



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AMANDA TAVARES MENDONÇA

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO**

João Pessoa – PB
2019

AMANDA TAVARES MENDONÇA

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, em cumprimento aos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Vieira Soares

João Pessoa – PB

Setembro, 2019

**Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação**

M539d Mendonca, Amanda Tavares.

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO / Amanda Tavares Mendonca.

- João Pessoa, 2019.
70 f. : il.

Orientação: Leonardo Vieira Soares.

Coorientação: Francisco Jácome Sarmento.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Estação elevatória de esgoto. 2. Visual basic. 3.
Linguagem de programação. 4. Software de
dimensionamento. 5. Esgotamento sanitário. I. Soares,
Leonardo Vieira. II. Sarmento, Francisco Jácome. III.
Título.

UFPB/BC

FOLHA DE APROVAÇÃO

AMANDA TAVARES MENDONÇA

DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO

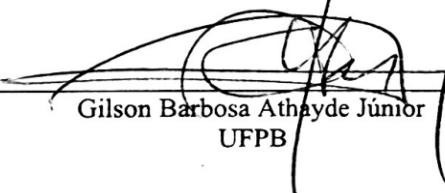
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 27/09/2019 perante a seguinte Comissão
Julgadora:



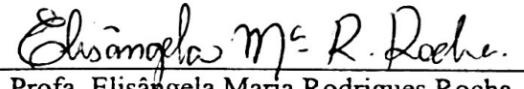
Leonardo Vieira Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB APROVADO



Francisco Jácome Sarmento
UFPB APROVADO



Gilson Barbosa Athayde Júnior
UFPB APROVADO



Profa. Elisângela Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Elisângela M. R. Rocha
Coordenadora de Eng. Ambiental
CT/UFPB – Mat. 1821373

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por nunca me abandonar, por mais que eu duvidasse de que as diversas situações, que pareciam bem maiores do que realmente eram, iriam dar certo. E por me amar, apesar de tantos defeitos e incompREENsão, de um modo que jamais irei ter como agradecer.

A minha mãe por ter feito tudo o que podia e não podia durante toda sua existência e minha tia Márcia, que me criou como se fosse uma mãe.

Aos queridos amigos do período 2015.1 da UFPB, que tanto amo e que suportaram meus abusos e cara feia diários, Giulia, Ademir, Martins, Brito, Rafaela, Ana Vitória, Peterson, Elissandra entre outros colegas de vários períodos com os quais tive o prazer de compartilhar momentos, jamais esquecerei vocês.

Aos meus amigos pessoais Manu, Elenice, Adriana, Raquel, Samuel, Érika, Keren, Laís e algum outro que posso ter esquecido de mencionar.

À Universidade Federal da Paraíba, pelo ensino e amadurecimento como pessoa e profissional. Por todas as oportunidades de conhecer todos os lugares por onde passei. A oportunidade de participar do Centro Acadêmico, da fundação da Empresa Júnior do curso (ECO's), do projeto de monitoria de Sistemas de Informações Geográficas, da extensão de “Educação e correto descarte de lixo eletroeletrônico em João Pessoa - ano 2” e do estágio no Laboratório de Engenharia de Sustentabilidade e Consumo (LabESC) . Agradeço ainda a todos professores que compartilharam um pouco do seu conhecimento durante esse percurso, contribuindo bastante com o conhecimento que hoje tenho sobre engenharia ambiental e sobre a vida.

*Tudo evolui; não há realidades eternas:
tal como não há verdades absolutas.*

(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

Entre os sistemas de infraestrutura urbana estão os de saneamento básico, os quais têm vínculo direto com a saúde humana e com a conservação ambiental. Devendo ser abordado como um direito fundamental do cidadão para a melhoria contínua da qualidade de vida, por diminuir a contaminação do meio e a proliferação de doenças associadas à poluição hídrica. Nesse trabalho elaborou-se um programa computacional para dimensionamento de estação elevatória de esgoto, parte integrante do esgotamento sanitário, responsável por elevar o esgoto de uma cota mais baixa para uma mais alta, por bombeamento. Para tanto foi necessário entender todas as equações necessárias, sua ordem de cálculo e sua tradução para linguagem computacional. Foi utilizada a linguagem Visual Basic, que permitiu a elaboração do software. Os resultados obtidos foram confrontados com a metodologia de cálculo manual através do Excel. Por fim, foi analisada a viabilidade do uso do software, os empecilhos encontrados para aprender a linguagem e desenvolver o software. Assim, foi possível automatizar o processo de dimensionamento da estação elevatória de esgoto.

Palavras chave: Estação elevatória de esgoto, Visual basic, Linguagem de programação, Software de dimensionamento, Esgotamento sanitário.

ABSTRACT

Urban infrastructure systems include basic sanitation systems, which have a direct link to human health and environmental conservation. It should be approached as a fundamental right of the citizen for the continuous improvement of the quality of life, by reducing the contamination of the environment and the proliferation of diseases associated with water pollution. In this work, a computer program for the design of a sewage pumping station, an integral part of sanitary sewage, was designed to raise sewage from a lower to a higher level by pumping. Therefore, it was necessary to understand all the necessary equations, their calculation order and their translation into computational language. The Visual Basic language was used, which allowed the elaboration of the software. The results were compared with the manual calculation methodology through Excel. Finally, we analyzed the feasibility of using the software, the obstacles to learning the language and developing the software. Thus, it was possible to automate the sizing process of the sewage pumping station.

