



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO COM
DIFERENTES VAZÕES E ALTURAS MANOMÉTRICAS

THIAGO ANTUNES DE SOUZA

VARGINHA
2025

THIAGO ANTUNES DE SOUZA

ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO COM
DIFERENTES VAZÕES E ALTURAS MANOMÉTRICAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leopoldo Uberto Ribeiro Junior

Coorientador: Prof. Me. Felipe Pires Nogueira

THIAGO ANTUNES DE SOUZA

ANÁLISE COMPARATIVA DE ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO COM
DIFERENTES VAZÕES E ALTURAS MANOMÉTRICAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Data de aprovação: 06/02/2025

Banca examinadora:

Prof. Dr. Leopoldo Uberto Ribeiro Junior
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade
Varginha

Prof. Me. Felipe Pires Nogueira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade
Varginha

Prof. Dra. Valéria Antônia Justino Rodrigues
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade
Varginha

Profa. Ma. Flávia Castro de Faria
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) - Unidade
Varginha

AGRADECIMENTOS

Este trabalho gostaria de dedicar primeiramente a Deus, pois sem ele nada disso se tornaria realidade, por me guiar e proporcionar a oportunidade de realizar o tão sonhado curso de Engenharia Civil.

Dedico também à minha mãe Elza, meu falecido pai Sebastião, aos meus irmãos e todos os familiares que sempre me apoiaram e me deram força para seguir trilhando meus objetivos com determinação e disciplina.

À minha namorada Luana, por me acompanhar por toda essa trajetória, por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis me apoiando, e por se abster de momentos de lazer e descanso para me ajudar.

Gostaria também de expressar minha profunda gratidão aos meus orientadores, Prof. Dr. Leopoldo Uberto Ribeiro Junior e Prof. Me. Felipe Pires Nogueira, pela sua paciência e estima em me auxiliar com disponibilidade e grandiosas sugestões.

Aos meus colegas de curso, pelas ótimas trocas de conhecimentos e aprendizados, e pela colaboração no decorrer de todo o curso.

E por fim, mas não menos importante, deixo meu muito obrigado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG) por me proporcionar este curso pelo qual lutei decididamente para concluir e ter a honra de realizar esse Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) como prova do valioso aprendizado adquirido durante todo o curso.

RESUMO

O presente trabalho tem como intuito a análise comparativa de estações elevatórias de esgoto com diferentes vazões e alturas manométricas. As estações elevatórias de esgoto são componentes essenciais em sistemas de saneamento básico, especialmente em regiões onde a topografia não permite a drenagem por gravidade até a estação de tratamento de esgoto. Com o estudo de referenciais teóricos em conjunto com as normas vigentes, pretende-se com o desenvolvimento deste o analisar de um modelo de estação elevatória de esgoto de forma simples, levando em conta parâmetros pré-definidos e critérios estipulados ao decorrer do trabalho. No referencial teórico abordam-se alguns conceitos que se fazem presentes e necessários para elaboração de projeto de estações elevatórias de esgoto, como localização das estações elevatórias, classificações, tipos de bombeamentos, período de projeto, vazões de projeto, bombas, motores, etc. Na metodologia foram adotados parâmetros iniciais para modelagem de 03 (três) cenários de populações (100/1.000/10.000 habitantes) para alturas manométricas totais de 20 e 100 metros, assim obtendo 06 (seis) padrões distintos de dados, através da manipulação de dados por meio dos cálculos de vazões de contribuições, de diâmetros das tubulações, dos tempos de detenções hidráulicas, das velocidades dos barriletes, dos volumes e áreas dos poços de sucção, etc. Os resultados alcançados evidenciaram a influência da população e da altura manométrica no pré-dimensionamento das estações elevatórias de esgoto, determinou-se que o incremento da população demanda bombas de maior capacidade e estruturas de maior porte, e simultaneamente que o acréscimo na altura manométrica requer bombas com maior potência e tubulações mais robustas no sistema. A estudo de pré-dimensionamento explanada mostrou bons resultados na determinação final dos conjuntos para cada cenário.

PALAVRAS-CHAVE: estação elevatória de esgoto, análise comparativa, saneamento básico.

ABSTRACT

This study aims to perform a comparative analysis of sewage pumping stations with different flow rates and manometric heights. Sewage pumping stations are essential components in basic sanitation systems, especially in regions where the topography does not allow gravity drainage to the sewage treatment plant. By studying theoretical references in conjunction with current standards, the aim of this study is to analyze a sewage pumping station model in a simple way, taking into account pre-defined parameters and criteria stipulated during the course of the study. The theoretical reference addresses some concepts that are present and necessary for the preparation of sewage pumping station projects, such as the location of the pumping stations, classifications, types of pumping, design period, design flow rates, pumps, motors, etc. The methodology adopted initial parameters for modeling 03 (three) population scenarios (100/1,000/10,000 inhabitants) for total manometric heights of 20 and 100 meters, thus obtaining 06 (six) distinct data patterns, through data manipulation by means of calculations of contribution flows, pipe diameters, hydraulic retention times, barrel velocities, volumes and areas of suction wells, etc. The results achieved demonstrated the influence of the population and manometric height on the pre-sizing of sewage pumping stations. It was determined that the increase in population demands higher capacity pumps and larger structures, and simultaneously that the increase in manometric height requires higher power pumps and more robust pipes in the system. The pre-sizing study explained showed good results in the final determination of the sets for each scenario.

KEYWORDS: sewage pumping station, comparative analysis, basic sanitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Exemplo de Sistema de Bombeamento em linha	19
Figura 02: Tubos recalque na horizontal	21
Figura 03: Tubos recalque na vertical	21
Figura 04: Planta de elevatória com ejedor pneumático	23
Figura 05: Corte de elevatória com ejedor pneumático	23
Figura 06: Planta de elevatória com bombas parafuso	24
Figura 07: Corte de elevatória com bombas parafuso	25
Figura 08: conjunto motor-bomba de eixo horizontal	26
Figura 09: conjunto motor-bomba de eixo vertical, bomba não submersa	26
Figura 10: conjunto motor-bomba de eixo prolongado, bomba não submersa	27
Figura 11: conjunto motor-bomba de eixo horizontal, bomba auto-escorvante	27
Figura 12: conjunto vertical de eixo prolongado, bomba submersa	28
Figura 13: conjunto motor-bomba, submerso	28
Figura 14: corte esquemático de uma bomba centrífuga	33
Figura 15: rotor aberto	33
Figura 16: rotor semiaberto	34
Figura 17: rotor fechado	34
Figura 18: bomba radial	35
Figura 19: bomba axial	35
Figura 20: bomba mista	36
Figura 21: ejedor pneumático	37
Figura 22: parafuso hidráulico de Arquimedes	38
Figura 23: bomba acionada com motor de combustão interna	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Cálculo da vazão média (Q_m)	57
Tabela 02: Declividade mínima ($I_{omín}$)	58
Tabela 03: Cálculo da vazão máxima diária (Q_{md})	58
Tabela 04: Cálculo da vazão máxima horária (Q_{mh})	59
Tabela 05: Cálculo da vazão mínima horária (Q_{min})	59
Tabela 06: Tempo de detenção hidráulica (T_{dh})	60
Tabela 07: Contribuição de infiltração (Q_{inf})	60
Tabela 08: Vazão máxima final (Q_{mf})	61
Tabela 09: Vazão de projeto (Q_p)	61
Tabela 10: Diâmetro da tubulação (D)	62
Tabela 11: Velocidade dos barriletes de sucção e recalque	62
Tabela 12: Altura manométrica total (HMT)	63
Tabela 13: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 20 metros	64
Tabela 14: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 100 metros	64
Tabela 15: Volume do poço de sucção (Vol)	65
Tabela 16: Área do poço de sucção (A)	65
Tabela 17: Poço de sucção de seção quadrada	65
Tabela 18: Poço de sucção de seção circular	66
Tabela 19: Tempo de detenção hidráulica máxima ($T_{dh\ máx}$)	66
Tabela 20: Cálculo da vazão média (Q_m)	67
Tabela 21: Declividade mínima ($I_{omín}$)	68
Tabela 22: Cálculo da vazão máxima diária (Q_{md})	68
Tabela 23: Cálculo da vazão máxima horária (Q_{mh})	69
Tabela 24: Cálculo da vazão mínima horária (Q_{min})	69
Tabela 25: Tempo de detenção hidráulica (T_{dh})	70
Tabela 26: Contribuição de infiltração (Q_{inf})	70
Tabela 27: Vazão máxima final (Q_{mf})	70
Tabela 28: Vazão de projeto (Q_p)	71
Tabela 29: Diâmetro da tubulação (D)	71

Tabela 30: Velocidade dos barriletes de sucção e recalque	72
Tabela 31: Altura manométrica total (HMT)	72
Tabela 32: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 20 metros	73
Tabela 33: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 100 metros	73
Tabela 34: Volume do poço de sucção (Vol)	74
Tabela 35: Área do poço de sucção (A)	74
Tabela 36: Poço de sucção de seção quadrada	74
Tabela 37: Poço de sucção de seção circular	75
Tabela 38: Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx)	75
Tabela 39: Cálculo da vazão média (Qm)	76
Tabela 40: Declividade mínima (Iomín)	76
Tabela 41: Cálculo da vazão máxima diária (Qmd)	77
Tabela 42: Cálculo da vazão máxima horária (Qmh)	77
Tabela 43: Cálculo da vazão mínima horária (Qmin)	78
Tabela 44: Tempo de detenção hidráulica (Tdh)	78
Tabela 45: Contribuição de infiltração (Qinf)	79
Tabela 46: Vazão máxima final (Qmf)	79
Tabela 47: Vazão de projeto (Qp)	80
Tabela 48: Diâmetro da tubulação (D)	80
Tabela 49: Velocidade dos barriletes de sucção e recalque	81
Tabela 50: Altura manométrica total (HMT)	81
Tabela 51: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 20 metros	82
Tabela 52: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 100 metros	82
Tabela 53: Volume do poço de sucção (Vol)	83
Tabela 54: Área do poço de sucção (A)	83
Tabela 55: Poço de sucção de seção quadrada	83
Tabela 56: Poço de sucção de seção circular	84
Tabela 57: Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx)	84
Tabela 58: Tabela de resumo	85
Tabela 59: Vazão, quantidade e tipo de conjunto moto-bomba	85

SUMÁRIO

1. - INTRODUÇÃO	14
1.1. - CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2. - OBJETIVOS DO TRABALHO	14
1.2.1. - Objetivo Geral	14
1.2.2. - Objetivos Específicos	15
1.3. - JUSTIFICATIVA	15
2. - REFERENCIAL TEORICO	16
2.1. - Estações Elevatórias de Esgoto	16
2.1.1. - Localização das estações elevatórias	16
2.1.2. - Classificação das elevatórias	18
2.1.3. - Tipos de elevatórias	18
2.1.3.1. - Sistema de bombeamento em linha	19
2.1.3.2. - Elevatórias com ejetores pneumáticos	22
2.1.3.3. - Elevatórias com bombas parafuso	23
2.1.3.4. - Classificação das Elevatórias convencionais	25
2.1.3.4.2. - Elevatórias convencionais de poço seco	28
2.1.3.4.3. - Elevatórias convencionais de poço úmido	29
2.2. - Poço de Sucção	29
2.3. - Período de projeto	30
2.4. - Vazões de projeto	31
2.5. - Bombas	32
2.5.1. - Bombas centrífugas	32
2.5.1.1. - Bombas centrífugas radiais	34
2.5.1.2. - Bombas centrífugas axiais	35
2.5.1.3. - Bombas centrífugas mistas	36
2.5.2. - Ejetores Pneumáticos	36
2.5.3. - Parafuso hidráulico de Arquimedes	37
2.6. - Motores	38
2.6.1. - Motores de corrente alternada	40
2.6.1.1 - Motores síncrono	40
2.6.1.2. - Motores de indução	41
2.6.1.2.1. - Motor de indução trifásico com rotor em gaiola	42

2.6.1.2.2. - Motor de indução trifásico com rotor bobinado	43
2.6.2. - Motores de combustão interna	44
3. - METODOLOGIA	47
3.1. - Parâmetros adotados	47
3.2. - Determinação da vazão de projeto (Q_p)	49
3.2.1. - Cálculo da vazão média (Q_m)	49
3.2.2. - Cálculo da vazão máxima diária (Q_{md})	49
3.2.3. - Cálculo da vazão máxima horária (Q_{mh})	50
3.2.4. - Vazão mínima horária (Q_{min}) e tempo de detenção hidráulica (T_{dh})	50
3.2.5. - Adição da contribuição de infiltração (Q_{inf})	51
3.2.6. - Vazão máxima final (Q_{mf})	51
3.3. - Definição do Diâmetro da Tubulação	52
3.4. - Velocidade dos Barriletes de Sucção e Recalque	52
3.5. - Dimensionamento da Altura Manométrica Total (HMT)	53
3.5.1. - Altura geométrica (H)	53
3.5.2. - Perda de carga distribuída (h_f)	53
3.5.3. - Perda de carga localizada (h_l)	53
3.6. - Cálculo da Potência da Bomba (P)	54
3.7. - Seleção do Conjunto Motor-Bomba	54
3.8. - Dimensionamento do poço de sucção	54
3.8.1. - Volume do poço de sucção (Vol)	54
3.8.2. - Área do poço de sucção	55
3.8.2.1. - Poço de sucção de seção quadrada	55
3.8.2.2. - Poço de sucção de seção circular	55
3.8.2.3. - Tempo de detenção hidráulica máxima ($T_{dh \text{ máx}}$)	56
4. - RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1. - Cenário 01	57
4.1.1. - Cálculo da vazão média (Q_m)	57
4.1.2. - Declividade mínima ($I_{omín}$)	57
4.1.3. - Cálculo da vazão máxima diária (Q_{md})	58
4.1.4. - Cálculo da vazão máxima horária (Q_{mh})	58
4.1.5. - Cálculo da vazão mínima horária (Q_{min})	59
4.1.6. - Tempo de detenção hidráulica (T_{dh})	60
4.1.7. - Contribuição de infiltração (Q_{inf})	60

4.1.8. - Vazão máxima final (Q_{mf})	61
4.1.9. - Vazão de projeto (Q_p)	61
4.1.10. - Diâmetro da tubulação (D)	61
4.1.11. - Velocidade dos barriletes de sucção e recalque	62
4.1.12. - Altura manométrica total (HMT)	63
4.1.13. - Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 20 metros	63
4.1.14. - Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 100 metros	64
4.1.15. - Volume do poço de sucção (Vol)	64
4.1.16. - Área do poço de sucção (A)	65
4.1.17. - Poço de sucção de seção quadrada	65
4.1.18. - Poço de sucção de seção circular	66
4.1.19. - Tempo de detenção hidráulica máxima ($T_{dh\ máx}$)	66
4.2. - Cenário 02	67
4.2.1. - Cálculo da vazão média (Q_m)	67
4.2.2. - Declividade mínima ($I_{mín}$)	67
4.2.3. - Cálculo da vazão máxima diária (Q_{md})	68
4.2.4. - Cálculo da vazão máxima horária (Q_{mh})	68
4.2.5. - Cálculo da vazão mínima horária (Q_{min})	69
4.2.6. - Tempo de detenção hidráulica (T_{dh})	69
4.2.7. - Contribuição de infiltração (Q_{inf})	70
4.2.8. - Vazão máxima final (Q_{mf})	70
4.2.9. - Vazão de projeto (Q_p)	71
4.2.10. - Diâmetro da tubulação (D)	71
4.2.11. - Velocidade dos barriletes de sucção e recalque	71
4.2.12. - Altura manométrica total (HMT)	72
4.2.13. - Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 20 metros	73
4.2.14. - Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 100 metros	73
4.2.15. - Volume do poço de sucção (Vol)	73
4.2.16. - Área do poço de sucção (A)	74
4.2.17. - Poço de sucção de seção quadrada	74

4.2.18. - Poço de sucção de seção circular	75
4.2.19. - Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx)	75
4.3. - Cenário 03	75
4.3.1. - Cálculo da vazão média (Qm)	75
4.3.2. - Declividade mínima (Iomín)	76
4.3.3. - Cálculo da vazão máxima diária (Qmd)	76
4.3.4. - Cálculo da vazão máxima horária (Qmh)	77
4.3.5. - Cálculo da vazão mínima horária (Qmin)	78
4.3.6. - Tempo de detenção hidráulica (Tdh)	78
4.3.7. - Contribuição de infiltração (Qinf)	78
4.3.8. - Vazão máxima final (Qmf)	79
4.3.9. - Vazão de projeto (Qp)	79
4.3.10. - Diâmetro da tubulação (D)	80
4.3.11. - Velocidade dos barriletes de sucção e recalque	80
4.3.12. - Altura manométrica total (HMT)	81
4.3.13. - Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 20 metros	82
4.3.14. - Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 100 metros	82
4.3.15. - Volume do poço de sucção (Vol)	82
4.3.16. - Área do poço de sucção (A)	83
4.3.17. - Poço de sucção de seção quadrada	83
4.3.18. - Poço de sucção de seção circular	84
4.3.19. - Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx)	84
4.4. - Síntese descritiva	84
5. - CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	87
5.1. - CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
5.2. - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	88
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICE A - Análise Comparativa	92

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o crescimento da urbanização e expansão das cidades, trazem consigo desafios significativos na gestão de infraestruturas essenciais, entre as quais pode-se destacar o sistema de saneamento básico. No contexto urbano, as estações elevatórias de esgoto desempenham um papel fundamental ao garantir o transporte eficiente dos efluentes até as estações de tratamento, prevenindo problemas de saúde pública e impactos ambientais negativos.

