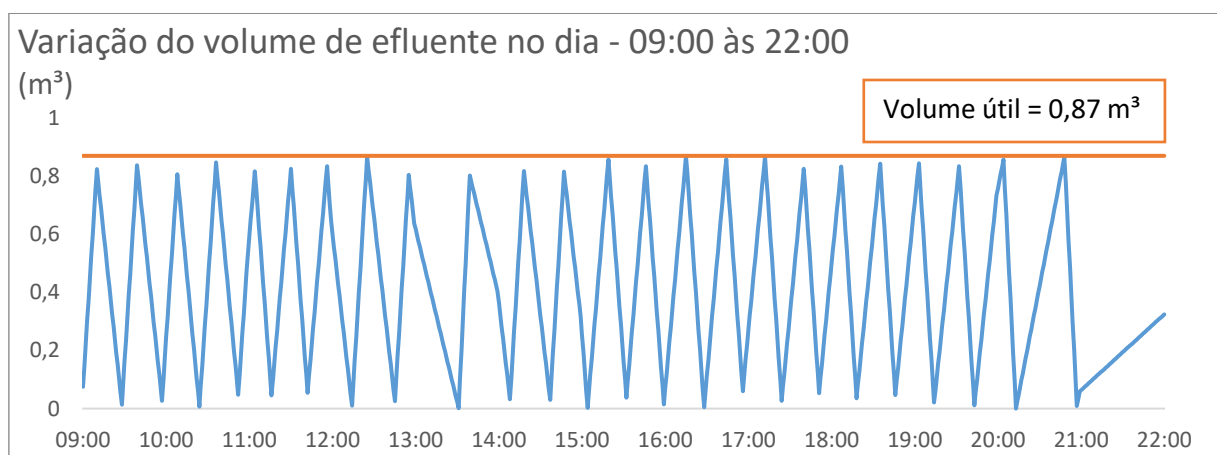


Figura 20: Variação do volume de efluente durante o dia
Fonte: Elaborado pelo autor

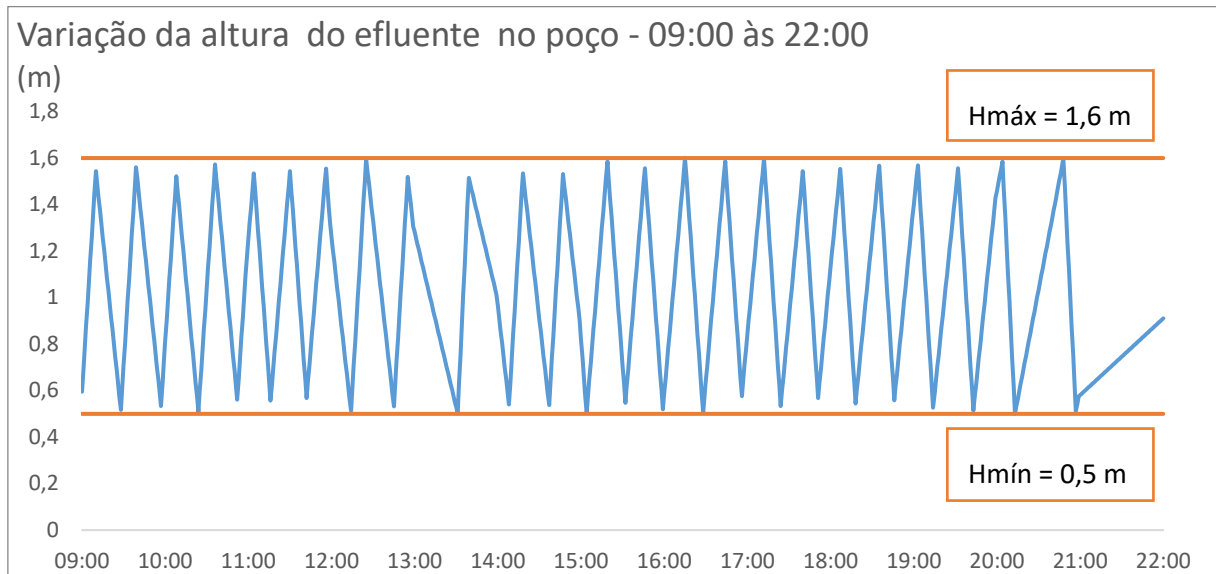


Figura 21: Variação da altura do efluente durante o dia
Fonte: Elaborado pelo autor