Keywords: Sewage lifting station, Visual basic, Programming language, Sizing software, Sanitary sewage.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Sistema unitário ou combinado. | 14 |
| Figura 2. Sistema separador absoluto ou convencional. | 15 |
| Figura 3. Ligação predial | 16 |
| Figura 4. Poço de visita | 17 |
| Figura 5. Terminal de limpeza | 17 |
| Figura 6. Caixa de passagem | 17 |
| Figura 7. Sifão invertido | 18 |
| Figura 8. Interceptor | 18 |
| Figura 9. Estação elevatória de esgoto | 19 |
| Figura 10. Bomba centrífuga | 20 |
| Figura 11. Tipos de rotor | 20 |
| Figura 12. Bomba parafuso | 21 |
| Figura 13. Ejetor pneumático | 21 |
| Figura 14. Estação de tratamento de esgoto mangabeira – João Pessoa | 22 |
| Figura 15. Calha Parshall, vista superior e corte longitudinal | 24 |
| Figura 16. Caixa de areia corte transversal | 25 |
| Figura 17. Caixa de areia corte longitudinal | 25 |
| Figura 18. Grade | 28 |
| Figura 19. Canal circular | 32 |
| Figura 20. Níveis ao longo do tratamento preliminar até a entrada do poço de sucção | 34 |
| Figura 21. Planta baixa da EEE | 35 |
| Figura 22. Níveis e volumes do poço de sucção | 40 |
| Figura 23. Partes constituintes da estação elevatória de esgoto | 50 |
| Figura 24. Layout do programa (Dados de entrada) | 50 |
| Figura 25. Layout do programa (Dados de saída) | 51 |
| Figura 26. Dados de entrada do exemplo | 71 |
| Figura 27. Layout dados de entrada - exemplo | 71 |
| Figura 28. Layout resultados - exemplo | 72 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1. JUSTIFICATIVA | 12 |
| 1.2. OBJETIVOS | 13 |
| 1.2.1 Objetivo geral..... | 13 |
| 1.2.2 Objetivos específicos; | 13 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1. ESGOTAMENTO SANITÁRIO | 14 |
| 2.2 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO | 14 |
| 2.3 COMPONENTES DO SISTEMA SEPARADOR ABSOLUTO | 15 |
| 2.4 SOFTWARE | 22 |
| 3. METODOLOGIA..... | 24 |
| 3.1 SEQUÊNCIA DO DIMENSIONAMENTO | 24 |
| 3.1.1 Medidor de vazão..... | 24 |
| 3.1.2 Caixa de areia..... | 25 |
| 3.1.3 Grades de limpeza manual | 28 |
| 3.1.4 Verificação da sobre elevação no interceptor de chegada | 32 |
| 3.1.5 Níveis | 34 |
| 3.1.6 Dimensionamento do poço de sucção úmido..... | 37 |
| 3.1.7 Dimensionamento das tubulações..... | 39 |
| 3.1.8 Níveis operacionais | 39 |
| 3.1.9 Volume efetivo | 40 |
| 3.1.10 Tempo de detenção de esgoto | 41 |
| 3.1.11 Altura manométrica | 41 |
| 3.1.12 Seleção da bomba | 42 |
| 3.1.13 Golpe de aríete | 43 |
| 3.1.14 Cavitação | 44 |
| 3.1.15 Potência instalada | 44 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 46 |
| 4.1 DADOS DE ENTRADA | 46 |
| 4.2 PROCESSAMENTO | 48 |
| 4.3 DADOS DE SAÍDA | 50 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 52 |

| | |
|---|----|
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| APÊNDICE | 55 |
| 7.1 APLICAÇÃO PRÁTICA COM USO DO EXCEL..... | 55 |
| 7.2 APLICAÇÃO PRÁTICA COM USO DO PROGRAMA..... | 70 |

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização brasileira iniciou-se aproximadamente no século XX, quando as cidades eram vistas como oportunidade de avanço e modernização. Não obstante, junto com as cidades sucedeu a desigualdade sócio-espacial, observada mais explicitamente com a disseminação das periferias urbanas, configuradas como regiões pobres (ERMINIA, 2003). Essa exclusão social discriminatória, negligenciada pelos governos brasileiros, é constatada na desigual espacialização da disponibilidade dos serviços de saneamento básico.

Segundo Pereira (2003), entre os principais sistemas de infraestrutura urbana estão os de saneamento básico, pelo seu vínculo direto com a saúde humana. Sua implantação e operação vão além da questão de saúde pública, ao serem encarados como forma de propiciar o que está previsto no artigo 5º da Constituição, relatando que todos são iguais perante a lei, sem distinção de qualquer natureza. Onde o saneamento básico deve ser abordado como um direito fundamental do cidadão para a melhoria contínua da qualidade de vida, por diminuir a contaminação do meio e a proliferação de doenças associadas à poluição hídrica.

A instalação desse conjunto de serviços, além de melhorar as condições de saúde e salubridade ambiental, reduz os impactos da pobreza, das desigualdades nas comunidades mais vulneráveis e os custos hospitalares (PAIVA e SOUZA, 2017).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), cada dólar investido em água e saneamento reverteria em uma contenção de US\$ 4,3 em despesas de saúde no mundo. Recentemente, organizações vinculadas ao departamento privado de saneamento, reunidas em São Paulo, corroboraram a teoria da economia gerada por este investimento. Pelas contas do grupo, a universalização do saneamento básico no Brasil geraria uma economia anual de R\$ 1,4 bilhão em gastos na área da saúde.

No país, a falta de saneamento básico ainda é responsável por grande número das internações nos hospitais públicos. Ou seja, fica evidente que o aspecto ambiental penetra no social (INIGUEZ e OLIVEIRA, 1996). A ausência de rede de esgoto agrava ainda mais os problemas de saúde derivados da ausência ou má qualidade da água, tornando o descarte ambientalmente correto dos efluentes líquidos domésticos um fator básico na luta contra muitas doenças infecciosas (CLARKE e KING, 2005). Assim sendo, é necessário que todas as zonas urbanas possuam as unidades básicas que compõe um sistema de esgotamento sanitário. Entre eles a Estação Elevatória de Esgoto, que são unidades de bombeamento de

esgoto, que são necessárias em momentos que precise elevar a pressão do fluido, transpor de uma cota mais baixa para uma mais alta, para que posteriormente possa ser levado naturalmente pela força potencial gravitacional.