As estações elevatórias de esgoto são compostas por vários componentes indispensáveis para seu funcionamento, como bombas hidráulicas, motores, válvulas, tubulações de recalque e sucção, poços, sistemas de controle, entre outros. Dentre os subcomponentes de uma estação elevatória, o conjunto motor-bomba é o mais importante consumidor de energia elétrica. O motor transforma energia elétrica em mecânica e esta em energia hidráulica cedida ao fluido (Viana, 2017).

Cada elemento deve ser cuidadosamente dimensionado e selecionado para atender às necessidades e demandas específicas para a área a ser implantada. A eficiência de uma estação elevatória depende de diversos fatores, incluindo a vazão, pressão requerida, características topográficas e demográficas do local, etc.

O estudo realizou a comparação de estações elevatórias de esgoto com diferentes vazões e alturas manométricas. A análise abrange desde os cálculos para o pré-dimensionamento até a seleção dos conjuntos motor-bomba para os determinados cenários.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo comparativo de pré-dimensionamento para estações elevatórias de esgoto, caracterizando-as em 03 (três) cenários de populações (100/1.000 /10.000 habitantes) variando suas alturas manométricas totais em 20 e 100 metros.

1.2.2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, enumeram-se:

- Determinar os componentes essenciais de uma estação elevatória de esgoto;
- Elaborar pré-dimensionamento de acordo com as normas vigentes;
- Definir conjunto de bombas adequados para cada cenário.

1.3. JUSTIFICATIVA

A implementação de estações elevatórias de esgoto é parte fundamental para a eficiência dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto, especialmente em áreas com terrenos irregulares ou de baixa altitude. Além disso, o planejamento para implantação dessas estações é vital para minimizar os custos operacionais e evitar problemas como transbordamentos e falhas mecânicas, que podem ter impactos negativos tanto para as comunidades locais quanto para o meio ambiente.

A relevância do estudo está ligada a sustentabilidade e eficiência do sistema de saneamento básico em áreas urbanas. Primeiramente, a avaliação técnica das estações elevatórias de esgoto é essencial para assegurar que estas infraestruturas operem de maneira correta, contribuindo para a saúde pública e proteção ambiental. Em segundo plano, a definição de projetos padrões para diferentes tipos de estações elevatórias, considerando variáveis como capacidade e características específicas do local de instalação, permite a padronização e a otimização dos processos de planejamento e construção, resultando em economia de tempo e recursos, além de facilitar a manutenção e a operação das estações. Em seguida, a definição de faixas de comparação populacional é primordial para adaptar os projetos às necessidades específicas dos locais de implantação, considerando a demanda de água. O dimensionamento adequado garante que as estações possam lidar eficientemente com as variações na carga de esgoto, impedindo sobrecargas e falhas operacionais.

O trabalho visa contribuir para com o conhecimento técnico e científico no campo do saneamento básico, e também oferecer diretrizes práticas para o pré-dimensionamento de estações elevatórias de esgoto.

2. REFERECIAL TEORICO

2.1. Estações Elevatórias de Esgoto

De acordo com a NBR 12.208 (ABNT, 2020), estação elevatória de esgoto sanitário é “instalação que se destina ao transporte de esgoto do nível da câmara de sucção ou do poço de sucção das bombas ao nível de descarga na saída do recalque, acompanhando as variações da vazão afluyente ao longo do dia”.

As estações elevatórias são instaladas em pontos do sistema coletor onde o declive do terreno impossibilita o livre escoamento do efluente. Elas bombeiam o esgoto para pontos do sistema onde o escoamento livre pode voltar a ocorrer ou diretamente para a estação de tratamento. As estações elevatórias são compostas basicamente pelo poço de recalque, onde se concentram os efluentes e o sistema de bombeamento com bomba e tubulações (Parnaíba Junior, 2022).

Segundo Alem e Tsutiya (1999), tais elevatórias devem ser projetadas com concepção adequada para cada caso, utilizando-se convenientemente equipamentos e métodos construtivos para que seus custos sejam os mínimos possíveis, sem perda de eficiência.

As estações elevatórias de esgotos são necessárias, em princípio, nos seguintes casos:

- em terrenos planos e extensos, evitando-se que as canalizações atinjam profundidades excessivas;
- no caso de esgotamento de áreas novas situadas em cotas inferiores àquelas já executadas;
- reversão de esgotos de uma bacia para outra;
- para descarga em interceptores, emissários, estações de tratamento de esgoto ou em corpos receptores, quando não for possível utilizar apenas a gravidade.

2.1.1 - Localização das estações elevatórias de esgoto

Conforme Tsutiya e Sobrinho (2011), para definir a localização de estação elevatória de esgoto, devem ser considerados os seguintes aspectos:

- As dimensões do terreno deverão satisfazer as necessidades construtivas;
- Baixo custo e facilidade de desapropriação do terreno;
- Disponibilidade de energia elétrica;
- Topografia da área;
- Sondagem do terreno;
- Facilidade de acesso à área;
- Estabilidade contra erosão;
- Menor desnível geométrico;
- Trajeto mais curto para tubulação de recalque;
- Mínimo remanejamento de interferências;

Além dos aspectos citados acima, seguindo a NBR 12.208 (ABNT, 2020), para a determinação do local adequado para implantação da estação de bombeamento ou elevatória, devem ser levados em consideração os seguintes fatores, de importância ponderada em função das condições técnicas e econômicas de cada projeto:

- Características morfológicas;
- Traçado da linha de recalque conforme a NBR 16.682 (ABNT, 2018); buscar o menor possível tecnicamente;
- Acessos permanentes e que permitam a movimentação do transporte para a manutenção;
- Proteções contra enchentes, inundações e enxurradas;
- Mapeamento, identificação, adequação da solução técnica a ser adotada em função das interferências levantadas em campo, projeto de remanejamento das interferências;
- Impacto quanto a produção de ruídos e/ou vibrações, emissão de odores, atendimento ao zoneamento e uso de ocupação do solo, harmonização da obra com o ambiente circunvizinho.
- Segurança contra assoreamento no ponto de lançamento de efluente, proveniente do sistema de recalque, e na região próxima a este ponto;
- NPSH (Net Positive Suction Head - Carga Positiva de Sucção) disponível, sendo determinado considerando o nível mínimo operacional na câmara de sucção

(positivo ou negativo), a temperatura ambiente média e a altitude do local onde será implantada a estação de bombeamento ou elevatória;

- Disponibilidade de área para ampliações futuras, quando necessário.

2.1.2 - Classificação das elevatórias

Em conformidade com Tsutiya e Sobrinho (2011), às elevatórias têm sido classificadas de diversas maneiras e os critérios mais comuns são:

- Capacidade (m^3/s , m^3/h , l/s);
- Fonte de energia (eletricidade, diesel etc.);
- Método construtivo (convencional, pré-moldada etc.);
- Altura manométrica;
- Função específica.

De acordo com sua capacidade, as elevatórias de esgotos são classificadas em:

- Pequenas: menos de 50 l/s ;
- Médias: 50 a 500 l/s ;
- Grandes: superior a 500 l/s ;

E de acordo com sua carga, em:

- Baixas: menos de 10 m;
- Médias: 10 a 20 m;
- Altas: superior a 20 m.

2.1.3 - Tipos de elevatórias

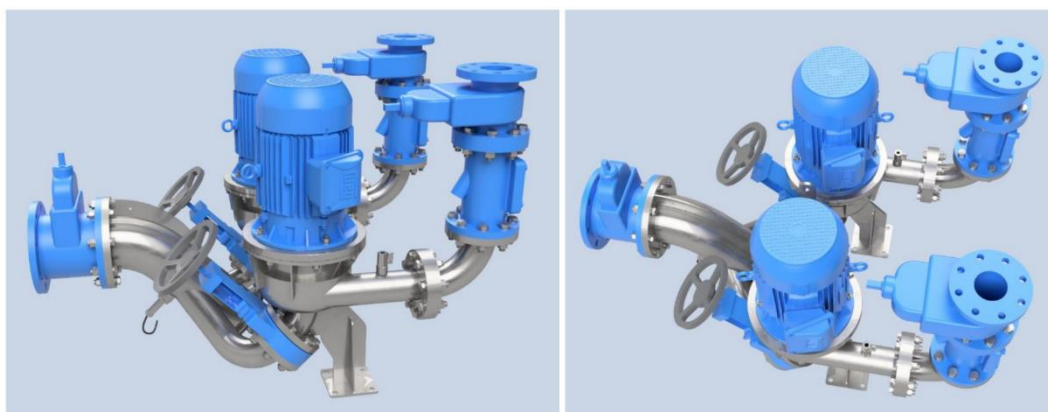
A escolha do tipo de elevatória dependerá basicamente dos seguintes fatores: localização; capacidade da elevatória; número, tipo e tamanho das bombas; projeto estrutural; projeto arquitetônico e aspectos estéticos. O tipo da elevatória também

pode ser definido pela área disponível para sua construção ou, ainda, por sua superestrutura (Tsutiya e Sobrinho, 2011).

2.1.3.1 - Sistema de bombeamento em linha

O sistema de bombeamento em linha para esgoto é uma tecnologia moderna para o saneamento básico. Este sistema é projetado para elevar e direcionar o esgoto coletado em áreas de menor altitude para locais mais elevados, onde o tratamento adequado pode ser realizado. A eficiência e a sustentabilidade desse método são cruciais para garantir a saúde pública e a preservação ambiental. A figura 01 abaixo ilustram uma das possíveis configurações do sistema:

Figura 01: Exemplo de Sistema de Bombeamento em linha.



Fonte: Kronox (2025).

Funcionamento do Sistema

O sistema de bombeamento em linha, também conhecido como booster de esgoto, elimina a necessidade de um poço de sucção e acúmulo, conectando diretamente a tubulação de coleta de efluentes ao sistema de bombeamento. Isso permite um bombeamento eficiente do esgoto, controlando instantaneamente o nível na sucção e garantindo que o esgoto seja impulsionado conforme sua chegada à estação elevatória.

Componentes Principais

- **Bombas Submersíveis:** Responsáveis por impulsionar o esgoto até o ponto desejado. Estas bombas são projetadas para lidar com sólidos presentes no esgoto, minimizando obstruções e a necessidade de manutenção frequente.
- **Rotor Tipo Vortex:** Utilizado para reduzir o desgaste causado por materiais abrasivos e minimizar travamentos por tecidos fibrosos. Este rotor cria um redemoinho que faz com que apenas uma pequena porcentagem do material toque o rotor em rotação.
- **Sensores de Nível:** Instalados para controlar o liga e desliga das bombas de drenagem, garantindo que o sistema opere de forma eficiente e segura.

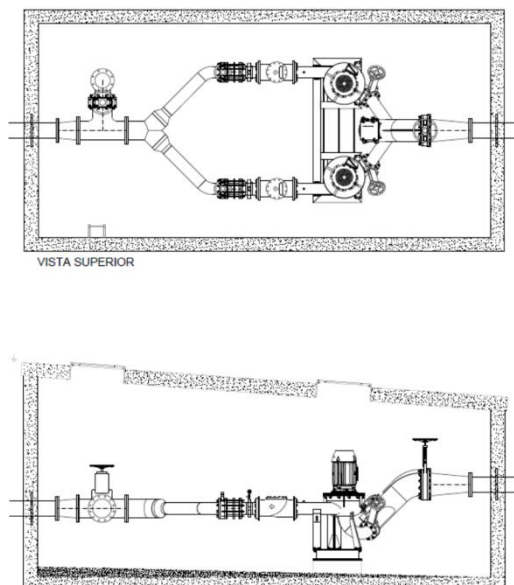
Vantagens do Bombeamento em Linha

O bombeamento em linha oferece várias vantagens em comparação aos sistemas tradicionais de bombeamento de esgoto:

- **Eliminação do Poço Úmido:** Reduz a necessidade de escavações profundas e elimina problemas relacionados ao acúmulo de areia, odores e gases perigosos.
- **Redução de Manutenção:** Menor incidência de entupimentos e travamentos, resultando em menos inatividade das bombas e redução dos custos operacionais.
- **Eficiência Energética:** O sistema é projetado para operar com menor consumo de energia, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

De acordo com a Nota Técnica 37 - Sistema de Bombeamento em Linha, o sistema de bombeamento em linha pode ficar disposto com tubo de recalque na horizontal, conforme indicado na figura 02. Quando aplicado a solução na horizontal, deve ser aplicado entre as válvulas de bloqueio e de retenção do recalque uma junta axial travada, possibilitando acesso aos componentes para manutenção;

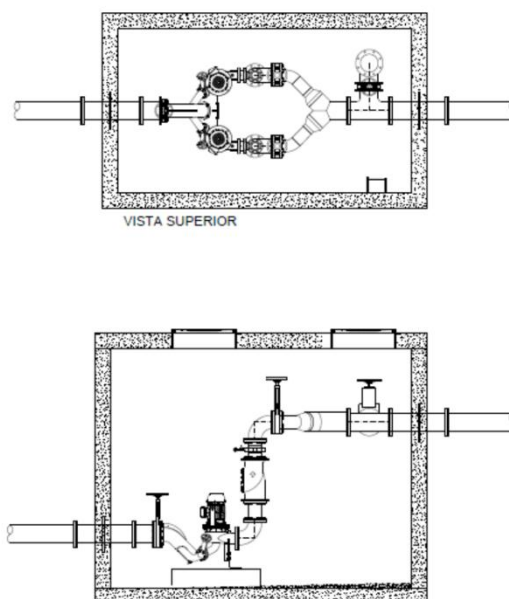
Figura 02: Tubos recalque na horizontal.



Fonte: Nota Técnica 37 - Sistema de Bombeamento em Linha (2023).

Ainda seguindo a Nota Técnica 37 - Sistema de Bombeamento em Linha, o sistema também pode ficar disposto com tubo de recalque na vertical, conforme figura 03 a seguir.

Figura 03: Tubos recalque na vertical.



Fonte: Nota Técnica 37 - Sistema de Bombeamento em Linha (2023).

2.1.3.2 - Elevatórias com ejetores pneumáticos

Os ejetores pneumáticos, de acordo com Motta (1969), são dispositivos utilizados em estações elevatórias de pequeno porte, para vazões baixas e reduzidas alturas de elevação dos esgotos.

A capacidade do ejeto varia normalmente de 5 a 15 l/s não ultrapassando 20 l/s, já que, para vazões superiores a esta, o consumo de energia cresce demasiadamente (Tsutiya e Sobrinho, 2011).

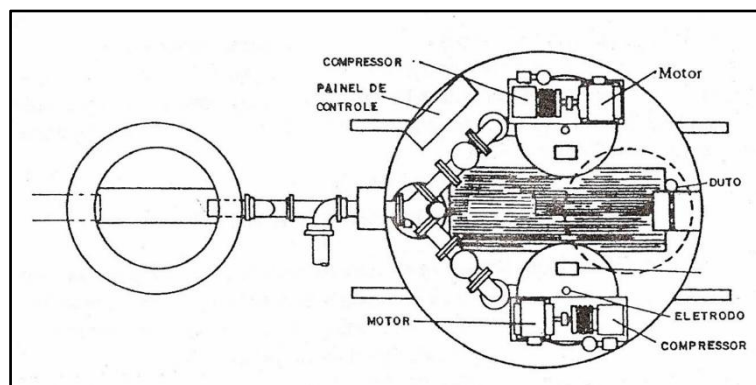
São aparelhos robustos, mais duráveis do que as bombas, sendo seu funcionamento usualmente mais garantido do que o destas. Suas vantagens específicas, dentro de sua limitada faixa de aplicação, compensam, em muitos casos, sua baixíssima eficiência, que é da ordem de 51% (Motta, 1969).

Tsutiya e Sobrinho (2011) pontuam Suas principais vantagens como:

- O esgoto permanece encerrado durante sua passagem pelo ejeto e, conseqüentemente, não há escape de gás do esgoto, a não ser pelo respiro;
- O funcionamento é completamente automático e o ejeto só funciona quando necessário;
- O número relativamente pequeno de peças móveis em contato com o esgoto requer pouca manutenção;
- Os ejetores não se obstruem facilmente;
- Não é necessário o prévio gradeamento do esgoto, pois as válvulas e condutos de ligação deixam passar livremente quaisquer sólidos que entrem no esgoto.

A figura 04 abaixo apresenta a representação de uma elevatória com ejeto pneumático em planta.

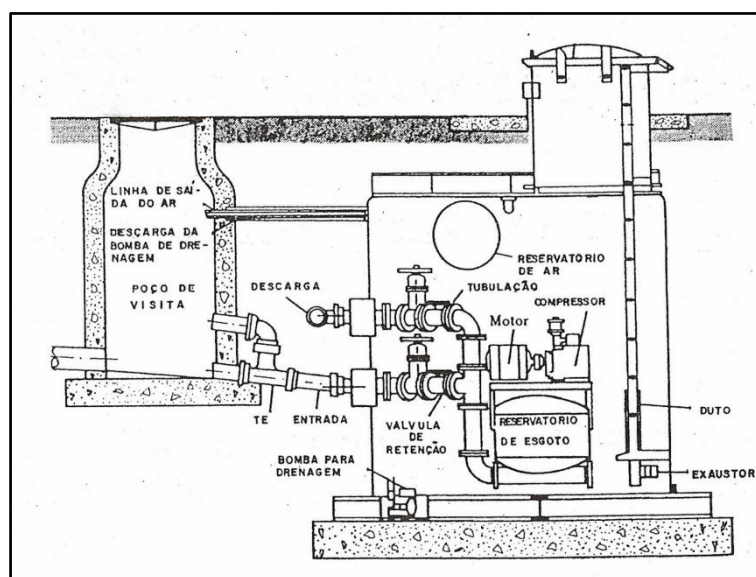
Figura 04: Planta de elevatória com ejedor pneumático.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A figura 05 indica a representação de uma elevatória com ejedor pneumático em corte.