A variação da altura do efluente no poço de sucção evidencia que o conjunto elevatório está sob um regime transiente, onde a vazão bombeada varia no tempo. Isto é causado pois, o funcionamento da bomba está associado a altura manométrica, que varia de acordo com a altura do efluente no poço de sucção. Para os cálculos realizados neste trabalho foi feita uma simplificação, considerando constante a vazão de bombeamento. Vale ressaltar ainda que para a altura manométrica utilizada, foi considerada a pior situação, onde o poço está vazio. Ou seja, à medida que o poço enche, a altura manométrica real será menor do que a considerada e a bomba é capaz de recalcar o efluente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Em Relação aos Objetivos

Ao finalizar o presente trabalho, pode-se constatar que optar pela adoção de um sistema de elevação de esgoto, se faz necessário analisar possíveis cenários, buscando sempre a solução que apresente o melhor resultado para o sistema de tratamento. Como melhor solução, entende-se aquela que apresenta a maior eficiência energética, oriunda do dimensionamento mais adequado.

Há outras formas de se avaliar quantitativamente os esgotos produzidos em um sistema de tratamento. A proposição metodológica adotada neste trabalho é simples, mas oferece precisão e confiabilidade nos resultados para o momento em que foram coletados. Existem ressalvas quanto ao período de coleta por se tratar de medições feitas em três dias no ano. Período chuvoso pode interferir na vazão do efluente em determinada época do ano. Período de maior movimentação no campus também interfere na vazão do esgoto produzido. A quantidade de refeições produzidas no restaurante universitário está diretamente associada a vazão coletada. Dessa forma, a linha metodológica usada pode ser aprimorada coletando dados em períodos diferentes do ano e com maior frequência de aferições. Além disso, pode ser adotado a mesma proposição e um coeficiente de segurança para garantir que a capacidade do conjunto elevatório sempre atenda a demanda de efluente.

Se for viável a realização de outros métodos de estimativa, os mesmos devem ser executados. A proposição metodológica adotada é uma alternativa, outros autores podem pensar em alternativas diferentes. É importante ressaltar que o intuito desse trabalho não é avaliar o mérito, mas as diferentes possibilidades de dimensionamento de uma EEE.

Ao confrontar os resultados obtidos pelos diferentes dimensionamentos, nota-se uma divergência, que está diretamente relacionada a vazão estimada para o projeto e a locação da EEE. Não se pode afirmar que apesar disso, o dimensionamento não foi adequado, às considerações feitas em cada um levaram a melhor solução possível para aquelas premissas.

Tendo em vista a economia, o dimensionamento do presente trabalho se mostra uma melhor abordagem para a EEE, pois apesar dos diferentes resultados obtidos, garantir uma vazão mais próxima do real influenciará diretamente no dimensionamento do conjunto moto-bomba, sendo este um dos maiores gargalos de sistemas de tratamento de esgoto. Fazendo com que uma melhor abordagem proporcione melhores retornos econômicos.

5.2 Temas para próximos trabalhos

O escopo deste trabalho se restringiu à eficiência do consumo energético. A instalação de uma elevatória depende de outros fatores que são de grande relevância. Podem ser abordados em outra oportunidade, assuntos como: Influência da mão de obra e custo de implantação devido ao dimensionamento do poço de sucção, tubulação e modelo de bomba; Influência dos custos com manutenção do conjunto elevatório, considerando o tipo de bomba escolhido; O dimensionamento dos demais componentes da estação elevatória como a câmara de chegada.