Como a utilização de tecnologia convencional em esgotamento sanitário tem custo elevado, dificulta ou mesmo impede o atendimento às áreas de população de baixa renda. Desta forma, há a necessidade de se conceber sistemas de esgotamento sanitário com tecnologias compatível, isto é, que se ajustem às características locais, abatendo custos sem gerar prejuízo à eficácia. Surge assim, como suporte, a possibilidade de uso de ferramentas computacionais para dimensionamento desses sistemas de forma de ágil e sem requerer expensas monetárias exacerbadas, frente à facilidade atual de acesso às ferramentas de desenvolvimento de software gratuitas.

1.1. JUSTIFICATIVA

No mundo tecnológico atual, é despertada no sistema educacional a necessidade de utilizar recursos que sustentem a demanda dos alunos em buscar de um ensino mais dinâmico e significativo. O computador participa, nesse processo, como uma ferramenta mediadora entre o ensino e a aprendizagem, auxiliando a construção do conhecimento e preparando o aluno para o concorrido mercado de trabalho, onde o mesmo não será apenas um instrumento de cálculo, mas sim um profissional habilitado adequadamente para atingir e superar as expectativas demandas.

Diante do exposto, em especial do requisito crucial e determinante no perfil profissional demandado pelo mercado, foi despertado o interesse em aprofundar-se no âmbito computacional. A habilidade de programar, possibilita um crescimento cognitivo e auxilia a construção da autossuficiência para lidar com os diferentes problemas, pela demanda em entender o problema, detalhar o seu passo a passo e traduzir, na linguagem computacional, a metodologia de solução do problema.

Outro ponto para a preferência pelo tema foi a necessidade encontrada durante a formação superior em não contemplar somente a teoria, mas também permear a prática para consolidar o ensino através do uso de tecnologias para, assim, proporcionar o melhor resultado e desempenho das atividades. Na engenharia, sempre designada como uma área de atuação onde a utilização de cálculos é extremamente relevante, a utilização de softwares facilita e aumenta a produtividade com os mesmos, sobretudo com os compiladores de linguagem

computacional onde os usuários podem desenvolver softwares que atendam às suas necessidades específicas.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

- Desenvolver um software com a linguagem de programação Visual Basic para dimensionamento de estação elevatória de esgoto;

1.2.2 Objetivos específicos;

- Analisar a viabilidade do uso do software no processo de dimensionar uma estação elevatória de esgoto;
- Analisar os empecilhos encontrados no decorrer do aprendizado da linguagem de programação e do desenvolvimento do software;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ESGOTAMENTO SANITÁRIO

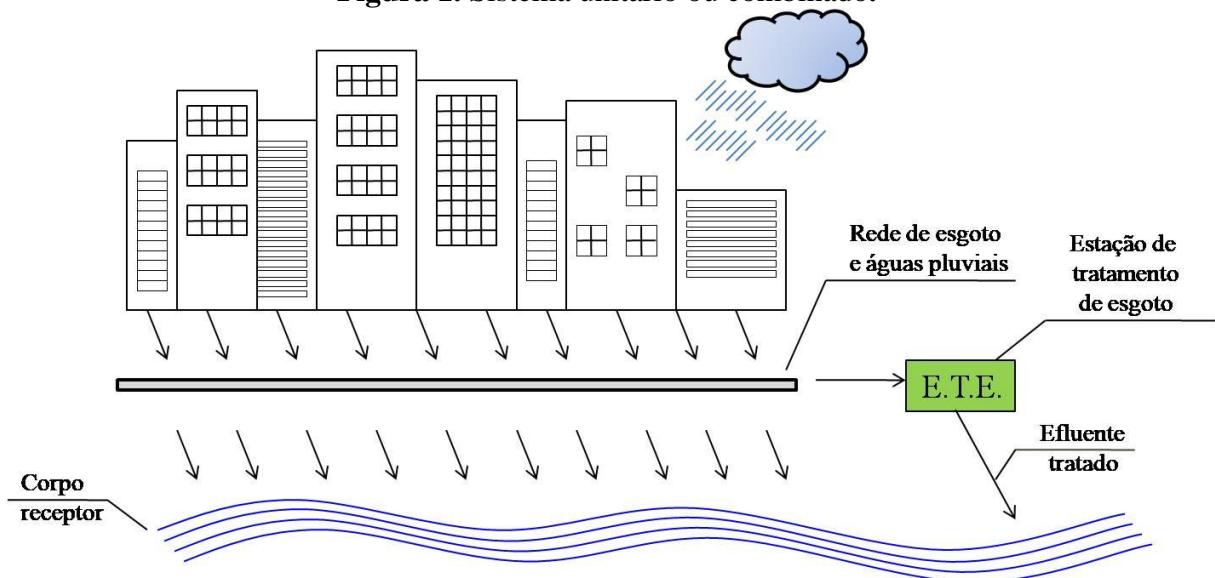
Segundo a Lei Federal nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a Política Federal de Saneamento Básico, o esgotamento sanitário é o setor do saneamento básico constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente,

2.2 SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Inicialmente, os sistemas de esgotamento sanitário foram criados para coletar e transportar as águas pluviais. Atualmente, eles são usados tanto para coleta, transporte e acondicionamento de águas pluviais, como para os esgotos domésticos e, ocasionalmente, o esfluente industrial. Existem três tipos de sistemas: Unitário ou combinado, Separador Parcial ou Misto, Separador Absoluto ou Convencional.

O unitário ou combinado coleta e transporta, em uma única rede de tubulações e galerias, águas pluviais, domésticas, industriais e do subsolo, que infiltra nas tubulações e órgãos acessórios (Figura 1).

Figura 1. Sistema unitário ou combinado.