Figura 05: Corte de elevatória com ejedor pneumático.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

2.1.3.3 - Elevatórias com bombas parafuso

Devido às suas características, as elevatórias com bombas parafuso são, em geral, utilizadas próximo à estação de tratamento de esgoto localizada fora da área urbanizada. O processo elevatório é inteiramente visível em todos os seus detalhes

podendo conduzir esgoto muito poluídos sem maiores problemas (Tsutiya e Sobrinho, 2011).

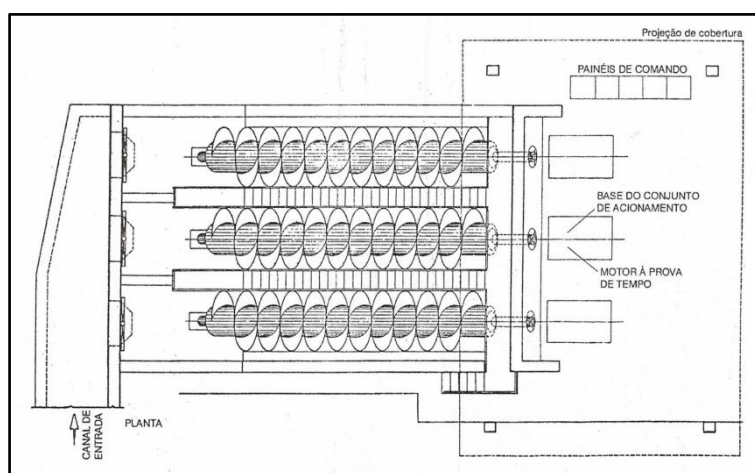
Constam, essencialmente, de um parafuso cilíndrico, de maiores ou menores proporções, montando no interior de uma calha inclinada; os extremos do eixo do parafuso apoiam-se em mancais e um motor situado próximo à extremidade mais elevada é empregado para comunicar ao eixo do parafuso um movimento de rotação conveniente (Motta, 1969).

Ainda conforme Motta (1969), o líquido a ser bombeado chega ao extremo inferior do parafuso através do conduto afluente, e as pás do parafuso impulsionam as partículas líquidas, ao longo da calha, até o extremo superior, de onde parte o conduto efluente.

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (2011), para alcançar a máxima eficiência no bombeamento é essencial que a folga entre a bomba e o leito seja a menor possível. Para assegurar a folga correta e obter um acabamento liso é usual e recomendável que a conformação final do leito de concreto seja executada com a bomba já instalada. Para as bombas com diâmetro de parafuso inferior a 750 mm pode-se utilizar o leito em chapa de aço.

Na figura 06, consta a representação de uma elevatória com bombas parafuso em planta.

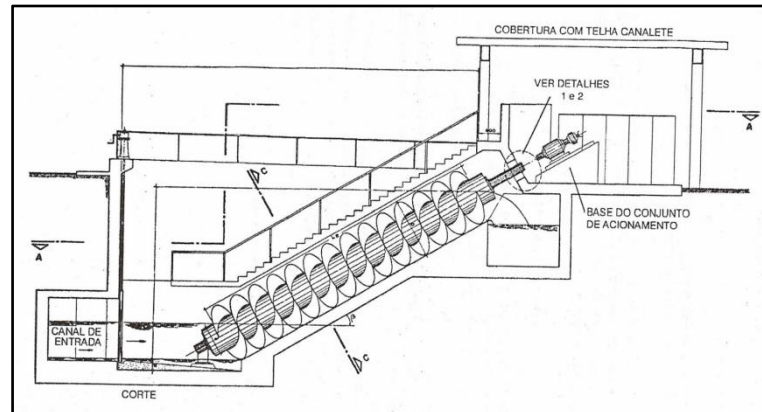
Figura 06: Planta de elevatória com bombas parafuso.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A figura 07 é caracterizada pela representação de uma elevatória com bombas parafuso em corte.

Figura 07: Corte de elevatória com bombas parafuso.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

2.1.3.4 - Classificação das *elevatórias convencionais*

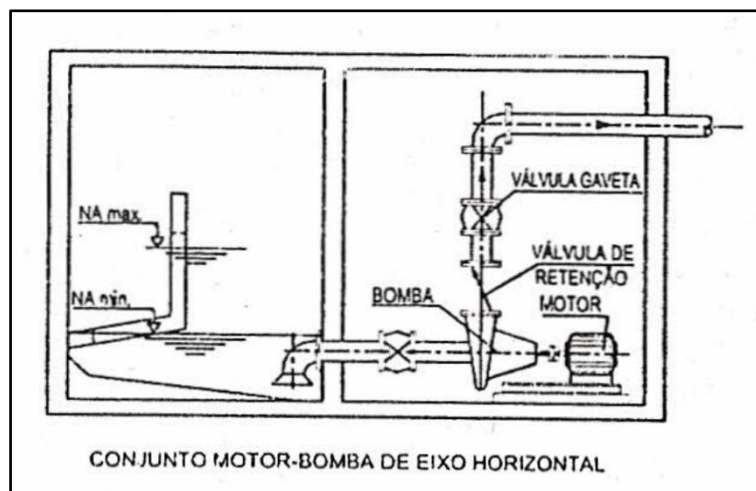
De acordo com a instalação da bomba, as elevatórias podem ser classificadas em estações elevatórias de poço seco e estações elevatórias de poço úmido. A classificação de seco ou úmido refere-se à localização da bomba. Quando a bomba localiza-se fora da água é denominada de poço seco, caso contrário, de poço úmido (Tsutiya, 2006).

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (2011), a instalação dos conjuntos elevatórios, as elevatórias convencionais podem ser classificadas em:

- Poço seco:
 - conjunto motor-bomba de eixo horizontal;
 - conjunto motor-bomba de eixo vertical, bomba não submersa.;
 - conjunto motor-bomba de eixo prolongado, bomba não submersa;
 - conjunto motor-bomba de eixo horizontal, bomba auto-escorvante,
- Poço úmido:
 - conjunto vertical de eixo prolongado, bomba submersa;
 - conjunto motor-bomba, submerso.

A figura 08 apresenta a exemplificação de elevatória convencional de poço seco com conjunto motor-bomba de eixo horizontal:

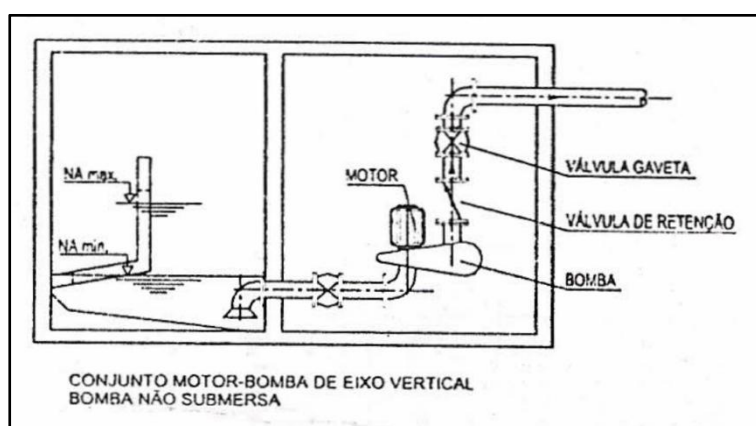
Figura 08: conjunto motor-bomba de eixo horizontal.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A figura 09 apresenta a representação de elevatória convencional de poço seco com conjunto motor-bomba de eixo vertical, bomba não submersa:

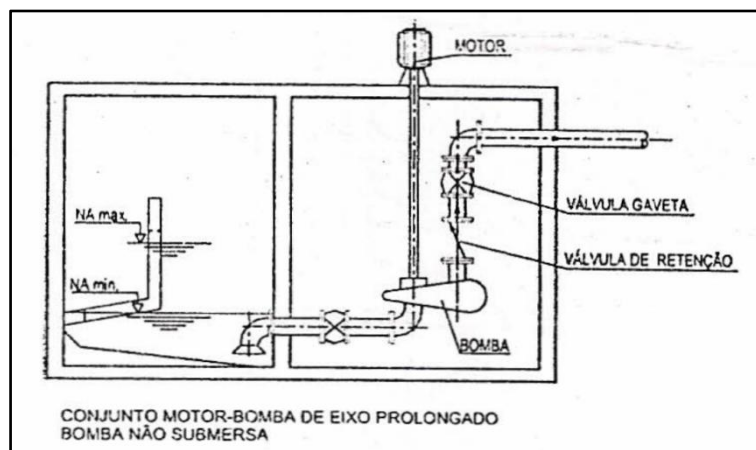
Figura 09: conjunto motor-bomba de eixo vertical, bomba não submersa.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A figura 10 apresenta a exemplificação de elevatória convencional de poço seco com conjunto motor-bomba de eixo prolongado, bomba não submersa:

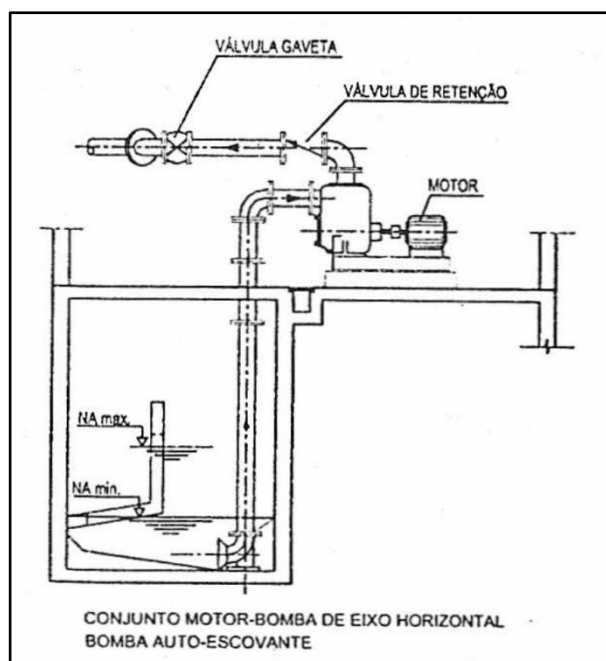
Figura 10: conjunto motor-bomba de eixo prolongado, bomba não submersa.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A figura 11 apresenta o croqui de elevatória convencional de poço seco com conjunto motor-bomba de eixo horizontal, bomba auto-escorvante:

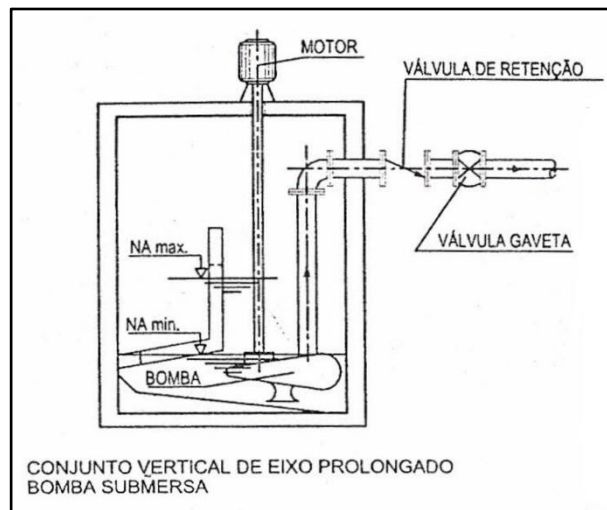
Figura 11: conjunto motor-bomba de eixo horizontal, bomba auto-escorvante.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A figura 12 apresenta uma elevatória convencional de poço úmido com conjunto vertical de eixo prolongado, bomba submersa:

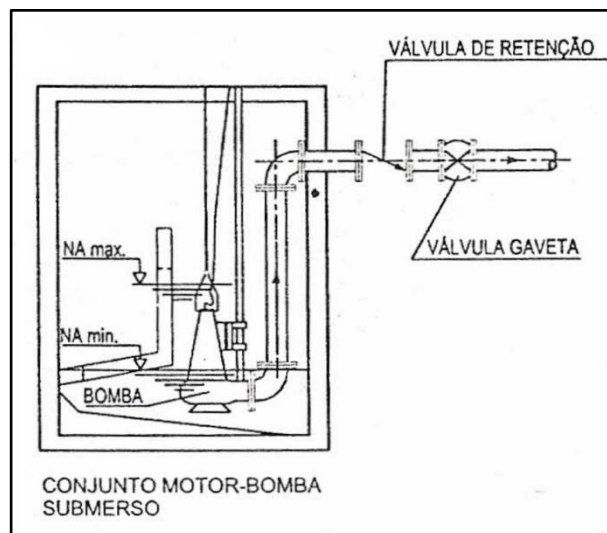
Figura 12: conjunto vertical de eixo prolongado, bomba submersa.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A figura 13 representa uma elevatória convencional de poço úmido com conjunto motor-bomba, submerso:

Figura 13: conjunto motor-bomba, submerso.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

2.1.3.4.1 - Elevatórias convencionais de poço seco

Segundo Tsutiya (2006), as elevatórias convencionais de poço seco têm o poço de sucção separado da casa de bombas. Por ser dimensionado e detalhado da mesma maneira para todas as elevatórias convencionais, o poço de sucção será

considerado posteriormente, sendo que neste item são considerados apenas os aspectos relativos à casa de bombas.

As dimensões da casa de bombas devem ser projetadas de modo a garantir a facilidade para a movimentação, manutenção, montagem, desmontagem, além de possibilitar o transporte dos equipamentos para dentro e fora do local. Além disso, quando necessário, o espaço deve comportar os dispositivos auxiliares destinados à operação e ao deslocamento das unidades instaladas. Se o piso da casa de bombas estiver situado abaixo do nível máximo do líquido no poço de sucção, é indicado incluir uma bomba de drenagem no projeto.

Além de ser adequadamente iluminada e ventilada, a casa de bombas, na medida do possível, deve ter formas e dimensões apropriadas em termos estruturais, e econômicas quanto ao aspecto construtivo. (Tsutiya, 2006)

2.1.3.4.2 - Elevatórias convencionais de poço úmido

As elevatórias do tipo convencional de poço úmido, são comuns para as elevatórias de pequeno e médio portes, devido sua utilização do conjunto motor-bomba submerso e demandar espaço reduzido.

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (2011), às elevatórias que utilizam conjuntos motor-bomba submersos são instalações simplificadas e totalmente enterradas, sem superestrutura. Além de sua instalação requerer áreas menores, elas podem funcionar mesmo em local sujeito a eventuais inundações e ser construídas em regiões densamente povoadas, já que são enterradas e não exalam odores sensíveis. Como são totalmente subterrâneas, não alteram a urbanização existente. Estas elevatórias apresentam, em geral, custo global inferior às elevatórias que utilizam outros tipos de bombas.

2.2. - Poço de Sucção

Conforme Motta (1969), o “poço de recepção”, “sucção”, “de acumulação”, ou “poço molhado” de uma estação elevatória de esgotos é, antes de mais nada, uma estrutura de transição que recebe as contribuições de um ou mais condutos afluentes, livres ou forçados, e as coloca à disposição das unidades de recalque.

O volume requerido do poço de sucção para se ter um funcionamento adequado dos conjuntos elevatórios depende, principalmente, do número de partidas dos conjuntos elevatórios, da quantidade e da sequência operacional das bombas. Outro aspecto importante é manter uma submersão adequada na sucção, a fim de evitar a entrada de ar na bomba devido ao fenômeno de vórtice (Tsutiya, 2006).

2.3. - Período de projeto

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2011), os seguintes fatores limitantes do período de projeto devem ser considerados:

- vida útil das instalações e equipamentos, e rapidez com que se tornam obsoletos;
- maior ou menor dificuldade de ampliação das instalações;
- população futura: características de crescimento;
- taxas de juros e amortização do financiamento;
- nível econômico da população atendida;
- facilidades ou dificuldades na obtenção de financiamento;
- funcionamento da instalação nos primeiros anos, quando trabalha com folga.

Ainda de acordo com Tsutiya e Sobrinho (2011), a fixação de valores de vida útil é de difícil avaliação, devido à multiplicidade e complexidade dos fatores intervenientes. Valores de vida útil normalmente considerados são:

- tubulações - 50 anos;
- equipamentos de bombeamento - 25 anos;
- edificações - 50 anos.

No planejamento de estações elevatórias, é usual adotar um período de projeto de 20 anos, que geralmente corresponde ao prazo de financiamento das obras. Em situações específicas, especialmente para instalações de maior porte, é fundamental realizar uma análise econômico-financeira detalhada para determinar o período de projeto mais adequado.

2.4. Vazões de projeto

O cálculo das vazões contribuintes constitui um dos principais problemas com que se defronta o projetista, durante a elaboração de um projeto de elevatória de esgoto. Os elementos que influem nessa determinação são de tal ordem complexos e aleatórios que, se não forem convenientemente interpretados e avaliados, podem interferir no funcionamento hidráulico do sistema (Tsutiya e Sobrinho, 2011).