REFERÊNCIAS

- ABNT. (1995). NBR 13403 - Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores - Escoamento livre - Procedimento. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*.
- ABNT. (2020). NBR12.208 - Projeto de estação de bombeamento ou de estação elevatória de esgoto - Requisitos. *Associação Brasileira de Normas Técnicas*.
- Daltro, J. F. (2004). Saneamento Ambiental: Doença, saúde e saneamento da água. *UFS*.
- Federal, G. (2007). *Lei nº 11.445*. Brasília.
- Fernandes, M. C. (2008). Modelação hidráulica da exploração de um sistema elevatório de águas residuais. *Universidade do Porto*, 187.
- Gomes, H. P., & Carvalho, P. S. (2012). Manual de Sistemas de Bombeamento - Eficiência Energética. *Editora Universitária*, 189.
- Instituto Trata Brasil. (2012). Manual de Saneamento Básico - Entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica. *Instituto Trata Brasil*, 62.
- KSB Brasil Ltda. (19 de Março de 2021). KSB. Fonte: KSB: <https://www.ksb.com/ksb-br-pt/>
- Patto, J. V. (1990). *Estações e Condutas Elevatórias de Água Residual* (Vol. 2). Direção Geral dos Recursos Naturais.
- Pereira, J. A., & Condurú, M. T. (2014). *Abastecimento de Água: Informação para Eficiência Hidroenergética*. João Pessoa, Paraíba, Brasil: Editora UFPB. doi:CDU: 628.1
- Porto, R. d. (2006). *Hidráulica Básica, 4. Edição*. São Carlos: EESC USP, Projeto Reenge.

- Santos, F. S., Filho, J. D., Machado, C. T., Vasconcelos, J. F., & Feitosa, F. R. (2018). O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 11.
- Turrolla, F. A. (2002). Político de Saneamento Básico: Avanços Recentes e Opções Futuras de Políticas Públicas. *IPEA*, 29.
- Valente, L. M., Vieira, P. C., Pereira, L. G., & Knupp, M. E. (2018). Condições do Saneamento Básico na Cidade Histórica de Ouro Preto. *AESABESP*, 15.

ANEXOS

A.1 Anexo 1

**CÁLCULO DO DIMENSIONAMENTO
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO**

Estação Elevatória de Esgotos - Universidade Federal de Ouro Preto/MG

1 Dimensionamento do Poço de Sucção

Dados de Entrada	
Vazão mínima (l/s) (2010)	1,10
Vazão média (l/s) (2010)	2,20
Vazão máxima (l/s) (2010)	3,96
Vazão mínima (l/s) (2030)	1,76
Vazão média (l/s) (2030)	3,52
Vazão máxima (l/s) (2030)	6,33
Número de bombas (+ 1 reserva)	1
Vazão de recalque (l/s)	6,33
Vazão de cada bomba (l/s),	6,33

Dimensionamento	
Volume útil mínimo (m³)	0,95
Área da base do poço de sucção Ab (m²)	1,77
Altura útil adotada (m)	0,70
Volume útil adotado (m³)	1,24
(1)Altura média (m) hm	1,00
Volume efetivo (m³) $Ve=Ab*hm$	1,77
(1) Altura média = altura entre o fundo do poço e o nível médio de operação das bombas.	

2 Ciclo de Funcionamento

Dados de Entrada	
Vazão mínima (m³/min) (2010)	0,07
Vazão de cada bomba (m³/min)	0,38
Volume útil adotado (m³)	1,24

Ciclo	
Tempo de subida - Ts (min)	18,76
Tempo de descida - Td (min)	3,95
Ciclo de funcionamento (min)	22,71

3 Tempo de Detenção

Dados de Entrada	
Vazão média (m³/min) (2010)	0,13
Volume efetivo (m³) $Ve=Ab*hm$	1,77
Tempo de Detenção	
Tempo de detenção (min)	13,40

Altura Manométrica

Dados de Entrada	
Vazão de recalque (l/s)	6,33
Vazão de cada bomba (l/s)	6,33
Diâmetro da saída da bomba (mm)	75
Diâmetro de recalque no barrilete (mm)	80
Diâmetro de sucção (mm)	-
Diâmetro da entrada na bomba	-
Comprimento da tubulação do barrilete de recalque (m)	2,40
Material Barrilete de Recalque	FºFº
Coefficiente de rugosidade (C) no Barrilete de Recalque	130
Material da Linha de Recalque	FºFº
Coefficiente de rugosidade (C) na Linha de Recalque	130
Cota de fundo do poço de sucção (m)	1.129,23
NA mín Poço de sucção (m)	1.129,88
NA máx Poço de sucção (m)	1.130,58
Cota de chegada da linha de recalque (m)	1.145,67
Velocidade de sucção (m/s)	-
Velocidade no barrilete de recalque (m/s)	1,26
Extensão da linha de recalque (m)	340,00
Diâmetro da linha de recalque (mm)	100
Desníveis Geométricos	
Desnível geométrico máx (m)	15,79
Desnível geométrico mín (m)	15,09