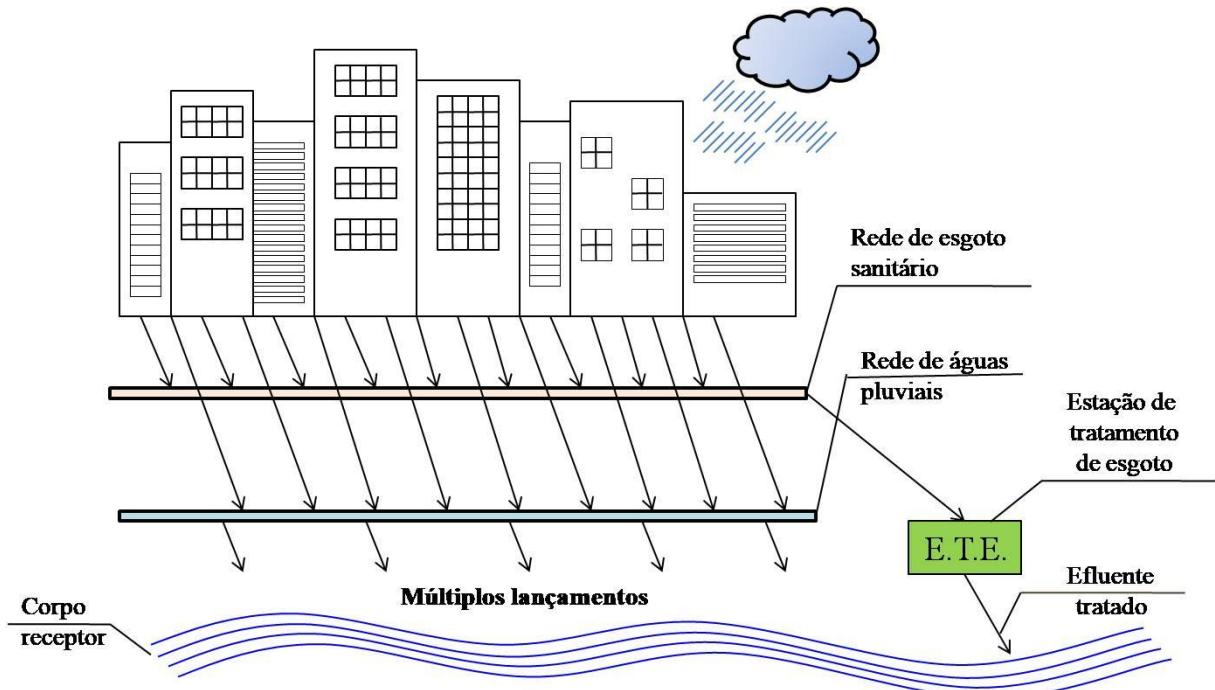


Fonte: Autoria própria, 2019.

O separador parcial ou misto transporta, em um mesmo sistema, as águas domésticas, infiltradas do subsolo e parte da pluvial escoada pelos telhados e áreas externas residenciais.

O separador absoluto ou convencional possui dois sistemas independentes: um para as águas domésticas, industriais e de infiltração, e outro para as águas pluviais (Figura 2).

Figura 2.Sistema separador absoluto ou convencional.



Fonte: Autoria própria, 2019.

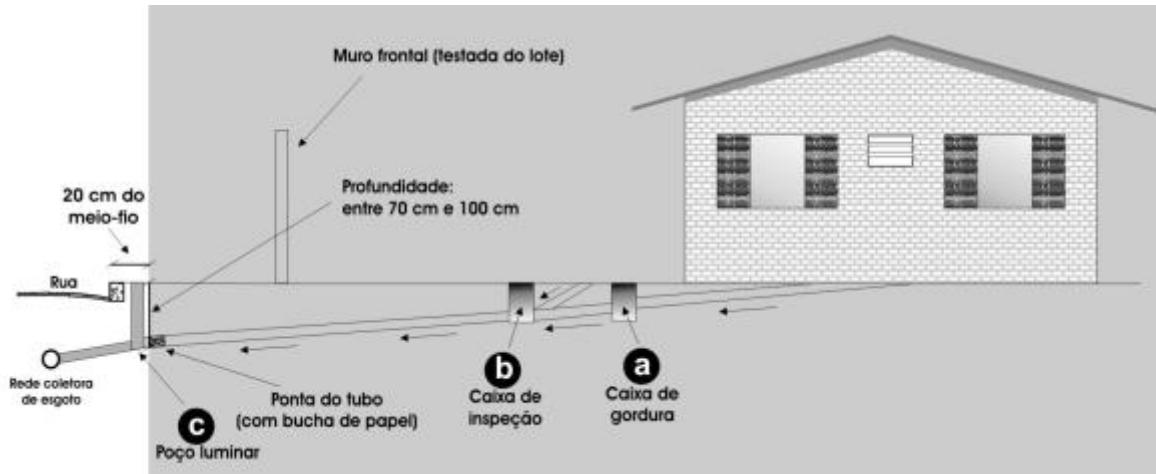
No Brasil, o sistema de esgotamento sanitário adotado é do tipo separador absoluto ou convencional, que em caráter técnico evidencia melhorias em comparação ao sistema unitário. No entanto requer vigilância para impedir despejos clandestinos de águas pluviais e implantação de uma rede de drenagem pluvial. Como esse monitoramento nem sempre é eficaz e a rede de drenagem nem sempre é instalada na maior parte das cidades brasileiras, o sistema separador absoluto acaba funcionando, em parte, como um sistema unitário (FUNASA, 2015).

2.3 COMPONENTES DO SISTEMA SEPARADOR ABSOLUTO

O sistema público separador absoluto de esgoto sanitário, comumente, é constituído pelos seguintes componentes: ligação predial, coletores de esgoto, órgãos acessórios, interceptor, emissário, sifão invertido, estação elevatória de esgoto (EEE), estação de tratamento de esgoto (ETE) e dispositivo final e corpo receptor.

- Ligação Predial: extensão do coletor predial entre o limite do lote (muro frontal) e a rede coletora de esgoto público, sinalizado na Figura 3 pelo trecho com fundo branco (2).

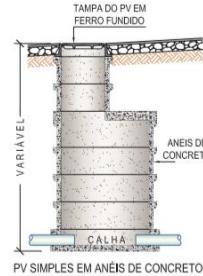
Figura 3. Ligação predial



Fonte: Adaptado de Copasa, 2019.