Conforme a NBR 12208 (ABNT, 2020), de vazão para dimensionamento:

- Atender ao horizonte do estudo ou do projeto, que deve ser estabelecido por critério técnico da prestadora de serviço ou contratante responsável pelo sistema de esgotamento sanitário.
- O índice de perda total (real e aparente) deve ser considerado na vazão, levando em consideração as metas resultantes das ações e dos planos de controle e redução de perdas da prestadora de serviço ou contratante do sistema de abastecimento e sua evolução no horizonte do estudo ou do projeto
- Os coeficientes k_1 , k_2 e k_3 devem ser obtidos a partir dos dados existentes da localidade. Quando da inexistência de histórico, adotar valores explicitados na literatura específica.
- Deve ser verificada a condição operacional para a vazão máxima afluyente de horizonte do estudo ou do projeto e mínima de início de operação, as vazões afluentes inicial e final (Q_i e Q_f), considerando a(s) etapa(s) intermediária(s), conforme estudo e/ou projeto em desenvolvimento, avaliadas atendendo aos critérios da ABNT NBR 9648, ABNT NBR 9649 e ABNT NBR 12207, e a operação horossazonal relacionada à eficiência energética.
- A contribuição de tempo seco deve ser considerada, quando existente.

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (2011), para a avaliação dessas vazões, deve ser realizada uma cuidadosa investigação sobre as áreas que contribuem para a elevatória, nas diversas etapas do projeto, bem como, o regime de variação de tais vazões ao longo do dia mais desfavorável.

Há duas vazões que devem ser consideradas para o projeto das elevatórias:

- vazão média de início de plano ou de etapa;
- vazão máxima de fim de plano ou de etapa.

Cada uma dessas vazões desempenha um papel específico no dimensionamento de uma estação elevada. A vazão máxima é empregada para definir a capacidade de recalque das bombas, e, com base na capacidade máxima dos conjuntos, são definidas as dimensões mínimas do poço de sucção, garantindo que o intervalo entre partidas não comprometa o funcionamento dos motores. Já a vazão média no início do plano serve para apontar as dimensões máximas do poço de sucção, evitando que o esgoto permaneça por longos períodos, o que poderia causar sua septicidade.

2.5. Bombas

De acordo com Motta (1969), as unidades de recalque normalmente utilizadas em estações elevatórias de esgotos compreendem os seguintes tipos:

- Bombas centrífugas, em seu sentido amplo, abrangendo;
 - Bombas centrífugas radiais (“centrifugal pumps” ou “radial flow pumps”)
 - Bombas axiais ou de hélice (“axial flow pumps” ou “propeller pumps”)
 - Bombas centrífugo-axiais ou de descarga mista (“mixed flow pumps” ou “angle flow pumps”)
- Ejetores pneumáticos (“pneumatic ejectors”)
- Parafuso hidráulico de Arquimedes (“Archimedean waterscrew”)

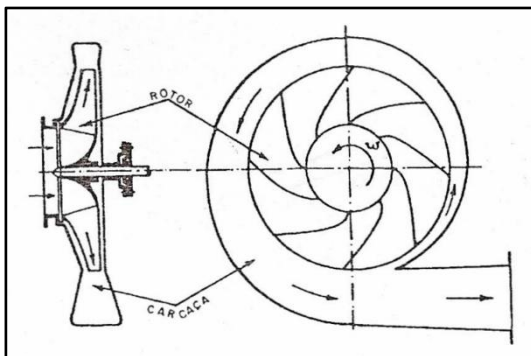
2.5.1 Bombas centrífugas

São caracterizadas por possuírem um elemento rotativo dotado de pá (rotor), que fornece ao líquido o trabalho mecânico para vencer o desnível necessário. A bomba centrífuga é composta fundamentalmente de duas partes: o rotor e a carcaça. As pás do rotor impulsionam o líquido em direção à carcaça, proporcionando-lhe um acréscimo de pressão e velocidade. A carcaça, que na maioria das vezes tem a forma de espiral, possui entre outras funções a de receber o líquido que sai do rotor,

transformando parte de sua energia cinética em energia potencial de pressão (Tsutiya e Sobrinho, 2011).

O desenho da figura 14 abaixo mostra a representação do corte de uma bomba centrífuga:

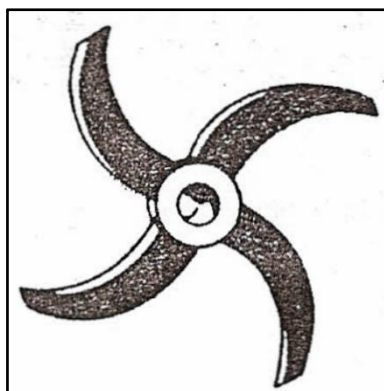
Figura 14: corte esquemático de uma bomba centrífuga.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

Já nas figuras a seguir são representados os tipos de rotores. A figura 15 representa o rotor do tipo aberto:

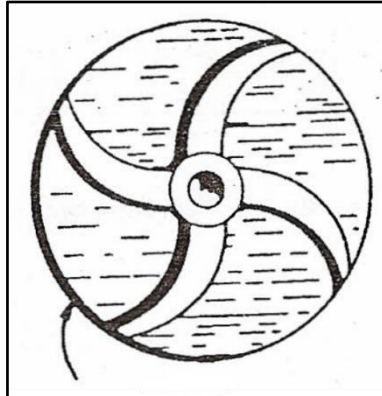
Figura 15: rotor aberto.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A figura 16 representa o rotor do tipo semiaberto:

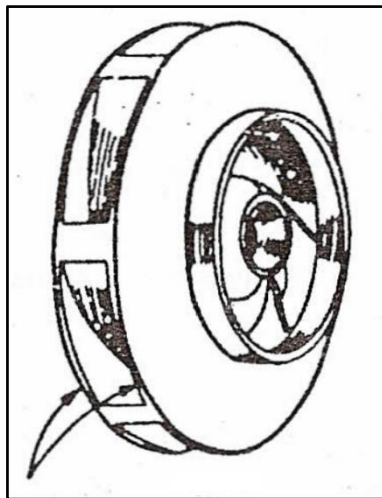
Figura 16: rotor semiaberto.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

A figura 17 representa o rotor do tipo fechado:

Figura 17: rotor fechado.



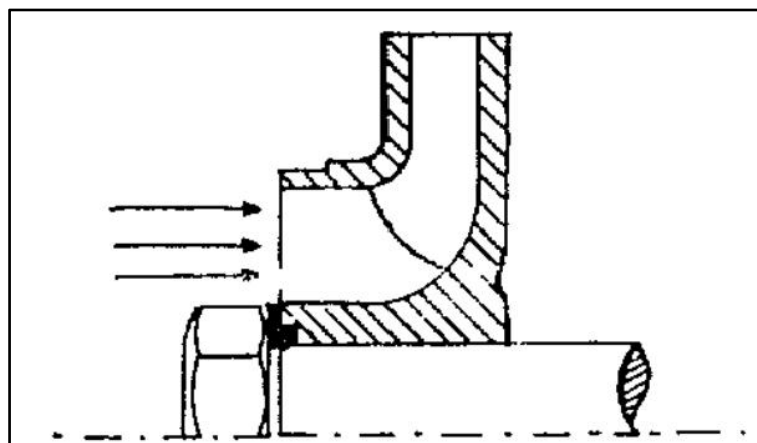
Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

2.5.1.1 Bombas centrífugas radiais

O fluido penetra axialmente no rotor, sendo sua trajetória bruscamente desviada para a direção radial (Carvalho, 1979).

A figura 18 abaixo ilustra uma bomba radial:

Figura 18: bomba radial.



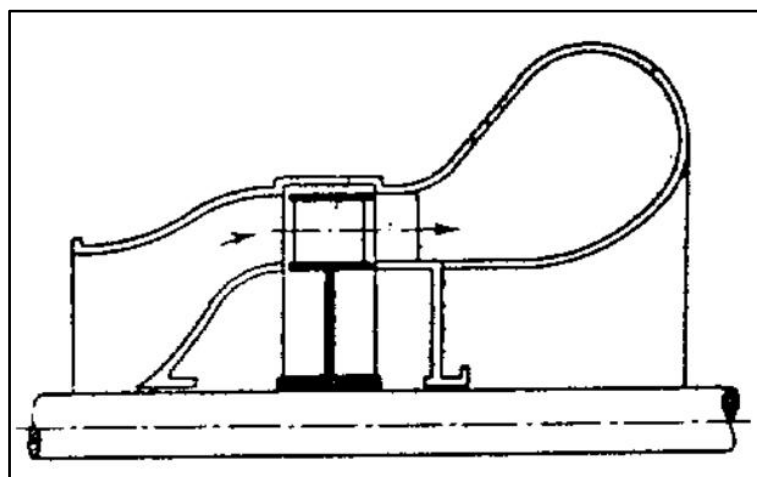
Fonte: Carvalho (1979).

2.5.1.2 Bombas centrífugas axiais

A trajetória do fluido se desenvolve, com relação ao rotor, em direção preponderantemente axial. São bombas cujo campo de emprego caracteriza-se pelo recalque de grandes vazões em pequenas alturas (Carvalho, 1979).

A figura 19 abaixo ilustra uma bomba axial:

Figura 19: bomba axial.



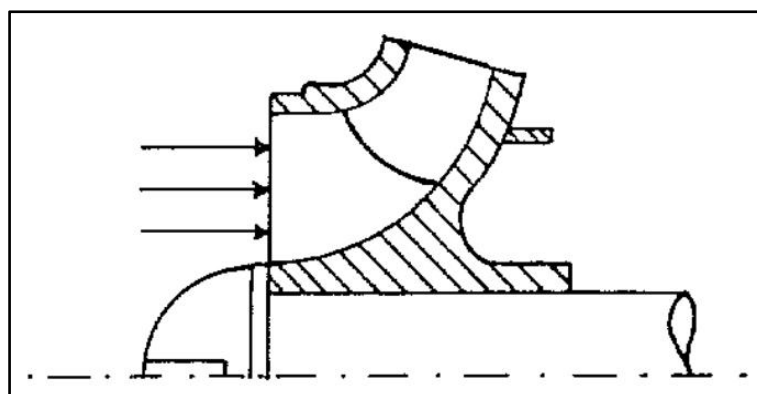
Fonte: Carvalho (1979).

2.5.1.3 Bombas centrífugas mistas

Constitui um caso intermediário entre as bombas radiais e axiais, tanto no que diz respeito à trajetória, como, inclusive, no campo de emprego. Assim, sua trajetória se faz numa diagonal e seu campo de emprego caracteriza-se pelo recalque de médias vazões em médias alturas (Carvalho, 1979).

A figura 20 abaixo ilustra uma bomba mista:

Figura 20: bomba mista.



Fonte: Carvalho (1979).

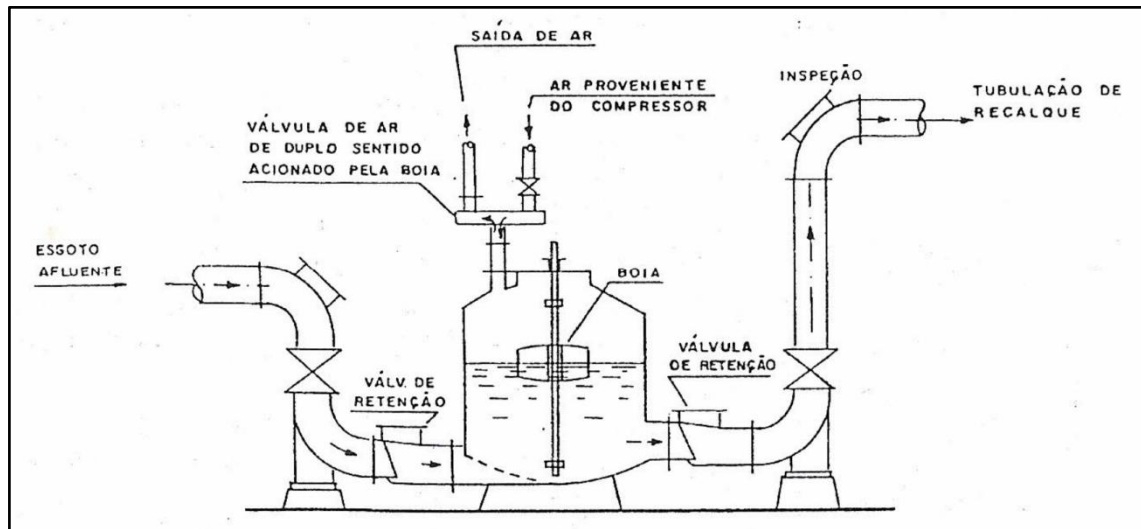
2.5.2 Ejetores Pneumáticos

Segundo Motta (1969): “Um ejedor consiste, essencialmente, de um tanque fechado, para o interior do qual o esgoto flui, por gravidade, até atingir um determinado nível. Em seguida, pela ação de um flutuador ou de outro dispositivo de controle, o ar é admitido no interior do tanque, através de válvulas especiais, ou diretamente de um compressor, em quantidade e pressão suficientes para promover a descarga do líquido.

A válvula de retenção instalada no conduto de entrada do ejedor impede que o esgoto saia do tanque, a não ser através da válvula de retenção instalada no conduto de saída, a qual se destina a evitar o retorno do esgoto recalcado. O ar sob pressão vai deslocando o esgoto, volumetricamente, até que o atingimento do nível mínimo do esgoto, estabelecido pela limitação do percurso do flutuador ou por outro dispositivo de controle, provoque a interrupção da entrada de ar”.

A figura 21 a seguir, mostra o desenho de um ejedor pneumático:

Figura 21: ejedor pneumático.



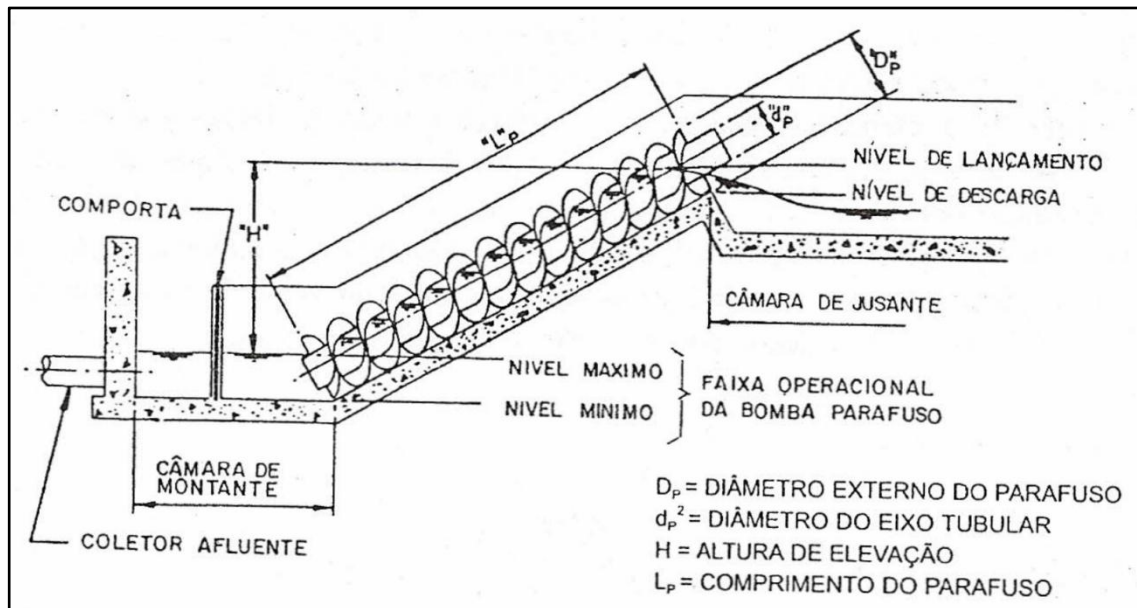
Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

2.5.3 Parafuso hidráulico de Arquimedes

Conforme Tsutiya e Sobrinho (2011), “as bombas parafuso são provavelmente o tipo mais antigo de bombas existentes. O seu funcionamento é baseado no princípio do parafuso de Arquimedes, no qual um eixo rotativo acoplado a uma, duas ou três lâminas helicoidais, girando num plano inclinado, eleva o esgoto. Podem ser instaladas com ângulo de inclinação de 22° até 40° . Uma bomba instalada com ângulo de 22° bombeará mais do que uma instalada a um ângulo de 38° , entretanto, ocupará maior espaço. A altura de elevação para uma bomba parafuso é limitada a cerca de 9m, sendo este limite imposto pelos requisitos estruturais do parafuso. Além disso, para alturas maiores, a eficiência diminui sensivelmente em virtude do crescente retomo de água, ao longo das pequenas folgas existentes entre o corpo da bomba, as paredes e o fundo do canal em que o mesmo se encontra instalado. Quanto ao rendimento, pode-se esperar um valor de 60 a 65% para bomba de pequeno porte e de até 75% para bombas maiores.”

Na figura 22, temos a representação do parafuso hidráulico de Arquimedes:

Figura 22: parafuso hidráulico de Arquimedes.



Fonte: Tsutiya e Sobrinho (2011).