Perda de Carga Contínua	
$h_{fc1} = L_R \cdot 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot D^{-4,87} \cdot C^{-1,85}$ (m) (Linha de Recalque)	2,82
$h_{fc2} = L_B \cdot 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot D^{-4,87} \cdot C^{-1,85}$ (m) (Barrilete de Recalque)	0,06
$h_{fct} = h_{fc1} + h_{fc2}$	2,88
Coefficiente $b = C^{-1,85} \cdot (L_R \cdot 10,643 \cdot D_R^{-4,87} + L_B \cdot 10,643 \cdot D_B^{-4,87})$	33.642,33

Perda de Carga Localizada								
PEÇAS	Diâmetro (mm)	Quant.(n)	K	n x K	Q (l/s)	V (m/s)	$H_f = K \cdot V^2 / (2g)$	$a = K / (A^2 \cdot 2g)$
VÁLVULA DE RETENÇÃO	80	1	2,50	2,50	6,33	1,26	0,20	5.043,15
VÁLVULA GAVETA	80	1	0,20	0,20	6,33	1,26	0,02	403,45
CURVA 45	80	1	0,20	0,20	6,33	1,26	0,02	403,45
JUNÇÃO 45	80	1	0,40	0,40	6,33	1,26	0,03	806,90
TÊ PASS. DIRETA	80	2	0,60	1,20	6,33	1,26	0,10	2.420,71
CURVA 90	80	1	0,40	0,40	6,33	1,26	0,03	806,90
SAÍDA DA TUBULAÇÃO	80	3	1,00	3,00	6,33	1,26	0,24	6.051,77
Somatório							0,64	15.936,33

Perda de Carga Total			
	H_{fc}	H_f	H_t
Totais	2,88	0,64	3,52

Alturas Manométricas	
Altura manométrica máx (m)	19,31
Altura manométrica mín (m)	18,61

5 Equações do Sistema

Dados de Entrada	
Desnível geométrico máx (m)	15,79
Desnível geométrico mín (m)	15,09
Coefficiente a	15.938,33
Coefficiente b	33.642,33
Vazão de cada bomba (l/s)	6,33
$H_{man(min)} = H_g(mín) + a \cdot Q^2 + b \cdot Q^{1.85}$ $H_{man(máx)} = H_g(máx) + a \cdot Q^2 + b \cdot Q^{1.85}$	

CURVAS DO SISTEMA				CURVA DA BOMBA		
Intervalo de Vazão		Hman (mín)	Hman (máx)	Altura manométrica (m.c.a.)		
m³/h	m³/s	m	m	01 Bomba	02 Bombas	03 Bombas
3,60	0,00000	15,09	15,79	60,00		
7,20	0,00200	15,50	16,20	58,00		
10,80	0,00300	15,96	16,66	56,30		
14,40	0,00400	16,58	17,28	54,00		
18,00	0,00500	17,35	18,05	52,00		
21,60	0,00600	18,27	18,97	49,70		
25,20	0,00700	19,34	20,04	47,00		
28,80	0,00800	20,55	21,25	43,60		
32,40	0,00900	21,90	22,60	40,30		
36,00	0,01000	23,40	24,10	36,20		
39,60	0,01100	25,03	25,73	30,30		
43,20	0,01200	26,79	27,49	23,60		
46,80	0,01300	28,70	29,40	14,00		
50,40	0,01400	30,73	31,43	5,00		
54,00	0,01500	32,89	33,59			
57,60	0,01600	35,18	35,88			
61,20	0,01700	37,61	38,31			

Especificação do Conjunto Moto-bomba			
Tipo:	Submersível		Ponto de operação
Marca:	ABS		Q (m³/h)
Modelo:	UNI 1000T		Hman (m)
			22,79
			19,31
Nº de conjuntos:	01+01		
Potência requerida: (cv)	4,00		
Potência instalada: (cv)	4,00		
Tensão: (V)	220		
Fluido:	Esgoto		
Rotação (rpm)	3.450		
NPSH requerido: (m)	Afogada		
Rendimento (%)	41%		
Submersão mínima (mm)	105		
Peso do conjunto (kg)	76		
Passagem máx. sólidos (mm)	7		