- Coletores de Esgoto: podem ser classificados em:
 - Coletor de esgoto secundário: tubulação que capta esgoto dos coletores prediais (NBR 9649, 1986).
 - Coletor principal: maior canalização inserida em uma mesma bacia (NBR 9649, 1986).
 - Coletor tronco: coletor que recebe contribuição apenas de outros coletores (NBR 9649, 1986).
- Órgãos Acessórios: podem ser classificados em:
 - Poço de visita (PV): câmara que possibilita vistoria por possuir uma abertura superior, com o propósito de facilitar a manutenção preventiva ou corretiva (NBR 9649, 1986) (Figura 4).

Figura 4. Poço de visita



Fonte: FUNASA, 2019.

Terminal de inspeção e limpeza (TIL): mecanismo que não permite visitação, destinado a inspeção e inserção de utensílios de limpeza (NBR 9649, 1986).

Terminal de limpeza (TL): mecanismo que permite introdução de equipamentos de limpeza, localização na nascente de qualquer coletor (NBR 9649, 1986) (Figura 5).

Figura 5. Terminal de limpeza

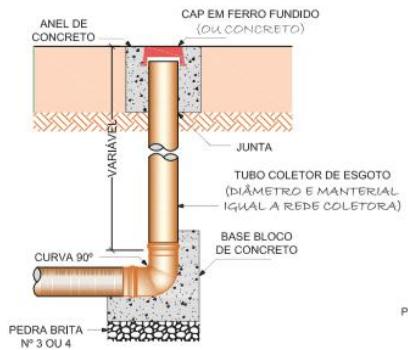


Figura 29 - Terminal de limpeza.

Fonte: FUNASA, 2019.

Caixa de passagem (CP): câmara que não possibilita acesso, sendo construídas para sanar necessidades construtivas e econômicas (NBR 9649, 1986) (Figura 6).

Figura 6. Caixa de passagem

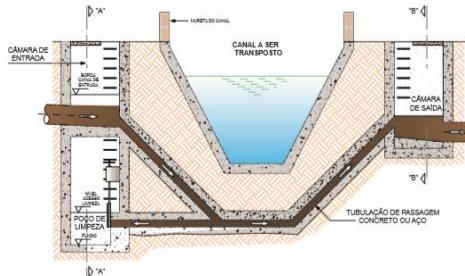


OBS: $D = \text{DIÂMETRO DA REDE COLETORA} + 0,10 \text{ m}$

Fonte: FUNASA, 2019.

- Sifão Invertido: trecho em que o escoamento ocorre sob pressão, com o objetivo de transpor barreiras, concavidade no terreno ou curso d'água (Figura 7).

Figura 7. Sifão invertido



Fonte: Manual de Saneamento da FUNASA, 2015.

- Intercepto: coletor que recebe os coletores de esgoto ao longo de sua extensão, não recebendo ligações prediais diretas. Comumente localiza-se no fundo de vale e possui diâmetro maior que o do coletor tronco, em função de sua maior vazão (Figura 8).

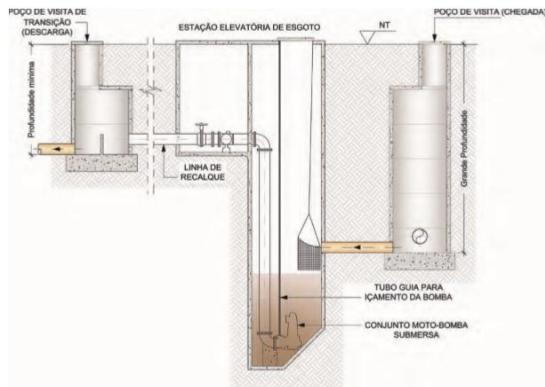
Figura 8. Intercepto



Fonte: Manual de Saneamento da FUNASA, 2015.

- Emissário: canalização que recebe contribuição de esgoto unicamente na extremidade de montante, sem receber ao longo do seu percurso e encaminha os esgotos a uma direção desejada (NBR 9649, 1986).
- Estação Elevatória de Esgoto: Segundo o Manual de Saneamento da FUNASA (2015) são as instalações construídas quando as profundidades das tubulações encontram-se exageradamente grandes, seja pela baixa declividade do terreno ou necessidade de se ultrapassar uma ascensão, para transpor o efluente de uma cota mais baixa para uma mais alta (Figura 9).

Figura 9. Estação elevatória de esgoto



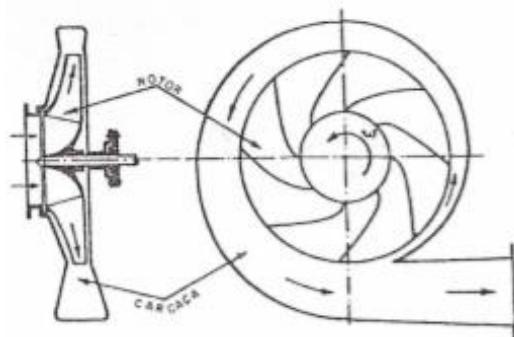
Fonte: Manual de Saneamento da FUNASA, 2015.

Para pequeno e médio portes, utiliza-se comumente, elevatórias convencionais de poço úmido, com conjunto motor-bomba submerso. As elevatórias que utilizam conjuntos motor-bomba submersos são instalações simplificadas e integralmente enterradas, sem superestrutura. A instalação requer áreas menores, funcionam mesmo em ambiente sujeito a eventuais inundações e podem ser construídas em regiões densamente povoadas sem ocupar espaço superficial e exalar odores sensíveis. Outro ponto positivo é apresentar, em geral, custo global inferior às elevatórias que utilizam outros tipos de bombas.