2.6. Motores

De acordo com Gomes (2009), as máquinas motrizes ou motores são dispositivos que convertem dada modalidade de energia em trabalho de eixo ou energia mecânica. Como potência de entrada podem-se destacar:

- A energia térmica - usada nos motores de combustão interna, nas turbinas a vapor e a gás;
- A energia hidráulica - que suprem as turbinas de mesmo nome;
- A energia elétrica - fonte de potência dos motores elétricos, que graças à sua simplicidade, confiabilidade e flexibilidade associado a relativamente baixos custos de aquisição, operação e manutenção, são responsáveis pelo acionamento da grande maioria das bombas hidráulicas.

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2011), dois tipos de motores são basicamente utilizados em elevatórias de esgotos:

- motores elétricos;
- motores de combustão interna.

Conforme Tsutiya (2006), os tipos mais comuns de motores elétricos são:

- **Motores de corrente contínua:** são utilizados em aplicações que exigem ajuste fino e controle preciso de velocidade. Além disso, precisam de uma fonte de corrente contínua, ou de dispositivo que converta a corrente alternada em contínua. Devido ao seu elevado custo, seu uso é restrito a casos especiais e raramente utilizado em estações elevatórias de água;
- **Motores de corrente alternada:** são os mais utilizados porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Os principais tipos são o motor síncrono e o motor de indução ou assíncrono.

Seguindo o que diz Carvalho (1979), são fatores que influem na escolha do motor:

- custo;
- simplicidade de construção;
- facilidade de operação;
- robustez;
- fator de potência;
- torque;
- exigência ou conveniência de rotação.

Conforme a ABNT NBR 12208 (2020), quando da seleção do motor:

- a. recomenda-se atender às características técnicas que agreguem melhor qualidade, preservação da integridade, otimização eletromecânica do motor e maior eficiência, mesmo em condições operacionais severas, como:
 - fator de serviço que permita suportar eventuais picos de carga, atendendo as diretrizes da prestadora de serviço ou contratante e conforme as ABNT NBR 17094-1 e ABNT NBR 17094-2;
 - elevação de temperatura ao mínimo da classe B (80°C) e nível de isolamento classe F (150°C), conforme as ABNT NBR 17094-1 e ABNT NBR 17094-2;
 - sistema de ventilação bidirecional;

- b. se o motor for operar com conversor de frequência, verificar se as condições elétricas são compatíveis;
- c. deve ser respeitado o intervalo entre partidas especificado pelo fabricante. Este intervalo deve ser indicado no projeto e no manual de operação;
- d. o motor deve ser compatível com a potência demandada pela bomba, cobrindo a faixa de operação e eficiência determinada no projeto;
- e. recomenda-se escolher o motor com menor nível de ruído, conforme a ABNT NBR IEC 60034-9.

2.6.1. Motores de corrente alternada

2.6.1.1. Motores síncronos

Conforme Tsutiya (2006), os motores síncronos são fabricados com 80 a 3.600 rpm. Isto permite acoplar o motor diretamente à carga, mesmo em baixas rotações, onde um motor de indução exigiria um redutor de velocidades e apresentaria rendimento e fator de potência mais baixos. As vantagens apontadas tendem a ser mais significativas à medida que aumenta a potência dos motores.

Os motores síncronos se aplicam às grandes instalações, com potências a partir de 300 cv, principalmente quando as velocidades exigidas são baixas. Esta última característica pode ser uma grande vantagem, comparada com outros tipos que não operam satisfatoriamente em baixas rotações, a não ser utilizando dispendiosos redutores de velocidade e ainda assim com baixos rendimentos. Devido a sua maior eficiência, o dispêndio com energia elétrica em grandes instalações, passa a ter significativo valor na economia geral do sistema, não obstante o elevado custo inicial (Gomes, 2009).

Ainda de acordo com Gomes (2009), nos motores síncronos, o estator é alimentado por corrente alternada e o rotor é alimentado por corrente contínua, necessitando para isso de algum tipo de retificador.

Para seu funcionamento há necessidade de uma fonte suplementar de energia em corrente contínua destinada à alimentação dos enrolamentos do rotor. Isto é obtido através de um pequeno gerador, conhecido por excitatriz, montado no mesmo eixo do motor, ou mediante um sistema de retificação estática que se utiliza a mesma fonte de alimentação (Tsutiya, 2006).

Segundo Gomes (2009), outro inconveniente é com relação à partida. Devido ao baixo conjugado na arrancada, necessita de partida auxiliar, normalmente empregando um motor de indução. Só depois de atingir a velocidade síncrona pode ser submetido à carga, o que torna o procedimento de partida relativamente complicado.

Nessas condições, o custo de um motor síncrono é comparável ao de um motor de indução, tornando-se necessário um estudo comparativo para a definição do tipo de motor a ser utilizado. O motor síncrono quando superexcitado gera carga capacitiva, e quando é ligado em paralelo com o motor de indução, corrige o fator de potência do sistema. A estrutura e o mecanismo de operação dos motores síncronos são relativamente complexos (Tsutiya, 2006).

Segundo Carvalho (1979), seu uso se restringe apenas às grandes instalações, onde apresenta vantagens em relação ao motor de indução como:

- maior rendimento;
- alto fator de potência.

Seus inconvenientes são:

- não suportam bem as quedas de tensão;
- exigem maiores cuidados de operação;
- custo maior que os dos motores assíncronos (exceto nas grandes unidades de baixa velocidade);
- não permite variações de velocidade.

2.6.1.2. Motores de indução

Em concordância com Tsutiya e Sobrinho (2011), os motores de indução podem ser:

- **monofásicos** - utilizados para acionamento de cargas de pequena potência, até 5 cv;
- **trifásicos** - largamente utilizados em elevatórias de água e esgoto, de pequenas a grandes potências, razão pela qual seus principais tipos e características serão analisados mais detalhadamente.

No motor de indução a rotação não coincide exatamente com a rotação síncrona. Em razão do escorregamento, a rotação do motor de indução é de 2 a 5% menor do que a rotação do motor síncrono.

Normalmente, a rotação máxima para bombas que operam em esgoto é de 1.200 rpm, porém, para bombas centrífugas com vazões inferiores a 50 l/s, se necessário, pode-se trabalhar com 1.800 rpm.

2.6.1.2.1 Motor de indução trifásico com rotor em gaiola

É o mais utilizado nas pequenas, médias e até grandes instalações de bombeamento, devido a sua simplicidade, confiabilidade e economia. Estima-se que 90% dos motores fabricados sejam desse tipo. Quando não há necessidade de ajuste e controle de rotação, sua utilização é predominante. Outros tipos de motores, são usados somente quando alguma peculiaridade determina tal opção (Tsutiya e Sobrinho, 2011).

É dotado de um maciço cilíndrico, possui ranhuras onde se alojam os fios ou barras de cobre, mantidos em curto-circuito através de um anel, não existindo contato elétrico do induzido com o exterior, de modo que a corrente que circula no rotor é induzida pelo campo. Seu rendimento é alto. Possui corrente de partida elevada, da ordem de seis a oito vezes a nominal, exigindo chaves elétricas apropriadas para arrancar (Gomes, 2009).

De acordo com Tsutiya e Sobrinho (2011), atualmente, o uso desse tipo de motor com controle de rotação é bastante comum, sendo utilizado o inversor de frequência para a variação da rotação. Uma das vantagens da utilização do inversor de frequência reside no fato de que, mesmo em sistemas em operação, não há necessidade de troca de motor para sua instalação. O uso do variador de rotação para motor de indução, corrige o fator de potência, do motor. Essa correção se dá somente quando o motor é ligado a rede de alimentação de 60 Hz, trifásico.

Segundo Carvalho (1979), é o tipo mais empregado e suas vantagens são:

- baixo custo;
- segurança;
- robustez
- facilidade de operação.

Seus inconvenientes são:

- pequeno fator de potência - exigindo grande demanda inicial
- baixo torque
- não permite variações de velocidade

2.6.1.2.2 Motor de indução trifásico com rotor bobinado

Utilizado para acionamento das bombas de rotação variável, possui enrolamento também no rotor, com comutação para o exterior através de anéis coletores (Tsutiya e Sobrinho, 2011).

Segundo Gomes (2009), durante a partida o enrolamento do rotor é conectado ao do estator através de anéis. Estes permitem a introdução de resistência, em série com o enrolamento, que é reduzida até o zero à medida que a rotação aumenta. Quando sem carga giram praticamente à rotação síncrona. Quando sob carga sua rotação cai de acordo com o deslizamento.

Em concordância com Tsutiya e Sobrinho (2011), a variação de rotação é obtida alternando-se a resistência conectada ao rotor através dos anéis. Na partida é conectada a resistência máxima e, para alcançar a rotação máxima, essa resistência é totalmente eliminada, provocando o curto circuito dos terminais do rotor.

A utilização do motor de indução com rotor bobinado para o acionamento das bombas de rotação variável está sendo substituído por motor de indução assíncrono, com uso de variador de rotação do tipo inversor de frequência, com vantagem do sistema operacional ser mais simples e confiável. O mercado oferece inversores de frequência com potência para uso em micro motores, até motores de potência elevada (≈ 5.000 cv) em tensão de 220, 380, 440 e até 3.800 V, conforme a potência do motor (Tsutiya e Sobrinho, 2011).

Consoante a Carvalho (1979), suas principais vantagens são:

- bom torque;
- permite variações de velocidade;
- não requer corrente excessiva de partida;
- ocupa menor espaço que o anterior.

Seus inconvenientes:

- queda no rendimento para velocidades mais baixas;
- custo maior (de 15 a 50% que o anterior);
- pequeno fator de potência.

2.6.2. Motores de combustão interna

Segundo Tsutiya e Sobrinho (2011), as principais aplicações dos motores de combustão interna são:

- Em grandes elevatórias, como fonte de energia auxiliar para acionamento das bombas e demais equipamentos elétricos, durante as interrupções de energia elétrica;
- Funcionamento das bombas nas elevatórias situados em locais distantes onde não se dispõe de energia elétrica, ou, quando o seu fornecimento é irregular;
- Nas elevatórias localizadas junto às estações de tratamento de esgotos, que dispõe de gás de esgoto, o qual possa ser utilizado como combustível.

Os motores de combustão interna utilizadas em elevatórias de esgoto, podem ser classificadas em:

- Motores de ignição por faísca - estes aspiram uma mistura ar/combustível já formada e convenientemente dosada, cuja combustão inicia-se pelo disparo de uma faísca. O combustível utilizado pode ser, gás natural, gás de esgoto, gasolina ou álcool. A gasolina e o álcool devido aos problemas decorrentes do armazenamento não são comumente utilizados.
- Motores de ignição espontânea - geralmente aspira-se apenas o ar, injetando-se combustível na câmara, onde se inicia a combustão a uma determinada pressão e temperatura. Fazem parte deste grupo, os motores Diesel, que utilizam o óleo diesel como combustível.

De acordo com Carvalho (1979), entre suas principais vantagens podemos citar:

- não exigem a construção de linhas até o local da instalação;
- dão um grau elevado de mobilidade a instalação;
- possibilitam, sem maiores transtornos, o uso da unidade para outros fins.

Suas desvantagens principais:

- Poluição local;
- Maior investimento inicial.

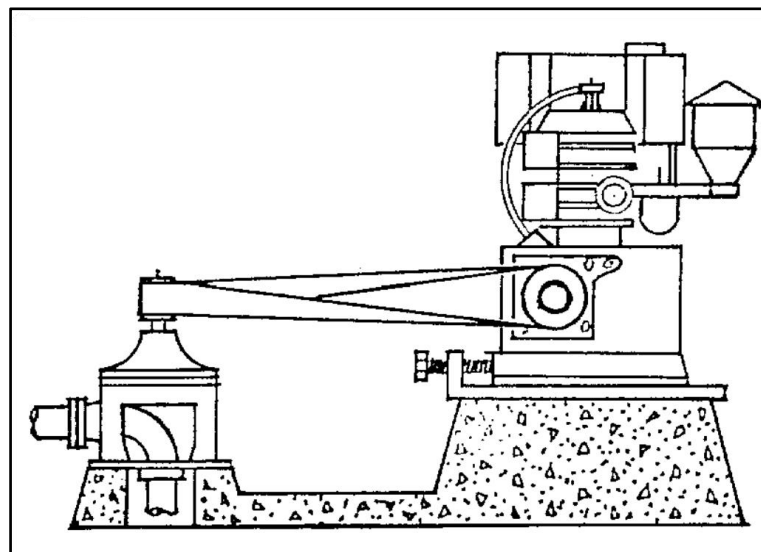
Nos serviços de bombeamento podem ser usados dois tipos de motores de combustão:

- Motor com ignição a centelha (motor a gasolina)
- Motor Diesel.

O motor Diesel é mais caro que o motor com ignição a centelhas, mas, em compensação, apresenta menores gastos com combustível. Neste último tipo de motor, além de gasolina, pode-se usar gases do petróleo ou gás natural.

A figura 23 a seguir, demonstra o croqui de uma bomba acionada com motor de combustão interna:

Figura 23: bomba acionada com motor de combustão interna.



Fonte: Carvalho (1979).

Os motores de combustão interna poderão acionar diretamente as bombas, ou acionar um gerador de energia elétrica, que por sua vez, movimenta as bombas e os equipamentos elétricos da elevatória. No caso de elevatórias integrantes de uma estação de tratamento de esgoto, na qual o gás de esgoto é disponível, podem ser utilizados os motores de ignição por faísca, ou os motores diesel tipo "dual-fuel". Os motores diesel tipo "dual-fuel" são motores que podem funcionar com dois combustíveis diferentes, um dos quais o gás de esgoto, e o outro o óleo combustível. A mistura do óleo com o gás é variada, necessitando, no entanto, um mínimo de 10% de óleo diesel para o funcionamento adequado desses motores. Em nosso meio, os motores de combustão interna são poucos utilizados (Tsutiya e Sobrinho, 2011).

3. METODOLOGIA

3.1. Parâmetros adotados

A variação de vazão foi avaliada por meio de diferentes populações , em duas alturas manométricas. Como parâmetros fixos para análise, vamos considerar um bairro ou conjunto de imóveis sendo casas de médio padrão. Vamos fixar também um comprimento total da rede de esgoto (L) de **500 metros**, para tomarmos como base de cálculos. Sendo assim, foi proposto em três cenários, conforme descrito a seguir:

- **Cenário 01**

- Vazão para atender população de 100 habitantes;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 20 m;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 100 m.

- **Cenário 02**

- Vazão para atender população de 1.000 habitantes;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 20 m;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 100 m.

- **Cenário 03**

- Vazão para atender população de 10.000 habitantes;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 20 m;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 100 m.

De acordo com o item 5.1.1 da NBR 9649 (ABNT, 1986), “Para todos os trechos da rede devem ser estimadas as vazões inicial e final (Q_i e Q_f)”. Complementando com o item 5.1.1.1 da mesma, “Inexistindo dados pesquisados e comprovados, com validade estatística, recomenda-se como o menor valor de vazão **1,5 L/s** em qualquer trecho”.

Segundo para o item 5.1.2 da NBR 9649 (ABNT, 1986), “Os diâmetros a empregar devem ser os previstos nas normas e especificações brasileiras relativas aos diversos materiais, o menor não sendo inferior a **DN 100**.”

Os valores de referência para os coeficientes **K1, K2 e K3** na norma NBR 9649 (ABNT, 1986) são, respectivamente, **1,2; 1,5 e 0,5**. Sendo que:

- K1 é o coeficiente de variabilidade máxima diária do fluxo;
- K2 é o coeficiente de variabilidade máxima horária do fluxo;
- K3 é o coeficiente de variabilidade mínima horária do fluxo.

A NBR 9649 (ABNT, 1986), recomenda que a taxa de contribuição de infiltração deve permanecer no intervalo entre 0,05 a 1,00 L/s.km. Logo adotaremos o valor intermediário de **0,5 l/s.km** como base para o projeto.

Segundo a NBR 9649 (ABNT, 1986), adota-se o **coeficiente de retorno de 0,80**.

Em consulta ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS 2022, o consumo médio per capita no país é de **148,2 litros / habitante x dia**.

Segundo o item 5.9.5.1 da NBR 12208 (ABNT, 2020), para a velocidade no barrilete de sucção, deve-se adotar a velocidade entre **0,6 m/s e 1,5 m/s**. Exceção a este intervalo de velocidade pode ser aceita, desde que tecnicamente justificada.

Conforme o item 5.9.5.2 da NBR 12208 (ABNT, 2020), para velocidade no barrilete de recalque, deve-se adotar a velocidade entre **0,6 m/s e 3,0 m/s**. Exceção a este intervalo de velocidade pode ser aceita, desde que tecnicamente justificada.

De acordo com o item 5.7.2 da NBR 12208 (ABNT, 2020), o Tempo de detenção médio 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 minutos. Logo, adotaremos o Tempo de detenção de **15 minutos**.

Em observância ao item 5.1.4 da NBR 9649 (ABNT, 1986), no que diz sobre cada trecho ser verificado pela tensão trativa média de valor mínimo de 1,0 Pascal, calculada para vazão inicial (Q_i), e para coeficiente de Manning de 0,013. A declividade mínima que satisfaz essa condição pode ser determinada pela expressão aproximada:

$$I_{omín.} = 0,0055 \cdot Q_i^{-0,47} \quad Eq. (01)$$

Sendo: $I_{omín.}$ em m/m e Q_i em l/s

Já o item 5.1.5 da norma NBR 9649 (ABNT, 1986), diz que a máxima declividade admissível é aquela para a qual se tenha $v_f = 5 \text{ m/s}$.