As bombas para o recalque de esgotos, comumente utilizadas nas estações elevatórias de esgoto, são:

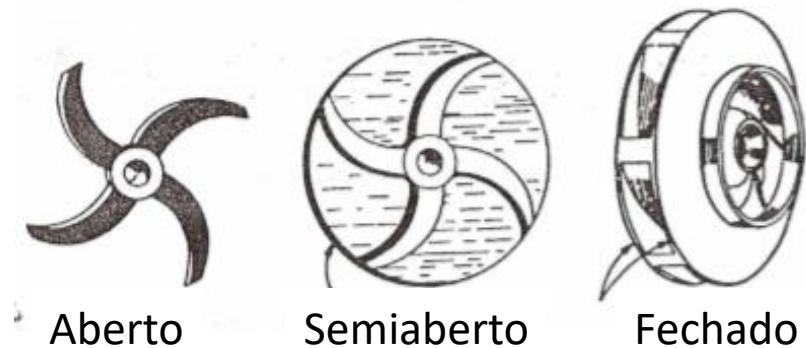
Bombas centrífugas: caracterizadas por serem dotadas de pá, que proporciona ao líquido o serviço mecânico necessário para ultrapassar o desnível existente (Figura 10). A bomba centrífuga é composta essencialmente de dois segmentos: o rotor e a carcaça. As pás do rotor empurram o líquido em caminho à carcaça, concedendo aumento de pressão e velocidade. A carcaça, que geralmente possui o feitiço de espiral, possui entre outras funções a de apanhar o líquido que vem do rotor, convertendo uma porção de sua energia cinética em energia potencial de pressão. Os rotores podem ser do tipo aberto, semiaberto e fechado (Figura 11).

Figura 10. Bomba centrífuga



Fonte: Sobrinho; Tsutiya, 2000.

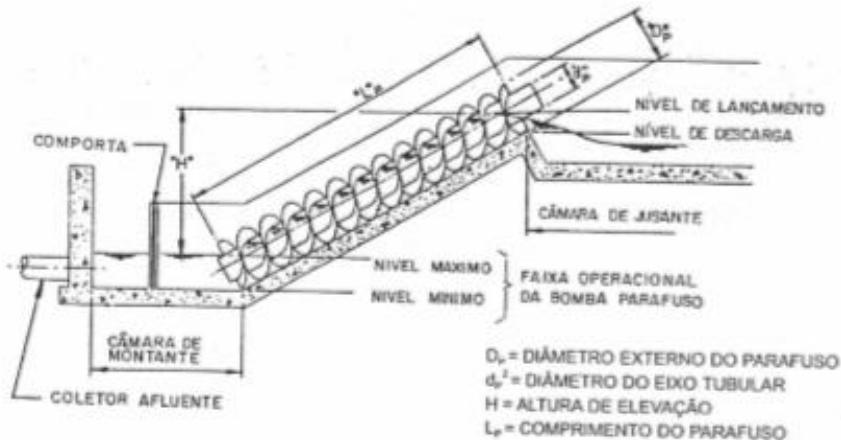
Figura 11. Tipos de rotor



Fonte: Sobrinho; Tsutiya, 2000.

Bombas parafuso: É certamente o modelo mais arcaico de bomba existente. O seu exercício 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 (Figura 12) (SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

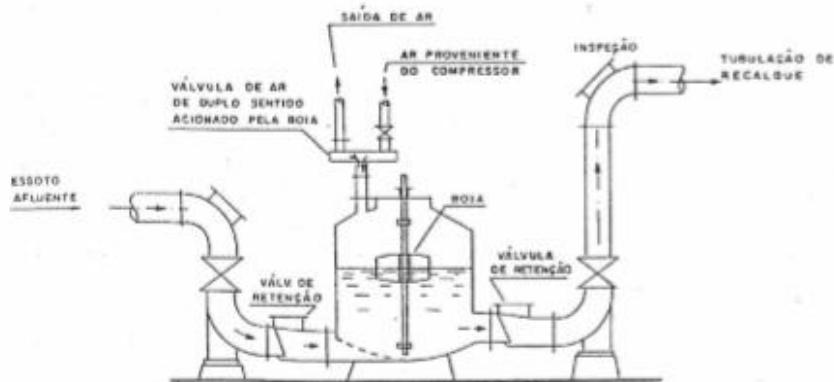
Figura 12. Bomba parafuso



Fonte: Sobrinho; Tsutiya, 2000.

Ejetores pneumáticos: O ejetor é constituído de um tanque fechado, para o interior do qual o esgoto escoa, por gravidade, até alcançar certo nível. Enquanto o tanque é preenchido, o ar nele contido é repelido para a atmosfera. Quando o tanque está próximo de seu preenchimento total uma bóia ou outro dispositivo de controle interrompe a saída do ar, consentindo ar comprimido no interior do tanque, em quantidade e pressão hábeis para propiciar o despejo do líquido (Figura 13).

Figura 13. Ejector pneumático



Fonte: Sobrinho; Tsutiya, 2000.

- **Estação de Tratamento de Esgoto:** conjunto de processos físicos, químicos ou biológicos designados a eliminar as cargas poluentes, para que seja lançado um produto final em conformidade com os padrões exigidos na legislação ambiental.

- Disposição Final: pode ocorrer em um curso d'água, no solo, ou ainda servir para reuso agrícola ou urbano, levando sempre em consideração a composição final relacionada aos poluentes ainda presentes, principalmente metais pesados e organismos patogênicos (Figura 14).

Figura 14. Estação de tratamento de esgoto mangabeira – João Pessoa



Fonte: Google Earth.

2.4 SOFTWARE

O software foi desenvolvido na IDE (Integrated Development Environment), que é um ambiente de desenvolvimento integrado, concebido pela empresa Microsoft Corporation para desenvolvimento de software particularmente dedicado ao .NET Framework. Trata-se de uma iniciativa objetivando incorporar em uma única plataforma o desenvolvimento, execução e aplicação de sistemas e às linguagens de programação Visual Basic (VB), C, C++, C# (C Sharp) e F# (F Sharp).

Uma linguagem de programação é um meio de comunicação escrito e formal, entre o sujeito e o computador, que especifica um conjunto de instruções e regras usadas para gerar programas, chamados de software, com interesse em solucionar problemas.

Uma das linguagens de programação existente é o Visual Basic, sendo uma evolução da linguagem Basic, ao incorporar recursos de programação visual e orientação a objeto. A linguagem Basic foi desenvolvida por Thomas E. Hertz e John G. Kemeny em 1963, com o intuito de ser fácil e interativa, possibilitando assim programar e executar ao mesmo tempo, facilitando o uso, de modo que os programas pudessem ser facilmente criados e executados (GUDWIN, 1997).

No desenvolvimento do software trabalhamos com a lógica de programação e o algoritmo. A lógica de programação consistindo na forma de escrever o programa de computador e o algoritmo sendo a sequência ordenada de etapas - o passo a passo - a ser seguido para a realização eficiente de uma atividade de caráter repetitivo. A programação representa apenas um campo de aplicação dos algoritmos, os quais podem ser aplicados em diversas atividades rotineiras.

As atividades desempenhadas no processo de desenvolvimento do algoritmo consistem em três etapas: entrada, processamento e saída. A entrada concerne na coleta e organização dos dados; o processamento em converter os dados e a saída em apresentar as informações processadas (SARMENTO, 2018).

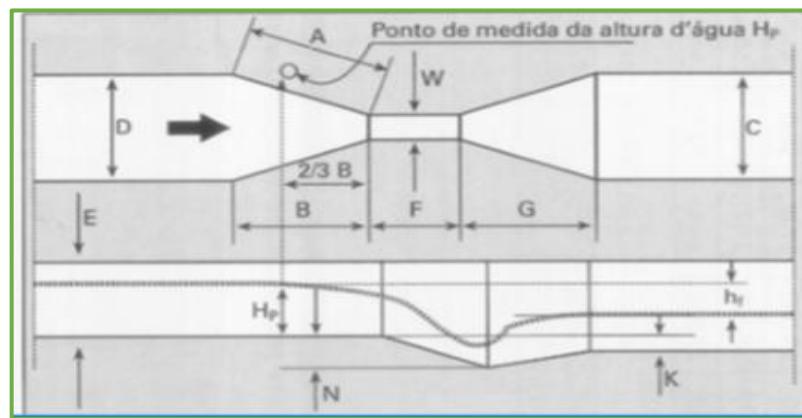
3. METODOLOGIA

3.1 SEQUÊNCIA DO DIMENSIONAMENTO

3.1.1 Medidor de vazão

O medidor é escolhido baseando-se nas vazões máxima final e mínima inicial. Estas vazões definem a calha que será escolhida através do intervalo de vazões em que cada uma é capaz de operar. A calha escolhida é referida pela sua dimensão nominal, “W” que é a largura da seção estrangulada ou garganta da calha, conforme vemos na Figura 15 (NETTO, 1998).

Figura 15. Calha Parshall, vista superior e corte longitudinal



Fonte: Adaptado de Azevedo Netto, 1998.

3.1.1.1 Alturas das lâminas de esgoto no medidor Parshall

Após a determinação da calha Parshall, calculam-se as alturas das lâminas líquidas, para as vazões máxima final, média final e mínima inicial, na calha Parshall. Para isso utiliza-se a equação 1, que é proveniente do rearranjo da equação $Q = \lambda \cdot H^n$:

$$H = \left(\frac{Q}{\lambda}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Onde:

H = Altura da lâmina líquida, m;

Q = Vazões máxima final, média final e mínima inicial, m^3/s ;

λ = Parâmetro, m^3/s ;

n = Parâmetro, m^3/s .

3.1.1.2 Cálculo do rebaixo “Z”

O rebaixo Z tem por finalidade manter a velocidade horizontal na caixa de areia próxima ao valor de $0,30 \text{ m/s} \pm 20\%$, para faixa de vazões entre a mínima e a máxima. O cálculo é dado pela equação 2:

$$Z = \frac{Q_{máx,f} * H_{mín} - Q_{mín,i} * H_{máx}}{Q_{máx,f} - Q_{mín,i}} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{máx,f}$ =Vazão máxima final, m^3/s ;

$Q_{mín,i}$ =Vazão mínima inicial, m^3/s ;

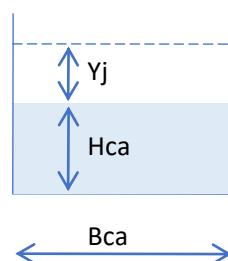
$H_{máx}$ = altura máxima da lâmina líquida de esgoto no medidor Parshall, m;

$H_{mín}$ =altura mínima da lâmina líquida de esgoto no medidor Parshall, m.

3.1.2 Caixa de areia

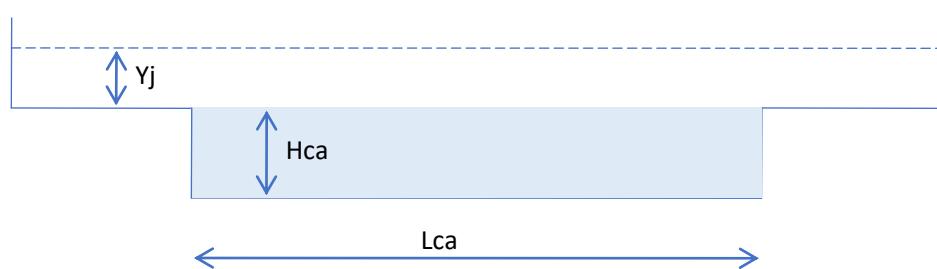
De acordo com a NBR-12209, as caixas de areia de sistemas com remoção manual, devem-se ser projetados dois canais desarenadores paralelos, utilizando-se um deles enquanto o outro sofre remoção de areia (Figura 16) (Figura 17).

Figura 16. Caixa de areia corte transversal



Fonte: Autoria própria.

Figura 17. Caixa de areia corte longitudinal



Fonte: Autoria própria.