3.2. Determinação da vazão de projeto (Q_p)

3.2.1 Cálculo da vazão média (Q_m):

Será utilizado o consumo médio de 148,2 L/hab.dia de água fornecido pelo SNIS 2022, o coeficiente de retorno de 0,80, e as populações de acordo com os cenários analisados, aplicados na equação 02 abaixo:

$$Q_m = \frac{C \cdot P \cdot q}{86400} \quad Eq. (02)$$

Onde:

- Q_m = vazão média (l/s);
- C = coeficiente de retorno = 0,80;
- P = População (habitantes) = 100 / 1.000 / 10.000;
- q = consumo per capita de água (L/hab.dia) = 148,2.

3.2.2 Cálculo da vazão máxima diária (Q_{md}):

Para vazão máxima diária será necessária a utilização do coeficiente de variabilidade máxima diária do fluxo (k_1), seguindo com a equação 03:

$$Q_{md} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k1}{86400} \quad Eq. (03)$$

Onde:

- Q_{md} = vazão máxima diária (l/s);
- $k1$ = coeficiente do dia de maior consumo = 1,2.

3.2.3. Cálculo da vazão máxima horária (Q_{mh}):

Já para a vazão máxima horária além das variáveis já utilizados ainda temos que considerar o coeficiente de variabilidade máxima horária do fluxo ($k2$), conforme equação 04:

$$Q_{mh} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k1 \cdot k2}{86400} \quad Eq. (04)$$

Onde:

- Q_{mh} = vazão máxima horária (l/s);
- $k2$ = coeficiente de consumo máximo horário = 1,5.

3.2.4. Vazão mínima horária (Q_{min}) e tempo de detenção hidráulica (T_{dh}):

Entretanto, para a vazão mínima horária utilizamos o coeficiente de variabilidade mínima horária do fluxo, de acordo com a equação 05:

$$Q_{min} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k3}{86400} \quad Eq. (05)$$

Onde:

- Q_{min} = vazão mínima horária (l/s);
- $k3$ = coeficiente de consumo mínimo horário = 0,5.

Utilizando-se a vazão mínima horária para verificar o tempo de detenção hidráulica, temos a equação 06:

$$Tdh = \frac{Q_{min}}{1000} \cdot 60 \quad Eq. (06)$$

Onde:

- Tdh = tempo de detenção hidráulica (m³/minutos).

3.2.5. Adição da contribuição de infiltração (Q_{inf}):

Seguindo a norma, será utilizado como valor intermediário **0,5 L/s.km (0,0005 L/s.m)** e empregue o comprimento total da rede de esgoto (L) de **0,5 quilômetros (500 metros)**, na sequência com a equação 07:

$$Q_{inf} = Ti \cdot L \quad Eq. (07)$$

Onde:

- Q_{inf} = vazão de infiltração (l/s);
- Ti = taxa de contribuição linear por infiltração (l/s.km) = 0,5 l/s.km ou 0,0005 l/s.m;
- L = comprimento de rede (m) = 500 metros.

3.2.6. Vazão máxima final (Q_{mf}):

A vazão máxima final será a adição da vazão máxima horária com a contribuição de infiltração, conforme a equação 08:

$$Q_{mf} = Q_{mh} + Q_{inf} \quad Eq. (08)$$

Onde:

- Q_{mf} = vazão máxima final (l/s);

Logo, o valor de Q_p será igual à Q_{mf} .

$$Q_p = Q_{mf} \quad Eq. (09)$$

3.3. Definição do Diâmetro da Tubulação

Será utilizada a fórmula da continuidade (equação 10) em associação a equação 11:

$$Qmf = A \cdot Vel \quad Eq. (10)$$

onde:

- $A = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot D^2$ (área da seção da tubulação);
- Vel = velocidade, conforme norma ($0,6\text{ m/s} \leq V \leq 1,5\text{ m/s}$ para sucção e $0,6\text{ m/s} \leq V \leq 3,0\text{ m/s}$ para recalque).

Será calculado o valor de D a partir da equação:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Qmf}{\pi \cdot Vel}} \quad Eq. (11)$$

onde:

- D = diâmetro (m; cm; mm);
- Qmf = vazão (l/s);
- Vel = velocidade, conforme norma ($0,6\text{ m/s} \leq V \leq 1,5\text{ m/s}$ para sucção e $0,6\text{ m/s} \leq V \leq 3,0\text{ m/s}$ para recalque).

3.4. Velocidade dos Barriletes de Sucção e Recalque (V_{sr})

Como vamos considerar o mesmo diâmetro tanto para sucção quanto para recalque, podemos utilizar na mesma equação 12:

$$V_{sr} = \frac{4 \cdot Qmf}{\pi \cdot D^2} \quad Eq. (12)$$

onde:

- V_{sr} = velocidades de sucção e recalque (m/s).

3.5. Dimensionamento da Altura Manométrica Total (HMT)

A HMT é a soma de:

3.5.1. Altura geométrica (H)

Distância entre a cota de sucção e recalque.

3.5.2. Perda de carga distribuída (hf)

Calculada pela equação de Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{Eq. (13)}$$

Onde:

- f : fator de atrito (determinado pela equação de Colebrook ou tabelas de Moody);
- L : comprimento da tubulação (m);
- D : diâmetro da tubulação (m);
- V : velocidade do fluxo (m/s);
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

3.5.3. Perda de carga localizada (hl):

$$h_l = k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{Eq. (14)}$$

Onde:

- k : coeficiente de perda localizada (depende de curvas, válvulas, etc.).
- V : velocidade do fluxo (m/s);
- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

$$HMT = H + h_f + h_l \quad \text{Eq. (15)}$$

Para modelagem deste trabalho serão utilizados os valores de Altura Manométrica Total (HMT) definidos para **20 metros** e **100 metros**, conforme parametrizados anteriormente.

3.6. Cálculo da Potência da Bomba (P):

O cálculo da potência da bomba é um parâmetro importante para definirmos qual será a escolha correta de bombas para a elevatória, utilizando a densidade da água/esgoto, a vazão de projeto, e as alturas manométricas totais e a eficiência da bomba, de acordo com a equação 16:

$$P = \frac{\gamma \cdot Qp \cdot HMT}{75 \cdot \eta} \quad Eq. (16)$$

onde:

- P = Potência (CV);
- $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$: densidade da água/esgoto;
- Qp = vazão (m^3/s);
- HMT = altura manométrica total (m);
- η = eficiência da bomba.

3.7. Seleção do Conjunto Motor-Bomba

Com base nas vazões de projeto (Qp) e alturas manométricas totais (HMT), serão encontradas os valores das potências (P) para atenderem as condições adequadas para o bombeamento de esgoto.

3.8. Dimensionamento do poço de sucção:

3.8.1. Volume do poço de sucção (Vol):

Com o cálculo do volume do poço de sucção podemos verificar a questão do espaço a que teremos que nos disponibilizarmos para o referido reservatório, a seguir a equação 17:

$$Vol = \frac{Qmf \cdot T}{4} \quad Eq. (17)$$

onde:

- Vol = volume do poço de sucção (m^3);
- Qmf = vazão (m^3/s);
- T = tempo em segundos (s).

3.8.2. Área do poço de sucção:

Conforme variamos a altura do poço de sucção podemos encontrar o dimensionamento de sua área, através da equação 18:

$$A = \frac{Vol}{h} \quad Eq. (18)$$

onde:

- A = área (m^2);
- Vol = volume (m^3);
- h = altura (m).

Deve-se adotar como altura $1,5m \leq h \leq 5,0m$. Logo, podemos adotar uma altura de **2,0 metros** para exemplificação dos modelos.

3.8.2.1. Poço de sucção de seção quadrada:

Para achar o comprimento dos lados, seguimos com a equação 19 abaixo:

$$Lados = \sqrt{A} \quad Eq. (19)$$

onde:

- A = área (m^2);

3.8.2.2. Poço de sucção de seção circular:

Para acharmos o comprimento do raio do poço, seguimos com a equação 20 a seguir:

$$Raio = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad Eq. (20)$$

onde:

- A = área (m²);

3.8.2.3. Tempo de detenção hidráulica máxima ($T_{dh\ máx}$):

Para alcançarmos o tempo de detenção hidráulica máxima utilizamos o volume obtido pela razão da vazão mínima horária, por meio da equação 21:

$$T_{dh\ máx} = \frac{Vol}{Q_{min}} \quad Eq. (21)$$

onde:

- $T_{dh\ máx}$ = tempo de detenção hidráulica máxima (minutos);
- Vol = volume (m³);
- Q_{min} = vazão mínima horária (m³/min).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Cenário 01:

- Vazão para atender população de 100 habitantes;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 20 m;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 100 m.

4.1.1. Cálculo da vazão média (Q_m):

Para cálculo da vazão média utilizamos: o coeficiente de retorno (0,80), a população (100 habitantes) e o consumo médio de água (148,20 Litros/ habitantes x dia) na equação 02, conforme demonstrado na tabela 01 abaixo:

Tabela 01: Cálculo da vazão média (Q_m).

Calculo da vazão média (Q_m)		
$Q_m = \frac{C \cdot P \cdot q}{86400}$		
C	0,80	-
P	100,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
Dia p/ segundos	86400	L/s
Q_m	0,137222222	L/s
Q_m	0,000137222	m ³ /s

Fonte: Autor (2025).

4.1.2. Declividade mínima ($I_{omín}$):

Com a vazão média encontrada aplicamos a equação 01 para encontrarmos a declividade mínima, conforme a seguir na tabela 02:

Tabela 02: Declividade mínima (Iomín).

Declividade mínima (Iomín)		
$I_{omín.} = 0,0055 \cdot Q_i^{-0,47}$		
Qi = Qm	0,137222222	L/s
Iomín.	0,013988566	m/m

Fonte: Autor (2025).

4.1.3. Cálculo da vazão máxima diária (Qmd):

Seguindo para o cálculo da vazão máxima diária da qual acrescentamos o coeficiente k1 (1,20) na vazão média calculada anteriormente, na equação 03, de acordo com a tabela 03:

Tabela 03: Cálculo da vazão máxima diária (Qmd).

Calculo da vazão máxima diária (Qmd)		
$Q_{md} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k1}{86400}$		
C	0,80	-
P	100,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
k1	1,20	-
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qmd	0,164666667	L/s
Qmd	0,000164667	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.1.4. Cálculo da vazão máxima horária (Qmh):

Já para a vazão máxima adicionamos também o coeficiente k2 (1,50), por meio da equação 04, obtendo a tabela 04:

Tabela 04: Cálculo da vazão máxima horária (Qmh).

Calculo da vazão máxima horária (Qmh)		
$Q_{mh} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k1 \cdot k2}{86400}$		
C	0,80	-
P	100,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
k1	1,20	-
k2	1,50	-
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qmh	0,247	L/s
Qmh	0,000247	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.1.5. Cálculo da vazão mínima horária (Qmin):

Para o cálculo da vazão mínima aplicamos o coeficiente k3 (0,5) na equação 05 junto a vazão média encontrada inicialmente, conforme apresentado na tabela 05 a seguir:

Tabela 05: Cálculo da vazão mínima horária (Qmin).

Calculo da vazão mínima horária (Qmin)		
$Q_{min} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k3}{86400}$		
C	0,80	-
P	100,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
k3	0,50	-
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qmin	0,068611	L/s
Qmin	0,000069	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.1.6. Tempo de detenção hidráulica (Tdh):

Para encontrarmos o tempo de detenção hidráulica utilizamos a vazão mínima horária na equação 06, juntamente com as conversões necessárias, conforme apresentados na tabela 06:

Tabela 06: Tempo de detenção hidráulica (Tdh).

Tempo de detenção hidráulica (Tdh)		
$Tdh = \frac{Q_{min}}{1000} \cdot 60$		
Qmin	0,000069	m³/s
Tdh	0,004117	m³/minutos

Fonte: Autor (2025).

4.1.7. Contribuição de infiltração (Qinf):

Considerando a taxa de infiltração de 0,0005 l/s.m para uma rede com extensão de 500 metros, a partir da equação 07, temos os resultados na tabela 07 abaixo:

Tabela 07: Contribuição de infiltração (Qinf).

Contribuição de infiltração (Qinf)		
$Qinf = Ti \cdot L$		
Ti	0,0005	l/s.m
L	500,00	metros
Qinf	0,25	L/s
Qinf	0,00025	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.1.8. Vazão máxima final (Q_{mf}):

Somando os valores obtidos anteriormente de vazão máxima horária e contribuição de infiltração, na equação 08, temos como resultado a vazão máxima final, de acordo com a tabela 08:

Tabela 08: Vazão máxima final (Q_{mf}).

Vazão máxima final (Q_{mf})		
$Q_{mf} = Q_{mh} + Q_{inf}$		
Q_{mh}	0,247	L/s
Q_{inf}	0,25	L/s
Q_{mf}	0,497	L/s
Q_{mf}	0,000497	m ³ /s

Fonte: Autor (2025).

4.1.9. Vazão de projeto (Q_p):

A vazão de projeto pode ser considerada pelo valor obtido através da vazão máxima final (equação 09), explicitado na tabela 09 abaixo:

Tabela 09: Vazão de projeto (Q_p).

Vazão de projeto (Q_p)		
$Q_p = Q_{mf}$		
Q_p	0,497	L/s
Q_p	0,000497	m ³ /s

Fonte: Autor (2025).

4.1.10. Diâmetro da tubulação (D):

O valor do diâmetro da tubulação é obtido por meio da manipulação das equações 10 e 11, se o diâmetro calculado for menor ao orientado pela norma,

deve-se considerar o diâmetro mínimo da mesma (DN 100), conforme apresentado na tabela 10:

Tabela 10: Diâmetro da tubulação (D).

Diâmetro da Tubulação (D)		
$Q_{mf} = A \cdot Vel \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{mf}}{\pi \cdot Vel}}$		
Q_{mf}	0,497	L/s
Q_{mf}	0,000497	m ³ /s
Vel	1,50	m/s
π	3,14	-
D calculado	0,020539	metros
D calculado	20,539394	milímetros
D adotado	100	milímetros
D adotado	0,100	metros

Fonte: Autor (2025).

4.1.11. Velocidade dos barriletes de sucção e recalque:

Para efeito de modelagem foram considerados o mesmo diâmetro para sucção e recalque, conforme apresentado na tabela 11, assim foram calculadas as velocidades pela equação 12, conforme a seguir:

Tabela 11: Velocidade dos barriletes de sucção e recalque.

Velocidade dos Barriletes de Sucção e Recalque		
$V_{sr} = \frac{4 \cdot Q_{mf}}{\pi \cdot D^2}$		
Q_{mf}	0,497	L/s
Q_{mf}	0,000497	m ³ /s
π	3,14	-
D adotado	0,100	metros
V_{sr}	0,063280	m/s

Fonte: Autor (2025).

Observação: A norma NBR 12208 (ABNT, 2020), diz que para a velocidade no barrilete de sucção, deve-se adotar a velocidade entre 0,6 m/s e 1,5 m/s. E para velocidade no barrilete de recalque, deve-se adotar a velocidade entre 0,6 m/s e 3,0 m/s. Exceção a este intervalo de velocidade pode ser aceita, desde que tecnicamente justificada. Para efeito de cálculos nossa velocidade dos barriletes ficaram abaixo do recomendado, com o resultado de 0,063280 m/s, assim deveríamos recalcular utilizando um diâmetro menor na tubulação, porém vamos considerar o diâmetro mínimo de 100 mm (DN 100) exigido também pela mesma norma.

4.1.12. Altura manométrica total (HMT):

Inicialmente definimos as alturas manométricas de 20,00 e 100,00 metros para termos um intervalo considerável de desnível para modelagem, seguindo a tabela 12:

Tabela 12: Altura manométrica total (HMT).

Altura Manométrica Total (HMT)		
<i>Conforme parametrizados anteriormente as Alturas Manométricas Totais (HMT) definidas são:</i>		
HMT	<i>20,00</i>	<i>metros</i>
HMT	<i>100,00</i>	<i>metros</i>

Fonte: Autor (2025).

4.1.13. Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica total (HMT) de 20 metros:

De posse dos dados de: densidade da água / esgoto (γ), altura manométrica total de 20 metros, e com eficiência da bomba (η) parametrizada de 75%, podemos calcular a potência de bomba que devemos utilizar seguindo a equação 16, com retorno dos resultados na tabela 13:

Tabela 13: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 20 metros.

Cálculo da Potência da Bomba (P)		
$P = \frac{\gamma \cdot Q_p \cdot HMT}{75 \cdot \eta}$		
γ	1000,00	kg/m ³
Q_p	0,000497	m ³ /s
HMT	20,00	metros
η	0,75	-
P calculada	0,18	CV
P adotada	1,00	CV

Fonte: Autor (2025).

4.1.14. Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica total (HMT) de 100 metros:

Seguindo o mesmo raciocínio do item 4.1.13., mas agora com a altura manométrica total de 100 metros, aplicada a equação 16, obtemos os dados na tabela 14:

Tabela 14: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 100 metros.

Cálculo da Potência da Bomba (P)		
$P = \frac{\gamma \cdot Q_p \cdot HMT}{75 \cdot \eta}$		
γ	1000,00	kg/m ³
Q_p	0,000497	m ³ /s
HMT	100,00	metros
η	0,75	-
P calculada	0,88	CV
P adotada	1,00	CV

Fonte: Autor (2025).

4.1.15. Volume do poço de sucção (Vol):

Para calcularmos o volume do poço de sucção com a equação 17, utilizamos a vazão máxima final e o tempo de detenção definido de 15 minutos, após fazermos as conversões para segundos, e obtermos o volume, apresentados na tabela 15:

Tabela 15: Volume do poço de sucção (Vol).

Volume do poço de sucção (Vol)		
$Vol = \frac{Qmf \cdot T}{4}$		
Qmf	0,000497	m ³ /s
T	15,00	minutos
T	900,00	segundos
Vol	0,111825	m ³

Fonte: Autor (2025).

4.1.16. Área do poço de sucção (A):

Para sabermos a área do poço de sucção podemos utilizar a fórmula básica da equação 18, como definimos anteriormente a altura do poço em 2 metros, tendo como resultado o exposto na tabela 16 a seguir:

Tabela 16: Área do poço de sucção (A).

Área do poço de sucção (A)		
$A = \frac{Vol}{h}$		
Vol	0,111825	m ³
h	2,00	metros
A	0,055913	m ²

Fonte: Autor (2025).

4.1.17. Poço de sucção de seção quadrada:

Para identificarmos as medidas de lados do poço, aplicamos a raiz quadrada da área obtida no item 4.1.16. (equação 19), assim temos a tabela 17:

Tabela 17: Poço de sucção de seção quadrada.

Poço de sucção de seção quadrada		
$Lados = \sqrt{A}$		
A	0,055913	m ²
Lados	0,236458	metros

Fonte: Autor (2025).

4.1.18. Poço de sucção de seção circular:

Caso o dimensionamento seja para poço de seção circular, aplicamos a equação 20, juntamente com os dados obtidos em 4.1.16., tendo como resultado a tabela 18 abaixo:

Tabela 18: Poço de sucção de seção circular.

Poço de sucção de seção circular		
$Raio = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$		
A	0,055913	m^3
π	3,14	-
Raio	0,133407	metros

Fonte: Autor (2025).

4.1.19. Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx):

O tempo de detenção hidráulica máxima para esses parâmetros será calculado com a equação 21, conforme tabela 19:

Tabela 19: Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx).

Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx)		
$Tdh\ máx = \frac{Vol}{Q_{min}}$		
Vol	0,111825	m^3
Q_{min}	0,004117	$m^3/minutos$
Tdh máx	28	minutos

Fonte: Autor (2025).

Observação: De acordo com o item 5.7.2 da NBR 12208 (ABNT, 2020), o maior valor recomendado é de 30 minutos. Como obtivemos o resultado de 28 minutos está conforme.

Para os cenários 02 e 03 repetiu-se todos os critérios, cálculos, e conversões do cenário 01, com exceção da população que para o cenário 02 consideramos como 1.000 habitantes e para o cenário 03 como 10.000.

4.2. Cenário 02

- Vazão para atender população de 1.000 habitantes;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 20 m;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 100 m.

4.2.1. Cálculo da vazão média (Qm):

Aplicando a equação 02, temos os resultados apresentados na tabela 20:

Tabela 20: Cálculo da vazão média (Qm).

Calculo da vazão média (Qm)		
$Qm = \frac{C \cdot P \cdot q}{86400}$		
C	0,80	-
P	1000,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qm	1,372222222	L/s
Qm	0,001372222	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.2.2. Declividade mínima (Iomín):

Aplicando a equação 01, temos os resultados apresentados na tabela 21:

Tabela 21: Declividade mínima (Iomín).

Declividade mínima (Iomín)		
$I_{omín.} = 0,0055 \cdot Qi^{-0,47}$		
Qi = Qm	1,372222222	L/s
Iomín.	0,004739944	m/m

Fonte: Autor (2025).

4.2.3. Cálculo da vazão máxima diária (Qmd):

Aplicando a equação 03, temos os resultados apresentados na tabela 22:

Tabela 22: Cálculo da vazão máxima diária (Qmd).

Calculo da vazão máxima diária (Qmd)		
$Qmd = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k1}{86400}$		
C	0,80	-
P	1000,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
k1	1,20	-
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qmd	1,646666667	L/s
Qmd	0,001646667	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.2.4. Cálculo da vazão máxima horária (Qmh):

Aplicando a equação 04, temos os resultados apresentados na tabela 23:

Tabela 23: Cálculo da vazão máxima horária (Qmh).

Calculo da vazão máxima horária (Qmh)		
$Q_{mh} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k1 \cdot k2}{86400}$		
C	0,80	-
P	1000,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
k1	1,20	-
k2	1,50	-
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qmh	2,47	L/s
Qmh	0,00247	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.2.5. Cálculo da vazão mínima horária (Qmin):

Aplicando a equação 05, temos os resultados apresentados na tabela 24:

Tabela 24: Cálculo da vazão mínima horária (Qmin).

Calculo da vazão mínima horária (Qmin)		
$Q_{min} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k3}{86400}$		
C	0,80	-
P	1000,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
k3	0,50	-
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qmin	0,686111	L/s
Qmin	0,000686	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.2.6. Tempo de detenção hidráulica (Tdh):

Aplicando a equação 06, temos os resultados apresentados na tabela 25:

Tabela 25: Tempo de detenção hidráulica (Tdh).

Tempo de detenção hidráulica (Tdh)		
$Tdh = \frac{Q_{min}}{1000} \cdot 60$		
Qmin	0,000686	m³/s
Tdh	0,041167	m³/minutos

Fonte: Autor (2025).

4.2.7. Contribuição de infiltração (Qinf):

Aplicando a equação 07, temos os resultados apresentados na tabela 26:

Tabela 26: Contribuição de infiltração (Qinf).

Contribuição de infiltração (Qinf)		
$Qinf = Ti \cdot L$		
Ti	0,0005	l/s.m
L	500,00	metros
Qinf	0,25	L/s
Qinf	0,00025	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.2.8. Vazão máxima final (Qmf):

Aplicando a equação 08, temos os resultados apresentados na tabela 27:

Tabela 27: Vazão máxima final (Qmf).

Vazão máxima final (Qmf)		
$Qmf = Qmh + Qinf$		
Qmh	2,47	L/s
Qinf	0,25	L/s
Qmf	2,72	L/s
Qmf	0,00272	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.2.9. Vazão de projeto (Qp):

Aplicando a equação 09, temos os resultados apresentados na tabela 28:

Tabela 28: Vazão de projeto (Qp).

Vazão de projeto (Qp)		
$Qp = Qmf$		
Qp	2,72	L/s
Qp	0,00272	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.2.10. Diâmetro da tubulação (D):

Aplicando as equação 10 e 11, temos os resultados apresentados na tabela 29:

Tabela 29: Diâmetro da tubulação (D).

Diâmetro da Tubulação (D)		
$Qmf = A \cdot Vel$ $D = \sqrt{\frac{4 \cdot Qmf}{\pi \cdot Vel}}$		
Qmf	2,72	L/s
Qmf	0,00272	m³/s
Vel	1,50	m/s
π	3,14	-
D calculado	0,048050	metros
D calculado	48,050054	milímetros
D adotado	100	milímetros
D adotado	0,100	metros

Fonte: Autor (2025).

4.2.11. Velocidade dos barriletes de sucção e recalque:

Aplicando a equação 12, temos os resultados apresentados na tabela 30:

Tabela 30: Velocidade dos barriletes de sucção e recalque.

Velocidade dos Barriletes de Sucção e Recalque		
$V_{sr} = \frac{4 \cdot Q_{mf}}{\pi \cdot D^2}$		
<i>Q_{mf}</i>	<i>2,72</i>	<i>L/s</i>
<i>Q_{mf}</i>	<i>0,00272</i>	<i>m³/s</i>
<i>π</i>	<i>3,14</i>	<i>-</i>
<i>D adotado</i>	<i>0,100</i>	<i>metros</i>
<i>V_{sr}</i>	<i>0,346321</i>	<i>m/s</i>

Fonte: Autor (2025).

Observação: A norma NBR 12208 (ABNT, 2020), diz que para a velocidade no barrilete de sucção, deve-se adotar a velocidade entre 0,6 m/s e 1,5 m/s. E para velocidade no barrilete de recalque, deve-se adotar a velocidade entre 0,6 m/s e 3,0 m/s. Exceção a este intervalo de velocidade pode ser aceita, desde que tecnicamente justificada. Para efeito de cálculos nossa velocidade dos barriletes ficaram abaixo do recomendado, com o resultado de 0,346321 m/s, assim deveríamos recalcular utilizando um diâmetro menor na tubulação, porém vamos considerar o diâmetro mínimo de 100 mm (DN 100) exigido também pela mesma norma.

4.2.12. Altura manométrica total (HMT):

Inicialmente definimos as alturas manométricas de 20,00 e 100,00 metros para termos um intervalo considerável de desnível para modelagem, seguindo a tabela 31:

Tabela 31: Altura manométrica total (HMT).

Altura Manométrica Total (HMT)		
<i>Conforme parametrizados anteriormente as Alturas Manométricas Totais (HMT) definidas são:</i>		
<i>HMT</i>	<i>20,00</i>	<i>metros</i>
<i>HMT</i>	<i>100,00</i>	<i>metros</i>

Fonte: Autor (2025).

4.2.13. Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica total (HMT) de 20 metros.

Aplicando a equação 16, temos os resultados apresentados na tabela 32:

Tabela 32: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 20 metros.

Cálculo da Potência da Bomba (P)		
$P = \frac{\gamma \cdot Q_p \cdot HMT}{75 \cdot \eta}$		
γ	1000,00	kg/m ³
Q_p	0,002720	m ³ /s
HMT	20,00	metros
η	0,75	-
P calculada	0,97	CV
P adotada	1,00	CV

Fonte: Autor (2025).

4.2.14. Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica total (HMT) de 100 metros.

Aplicando a equação 16, temos os resultados apresentados na tabela 33:

Tabela 33: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 100 metros.

Cálculo da Potência da Bomba (P)		
$P = \frac{\gamma \cdot Q_p \cdot HMT}{75 \cdot \eta}$		
γ	1000,00	kg/m ³
Q_p	0,002720	m ³ /s
HMT	100,00	metros
η	0,75	-
P calculada	4,84	CV
P adotada	5,00	CV

Fonte: Autor (2025).

4.2.15. Volume do poço de sucção (Vol):

Aplicando a equação 17, temos os resultados apresentados na tabela 34:

Tabela 34: Volume do poço de sucção (Vol).

Volume do poço de sucção (Vol)		
$Vol = \frac{Qmf \cdot T}{4}$		
Qmf	0,002720	m³/s
T	15,00	minutos
T	900,00	segundos
Vol	0,612000	m³

Fonte: Autor (2025).

4.2.16. Área do poço de sucção (A):

Aplicando a equação 18, temos os resultados apresentados na tabela 35:

Tabela 35: Área do poço de sucção (A).

Área do poço de sucção (A)		
$A = \frac{Vol}{h}$		
Vol	0,612000	m³
h	2,00	metros
A	0,306000	m²

Fonte: Autor (2025).

4.2.17. Poço de sucção de seção quadrada:

Aplicando a equação 19, temos os resultados apresentados na tabela 36:

Tabela 36: Poço de sucção de seção quadrada.

Poço de sucção de seção quadrada		
$Lados = \sqrt{A}$		
A	0,306000	m²
Lados	0,553173	metros

Fonte: Autor (2025).

4.2.18. Poço de sucção de seção circular:

Aplicando a equação 20, temos os resultados apresentados na tabela 37:

Tabela 37: Poço de sucção de seção circular.

Poço de sucção de seção circular		
$Raio = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$		
A	0,306000	m^3
π	3,14	-
Raio	0,312094	metros

Fonte: Autor (2025).

4.2.19. Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx):

Aplicando a equação 21, temos os resultados apresentados na tabela 38:

Tabela 38: Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx).

Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx)		
$Tdh\ máx = \frac{Vol}{Q_{min}}$		
Vol	0,612000	m^3
Q_{min}	0,041167	$m^3/minutos$
Tdh máx	15	minutos

Fonte: Autor (2025).

4.3. Cenário 03:

- Vazão para atender população de 10.000 habitantes;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 20 m;
 - Com altura manométrica total (HMT) de 100 m.

4.3.1. Cálculo da vazão média (Qm):

Aplicando a equação 02, temos os resultados apresentados na tabela 39:

Tabela 39: Cálculo da vazão média (Qm).

Calculo da vazão média (Qm)		
$Qm = \frac{C \cdot P \cdot q}{86400}$		
C	0,80	-
P	10000,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qm	13,72222222	L/s
Qm	0,013722222	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.3.2. Declividade mínima (Iomín):

Aplicando a equação 01, temos os resultados apresentados na tabela 40:

Tabela 40: Declividade mínima (Iomín).

Declividade mínima (Iomín)		
$Iomín. = 0,0055 \cdot Qi^{-0,47}$		
Qi = Qm	13,72222222	L/s
Iomín.	0,001606102	m/m

Fonte: Autor (2025).

4.3.3. Cálculo da vazão máxima diária (Qmd):

Aplicando a equação 03, temos os resultados apresentados na tabela 41:

Tabela 41: Cálculo da vazão máxima diária (Qmd).

Calculo da vazão máxima diária (Qmd)		
$Q_{md} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k1}{86400}$		
C	0,80	-
P	10000,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
k1	1,20	-
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qmd	16,46666667	L/s
Qmd	0,016466667	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.3.4. Cálculo da vazão máxima horária (Qmh):

Aplicando a equação 04, temos os resultados apresentados na tabela 42:

Tabela 42: Cálculo da vazão máxima horária (Qmh).

Calculo da vazão máxima horária (Qmh)		
$Q_{mh} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k1 \cdot k2}{86400}$		
C	0,80	-
P	10000,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
k1	1,20	-
k2	1,50	-
Dia p/ segundos	86400	L/s
Qmh	24,7	L/s
Qmh	0,0247	m³/s

Fonte: Autor (2025).

4.3.5. Cálculo da vazão mínima horária (Q_{min}):

Aplicando a equação 05, temos os resultados apresentados na tabela 43:

Tabela 43: Cálculo da vazão mínima horária (Q_{min}).

Calculo da vazão mínima horária (Q_{min})		
$Q_{min} = \frac{C \cdot P \cdot q \cdot k3}{86400}$		
C	0,80	-
P	10000,00	hab.
q	148,20	L/hab. x dia
k3	0,50	-
Dia p/ segundos	86400	L/s
Q_{min}	6,861111	L/s
Q_{min}	0,006861	m ³ /s

Fonte: Autor (2025).

4.3.6. Tempo de detenção hidráulica (T_{dh}):

Aplicando a equação 06, temos os resultados apresentados na tabela 44:

Tabela 44: Tempo de detenção hidráulica (T_{dh}).

Tempo de detenção hidráulica (T_{dh})		
$T_{dh} = \frac{Q_{min}}{1000} \cdot 60$		
Q_{min}	0,006861	m ³ /s
T_{dh}	0,411667	m ³ /minutos

Fonte: Autor (2025).

4.3.7. Contribuição de infiltração (Q_{inf}):

Aplicando a equação 07, temos os resultados apresentados na tabela 45:

Tabela 45: Contribuição de infiltração (Q_{inf}).

Contribuição de infiltração (Q_{inf})		
$Q_{inf} = T_i \cdot L$		
T_i	0,0005	l/s.m
L	500,00	metros
Q_{inf}	0,25	L/s
Q_{inf}	0,00025	m ³ /s

Fonte: Autor (2025).

4.3.8. Vazão máxima final (Q_{mf}):

Aplicando a equação 08, temos os resultados apresentados na tabela 46:

Tabela 46: Vazão máxima final (Q_{mf}).

Vazão máxima final (Q_{mf})		
$Q_{mf} = Q_{mh} + Q_{inf}$		
Q_{mh}	24,7	L/s
Q_{inf}	0,25	L/s
Q_{mf}	24,95	L/s
Q_{mf}	0,02495	m ³ /s

Fonte: Autor (2025).

4.3.9. Vazão de projeto (Q_p):

Aplicando a equação 09, temos os resultados apresentados na tabela 47:

Tabela 47: Vazão de projeto (Q_p).

Vazão de projeto (Q_p)		
$Q_p = Q_{mf}$		
Q_p	24,95	L/s
Q_p	0,02495	m ³ /s

Fonte: Autor (2025).

4.3.10. Diâmetro da tubulação (D):

Aplicando as equações 10 e 11, temos os resultados apresentados na tabela 48:

Tabela 48: Diâmetro de tubulação (D).

Diâmetro da Tubulação (D)		
$Q_{mf} = A \cdot Vel$ $D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{mf}}{\pi \cdot Vel}}$		
Q_{mf}	24,95	L/s
Q_{mf}	0,02495	m ³ /s
Vel	1,50	m/s
π	3,14	-
D calculado	0,145527	metros
D calculado	145,527378	milímetros
D adotado	150	milímetros
D adotado	0,150	metros

Fonte: Autor (2025).

4.3.11. Velocidade dos barriletes de sucção e recalque:

Aplicando a equação 12, temos os resultados apresentados na tabela 49:

Tabela 49: Velocidade dos barriletes de sucção e recalque.

Velocidade dos Barriletes de Sucção e Recalque		
$V_{sr} = \frac{4 \cdot Q_{mf}}{\pi \cdot D^2}$		
<i>Q_{mf}</i>	<i>24,95</i>	<i>L/s</i>
<i>Q_{mf}</i>	<i>0,02495</i>	<i>m³/s</i>
<i>π</i>	<i>3,14</i>	<i>-</i>
<i>D adotado</i>	<i>0,150</i>	<i>metros</i>
<i>V_{sr}</i>	<i>1,411881</i>	<i>m/s</i>

Fonte: Autor (2025).

Observação: A norma NBR 12208 (ABNT, 2020), diz que para a velocidade no barrilete de sucção, deve-se adotar a velocidade entre 0,6 m/s e 1,5 m/s. E para velocidade no barrilete de recalque, deve-se adotar a velocidade entre 0,6 m/s e 3,0 m/s. Exceção a este intervalo de velocidade pode ser aceita, desde que tecnicamente justificada. Para efeito de cálculos, nossa velocidade dos barriletes ficou conforme recomendado, com o resultado de 1,411881 m/s.

4.3.12. Altura manométrica total (HMT):

Inicialmente definimos as alturas manométricas de 20,00 e 100,00 metros para termos um intervalo considerável de desnível para modelagem, seguindo a tabela 50:

Tabela 50: Altura manométrica total (HMT).

Altura Manométrica Total (HMT)		
<i>Conforme parametrizados anteriormente as Alturas Manométricas Totais (HMT) definidas são:</i>		
<i>HMT</i>	<i>20,00</i>	<i>metros</i>
<i>HMT</i>	<i>100,00</i>	<i>metros</i>

Fonte: Autor (2025).

4.3.13. Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica total (HMT) de 20 metros.

Aplicando a equação 16, temos os resultados apresentados na tabela 51:

Tabela 51: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 20 metros.

Cálculo da Potência da Bomba (P)		
$P = \frac{\gamma \cdot Q_p \cdot HMT}{75 \cdot \eta}$		
γ	1000,00	kg/m ³
Q_p	0,024950	m ³ /s
HMT	20,00	metros
η	0,75	-
P calculada	8,87	CV
P adotada	9,00	CV

Fonte: Autor (2025).

4.3.14. Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica total (HMT) de 100 metros.

Aplicando a equação 16, temos os resultados apresentados na tabela 52:

Tabela 52: Cálculo da potência da bomba (P) para altura manométrica (HMT) de 100 metros.

Cálculo da Potência da Bomba (P)		
$P = \frac{\gamma \cdot Q_p \cdot HMT}{75 \cdot \eta}$		
γ	1000,00	kg/m ³
Q_p	0,024950	m ³ /s
HMT	100,00	metros
η	0,75	-
P calculada	44,36	CV
P adotada	45,00	CV

Fonte: Autor (2025).

4.3.15. Volume do poço de sucção (Vol):

Aplicando a equação 17, temos os resultados apresentados na tabela 53:

Tabela 53: Volume do poço de sucção (Vol).

Volume do poço de sucção (Vol)		
$Vol = \frac{Qmf \cdot T}{4}$		
Qmf	0,024950	m³/s
T	15,00	minutos
T	900,00	segundos
Vol	5,613750	m³

Fonte: Autor (2025).

4.3.16. Área do poço de sucção (A):

Aplicando a equação 18, temos os resultados apresentados na tabela 54:

Tabela 54: Área do poço de sucção (A).

Área do poço de sucção (A)		
$A = \frac{Vol}{h}$		
Vol	5,613750	m³
h	2,00	metros
A	2,806875	m²

Fonte: Autor (2025).

4.3.17. Poço de sucção de seção quadrada:

Aplicando a equação 19, temos os resultados apresentados na tabela 55:

Tabela 55: Poço de sucção de seção quadrada.

Poço de sucção de seção quadrada		
$Lados = \sqrt{A}$		
A	2,806875	m²
Lados	1,675373	metros

Fonte: Autor (2025).

4.3.18. Poço de sucção de seção circular:

Aplicando a equação 20, temos os resultados apresentados na tabela 56:

Tabela 56: Poço de sucção de seção circular.

Poço de sucção de seção circular		
$Raio = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$		
A	2,806875	m^3
π	3,14	-
Raio	0,945228	metros

Fonte: Autor (2025).

4.3.19. Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx):

Aplicando a equação 21, temos os resultados apresentados na tabela 57:

Tabela 57: Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx).

Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx)		
$Tdh\ máx = \frac{Vol}{Q_{min}}$		
Vol	5,613750	m^3
Q_{min}	0,411667	$m^3/minutos$
Tdh máx	14	minutos

Fonte: Autor (2025).

4.4. Síntese descritiva:

Foram agrupados os dados obtidos através dos 03 (três) cenários calculados anteriormente em uma única tabela para melhor visualização dos resultados, conforme tabela 58 abaixo:

Tabela 58: Tabela de resumo.

Tabela de resumo						
Crítérios	Cenário 01		Cenário 02		Cenário 03	
Calculo da vazão média (Qm)	0,137222222	L/s	1,372222222	L/s	13,72222222	L/s
	0,000137222	m³/s	0,001372222	m³/s	0,013722222	m³/s
Declividade mínima (Iomín)	0,013988566	m/m	0,004739944	m/m	0,001606102	m/m
Calculo da vazão máxima diária (Qmd)	0,164666667	L/s	1,646666667	L/s	16,46666667	L/s
	0,000164667	m³/s	0,001646667	m³/s	0,016466667	m³/s
Calculo da vazão máxima horária (Qmh)	0,247	L/s	2,47	L/s	24,7	L/s
	0,000247	m³/s	0,00247	m³/s	0,0247	m³/s
Calculo da vazão mínima horária (Qmin)	0,068611	L/s	0,686111	L/s	6,861111	L/s
	0,000069	m³/s	0,000686	m³/s	0,006861	m³/s
Tempo de detenção hidráulica (Tdh)	0,004117	m³/minutos	0,041167	m³/minutos	0,411667	m³/minutos
Contribuição de infiltração (Qinf)	0,25	L/s	0,25	L/s	0,25	L/s
	0,00025	m³/s	0,00025	m³/s	0,00025	m³/s
Vazão máxima final (Qmf)	0,497	L/s	2,72	L/s	24,95	L/s
	0,000497	m³/s	0,00272	m³/s	0,02495	m³/s
Vazão de projeto (Qp)	0,497	L/s	2,72	L/s	24,95	L/s
	0,000497	m³/s	0,00272	m³/s	0,02495	m³/s
Diâmetro da Tubulação (D)	0,100	metros	0,100	metros	0,150	metros
Velocidade dos Barriletes de Sucção e Recalque	0,063280	m/s	0,346321	m/s	1,411881	m/s
Altura Manométrica Total (HMT)	20,00	metros	20,00	metros	20,00	metros
	100,00	metros	100,00	metros	100,00	metros
Cálculo da Potência da Bomba (P) para HMT de 20 metros	1,00	CV	1,00	CV	9,00	CV
Cálculo da Potência da Bomba (P) para HMT de 100 metros	1,00	CV	5,00	CV	45,00	CV
Volume do poço de sucção (Vol)	0,111825	m³	0,612000	m³	5,613750	m³
Área do poço de sucção (A)	0,055913	m²	0,306000	m²	2,806875	m²
Poço de sucção de seção quadrada (Lados)	0,236458	metros	0,553173	metros	1,675373	metros
Poço de sucção de seção circular (Raio)	0,133407	metros	0,312094	metros	0,945228	metros
Tempo de detenção hidráulica máxima (Tdh máx)	28	minutos	15	minutos	14	minutos

Fonte: Autor (2025).

Considerando a tabela 59 abaixo, podemos dimensionar o conjunto motor-bomba segundo a norma NBR 12208 (ABNT, 2020).

Tabela 59: Vazão, quantidade e tipo de conjunto moto-bomba.

Vazão L/s	Quantidade mínima de conjunto(s) motor-bomba	Tipo de conjunto motor-bomba
Até 0,02	1	Centrífugas (submersíveis, horizontal com rotor aberto), conjunto com deslocamento positivo, outras tecnologias disponíveis no mercado
Acima de 0,02 até 7	1 + 1 reserva	
Acima de 7 até 20	1 ou mais com +1 reserva	

Fonte: NBR 12208 (ABNT, 2020).

- **Cenário 01:**

- População de 100 habitantes com altura manométrica total de 20 metros:

- Implantar 02 bombas (uma principal + uma reserva) com no mínimo de 1 CV cada.
- População de 100 habitantes com altura manométrica total de 100 metros:
 - Implantar 02 bombas (uma principal + uma reserva) com no mínimo de 1 CV cada
- **Cenário 02:**
 - População de 1.000 habitantes com altura manométrica total de 20 metros:
 - Implantar 02 bombas (uma principal + uma reserva) com no mínimo de 1 CV cada.
 - População de 1.000 habitantes com altura manométrica total de 100 metros:
 - Implantar 02 bombas (uma principal + uma reserva) com no mínimo de 5 CV cada.
- **Cenário 03:**
 - População de 10.000 habitantes com altura manométrica total de 20 metros:
 - Implantar 03 bombas (duas principais + uma reserva) com no mínimo de 9 CV para o conjunto a cada duas.
 - População de 10.000 habitantes com altura manométrica total de 100 metros:
 - Implantar 03 bombas (duas principais + uma reserva) com no mínimo de 45 CV para o conjunto a cada duas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho destinou-se à análise comparativa de estações elevatórias de esgoto ante diferentes perspectivas de demanda populacional e alturas manométricas, com o objetivo de desenvolver um exemplo de cálculo para pré-dimensionamento aplicável a diversos cenários.

A metodologia proposta retratou três cenários distintos, representando populações de 100, 1.000 e 10.000 habitantes, buscando compreender desde pequenas comunidades até centros urbanos de portes consideráveis. A variação das alturas manométricas totais em 20 e 100 metros possibilitou a avaliação do impacto desse parâmetro no dimensionamento das estações elevatórias de esgoto, considerando diferentes desafios de elevação do esgoto.

Posteriormente, o pré-dimensionamento das estações elevatórias de esgoto foi elaborado em conformidade com as normas técnicas vigentes, estabelecendo a segurança e a eficiência das instalações. A aplicação das normas admitiu a definição de parâmetros como vazão de projeto, diâmetros de tubulações, potência das bombas e dimensões dos poços, considerando as particularidades de cada cenário.

Os resultados obtidos revelaram a influência da população e da altura manométrica no dimensionamento das estações elevatórias de esgoto. Verificou-se que o aumento da população demanda bombas de maior capacidade e estruturas de maior porte, ao mesmo tempo que o incremento na altura manométrica requer bombas com maior potência e tubulações mais robustas. A metodologia de pré-dimensionamento desenvolvida no estudo foi capaz de demonstrar o quanto é importante a definição dos parâmetros de projeto para cada cenário.

A demanda de soluções eficientes e economicamente viáveis para o transporte de esgoto sanitário torna o estudo das estações elevatórias de esgoto um tema essencial na engenharia civil e sanitária, especialmente em contextos de topografia desfavorável ou necessidade de direcionamento do efluente para tratamento adequado.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Integração de Sistemas de Biorreatores em Estações Elevatórias de Esgoto para Produção de Biogás;
- Automação e Controle Inteligente em Estações Elevatórias de Esgoto: Uso de Inteligência Artificial e Internet das coisas;
- Desenvolvimento de Sistemas Híbridos de Energia para Estações Elevatórias de Esgoto: Solar e Biogás;
- Uso de Sensores Avançados para Otimização do Desempenho em Estações Elevatórias de Esgoto;
- Aplicações de Automação e Inovações Tecnológicas em Estações Elevatórias de Esgoto;
- Sustentabilidade em Estações Elevatórias de Esgoto: Implementação de Energias Renováveis;
- Gestão de Resíduos e Lodo em Estações Elevatórias de Esgoto;
- Integração de Sistemas de Monitoramento em Tempo Real para Estações Elevatórias de Esgoto;

REFERÊNCIAS

- ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA. **Funcionamento e Capacidades das Estações Elevatórias de Esgoto.** Disponível em: <https://www.aguascclarasengenharia.com.br/estacao-elevatoria-de-esgoto/>. Acesso em: 24 ago. 2024.
- ALMEIDA, Diogo Rezende et al. **Estudo comparativo de bombas para estação elevatória de esgoto.** 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9648. **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento.** Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9649. **Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - Procedimento.** Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12207. **Projeto de interceptores de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12208. **Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12208: **Projeto de estação de bombeamento ou de estação elevatória de esgoto - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16682. **Projeto de Linha de Recalque para Sistema de Esgotamento Sanitário.** Rio de Janeiro, 2018.
- CARVALHO, Djalma Francisco. **Instalações elevatórias bombas.** Universidade Católica Minas Gerais, 1979.
- DOS SANTOS LISBOA, Danielle Cristina et al. Sistema de esgotamento sanitário estação elevatória de esgoto e linha de recalque em um residencial. **Engineering Sciences**, v. 7, n. 3, p. 9-26, 2019.
- GOMES, Heber P. Sistemas de bombeamento. **João Pessoa, Editora Universitária UFPB**, 2009.
- MACINTYRE, A. J. – **Bombas e Instalações de Bombeamento**, Ed. LTC – Livros Técnicos e científicos editora S. A., 2ª edição revista, Rio de Janeiro, 1997.
- MENDONÇA, Sérgio Rolim; MENDONÇA, Neyson Martins. **ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ESGOTO. Sistemas sustentáveis de esgotos**, p. 147, 2018.
- **MILLER, R.; WATSON, T.** Flow performance in wastewater pumping stations: A systematic review. *Water Research*, v. 45, n. 7, p. 1024-1035, 2020.
- MOREIRA, FNC; FERREIRA, JFH; PEREIRA, JAR Normas brasileiras e a recomendação de eficiência energética para elaboração do projeto de estação elevatória de esgoto. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento** , [S. l.] , v. 9, n. 8, p.

e805986143, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.6143. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6143>. Acesso em: 30 ago. 2024.

- MOTTA, A. C. S. da. **Estações Elevatórias de Esgotos**. São Paulo: Revista DAE Edição nº: 73, p. 48-118. 1969.
- NITATORI, Diogo Hiroshi. **Avaliação operacional de estação elevatória de esgoto utilizando eficiência energética: estudo de caso na cidade de Itaipó/São Paulo**. 2016.
- NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2ª ed, São Paulo: Blucher, 2011.
- PARNAIBA JUNIOR, José Augusto. **Proposição de projeto do sistema de esgotamento sanitário da Cidade de Santa Helena–PB**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso.
- PEDROSA, Hudson Tiago dos Santos. **Otimização em estação elevatória em sistemas de abastecimento de água buscando a eficiência energética**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- REVISTA TAE. **Avaliação do Consumo de Energia Elétrica em Estações Elevatórias de Esgoto**. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/752/avaliacao-do-consumo-de-energia-eletrica-em-estacoes-elevatoria-de-esgoto->. Acesso em: 15 ago. 2024.
- SANEPAR. **Manual de Estações Elevatórias de Esgoto de Pequeno Porte**. Disponível em: https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/projeto-hidrossanitario/manual_estacao_elevatoria_esgoto_pequeno_porte_particular.pdf. Acesso em: 24 ago. 2024.
- TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. 3ª edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- TSUTIYA, Milton Tomoyuki; ALEM SOBRINHO, Pedro. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. 1999.
- TSUTIYA, M. T., & SOBRINHO, P. A. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 2ª edição. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Características Hidráulicas e Parâmetros Geométricos de Estações Elevatórias de Esgoto**. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/184420/001078984.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 ago. 2024.

- UNIVERSIDADE PAULISTA. **Classificação das Estações Elevatórias de Esgoto Segundo Diferentes Critérios.** Disponível em: https://adm.online.unip.br/img_ead_dp/60910.pdf. Acesso em: 24 ago. 2024.
- VEIGA, Engº Fernando Maia. **Nota Técnica 37 – Sistema de Bombeamento em Linha.** SANEPAR. 08 de novembro de 2023. Disponível em: https://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/informacoes-tecnicas/mps-versao-2023/nt37sistemasdebombeamentoemlinha_v01.pdf. Acesso em: 24 de setembro de 2024.
- VIANA, L. R. **Avaliação e proposição de melhorias para as estações elevatórias de esgoto 03 e 04 do município de Porto Nacional - TO.** 2017, 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO.

APÊNDICE A - Análise Comparativa

Foram comparados os 03 (três) cenários de populações (100/1.000 /10.000 habitantes) variando suas alturas manométricas totais em 20 e 100 metros. Por meio dos cálculos a cerca de:

- Cálculo da vazão média (Q_m);
- Declividade mínima ($I_{mín}$);
- Cálculo da vazão máxima diária (Q_{md});
- Cálculo da vazão máxima horária (Q_{mh});
- Cálculo da vazão mínima horária (Q_{min});
- Tempo de detenção hidráulica (T_{dh});
- Contribuição de infiltração (Q_{inf});
- Vazão máxima final (Q_{mf});
- Vazão de projeto (Q_p);
- Diâmetro da Tubulação (D);
- Velocidade dos Barriletes de Sucção e Recalque;
- Cálculo da Potência da Bomba (P) para HMT de 20 metros;
- Cálculo da Potência da Bomba (P) para HMT de 100 metros;
- Volume do poço de sucção (Vol);
- Área do poço de sucção (A);
- Poço de sucção de seção quadrada (Lados);
- Poço de sucção de seção circular (Raio);
- Tempo de detenção hidráulica máxima ($T_{dh\ máx}$).