3.1.2.1 Altura da lâmina líquida

O dimensionamento da caixa de areia se dá primeiramente através da determinação das alturas das lâminas líquidas que chegam à caixa. Essas alturas são determinadas pela equação 3:

$$Yj = H - Z \quad (3)$$

Onde:

Yj = Alturas das lâminas líquidas na caixa de areia, m;

H = Alturas das lâminas líquidas no medidor Parshall, máxima, média e mínima, m;

Z = Rebaixo Z , m.

3.1.2.2 Comprimento da caixa de areia

O comprimento da caixa de areia é dimensionado com base na vazão máxima, através da altura líquida máxima na caixa de areia, de modo a permitir que as partículas de areia tenham tempo suficiente para sedimentar. Utilizou-se a equação (4):

$$Lca = 25 * Y_{j\max} \quad (4)$$

Onde:

Lca = Comprimento da caixa de areia, m;

$Y_{j\max}$ = Altura máxima da lâmina líquida na caixa de areia, m.

3.1.2.3 Largura da caixa de areia

A largura, Figura 13, é calculada baseando-se na vazão máxima, e é dada pela equação 5:

$$Bca = \frac{Q_{\max,f}}{0,3 * Y_{j\max}} \quad (5)$$

Onde:

Bca = Largura da caixa de areia, m;

$Q_{\max,f}$ = Vazão máxima final, m^3/s ;

$Y_{j\max}$ = Altura máxima da lâmina líquida na caixa de areia, m.

3.1.2.4 Verificação da taxa de escoamento superficial

Prosseguindo o dimensionamento da caixa de areia, faz-se a verificação da taxa superficial. A taxa de escoamento superficial é a razão entre a vazão de esgoto e a área

horizontal em que é lançado (NBR 12209/1992). A taxa de escoamento superficial, segundo Mendonça (1990), deve apresentar valores entre $700 \leq T_s \leq 1.600 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$, calculada pela equação 6:

$$T_s = \frac{Q_{\max,f}}{Lca * Bca} \quad (6)$$

Onde:

T_s = Taxa de escoamento superficial, $\text{m}^3/\text{m}^2\text{.dia}$;

$Q_{\max,f}$ = Vazão máxima final, m^3/s ;

Lca = Comprimento da caixa de areia, m;

Bca = Largura da caixa de areia, m.

3.1.2.5 Verificação das velocidades horizontais

As remoções das partículas são ocasionadas pela diminuição da velocidade, a valores que permitam a sua sedimentação. Por essa razão, se faz essencial a sua verificação, realizada segundo a equação 7, para as alturas das lâminas líquidas e vazões máxima, média e mínima. Segundo Nuvolari (2011) a velocidade de escoamento horizontal deve ser $V_H = 0,30 \pm 20\% \text{ m/s}$.

$$V_H = \frac{Q}{Yj * Bca} \quad (7)$$

Onde:

V_H = Velocidade horizontal na caixa de areia, m/s;

Q = Vazão de esgoto, m^3/s ;

Yj = Altura da lâmina líquida na caixa de areia, m;

Bca = Largura da caixa de areia, m.

3.1.2.6 Quantidade de material retido na caixa de areia

Em geral, costuma-se adotar o valor base para produção de 30 a 40 $1/1.000 \text{ m}^3$ de esgoto. Calculando a quantidade de material retido pela equação (8).

$$MRca = Q_{\text{med}} (\text{m}^3/\text{dia}) \times P \left(\frac{l}{1000} \text{ m}^3 \text{ de esgoto} \right) \quad (8)$$

Onde:

MRca = Quantidade de material retido, l/dia;

Qméd = Vazão média de final de plano, m³/d;

P = Produção de esgoto, l/1000m³.

3.1.2.7 Altura da caixa de areia

Para a determinação da altura da caixa de areia, Figura 14, costuma-se adotar um tempo de limpeza ΔT que é multiplicado pela quantidade de material retido na caixa de areia, resultando no volume da mesma. A altura é dada pela equação (9).

$$H_{CA} = \frac{TL * MRca}{Lca * Bca} \quad (9)$$

Onde:

Hca = Altura da caixa de areia, m;

TL = Tempo de limpeza, d;

MRca = Quantidade de material retido, m³/dia;

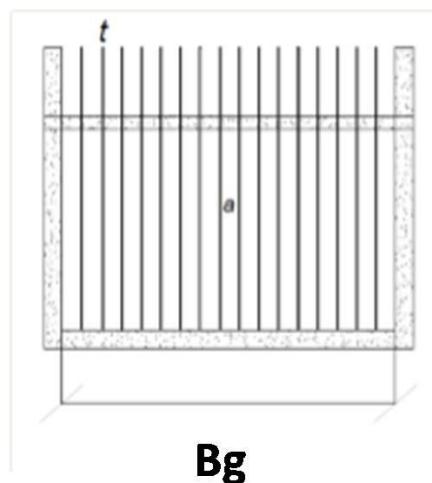
Lca = Comprimento da caixa de areia, m;

Bca = Largura da caixa de areia, m.

3.1.3 Grades de limpeza manual

A função das grades no tratamento preliminar de esgoto é reter os sólidos de dimensões superiores ao espaçamento das barras. Vemos na figura 18 o esboço da grade, com a demonstração da espessura das barras (t), o espaçamento entre as barras (a) e a largura da grade (b).

Figura 18. Grade



Fonte: SOARES, 2018

3.1.3.1 Escolha da grade

A escolha da grade é feita através das características desejadas, ou seja, tipo de grade, espaçamento entre as barras e o tipo de limpeza.

3.1.3.2 Eficiência da grade

A eficiência é calculada pela equação 10.

$$E = \frac{a}{a + t} \quad (10)$$

Onde:

E = Eficiência da grade, - ;

a = Espaçamento entre as barras, mm;

t = Espessura das barras, mm.

3.1.3.3 Área útil para escoamento

O cálculo da área útil é realizado através da equação 11, para a vazão máxima final e velocidade entre as barras limpas, valor adotado pelo projetista, podendo variar entre 0,4 m/s a 1,2 m/s (NBR 12208/1992).

$$A_u = \frac{Q_{máx,f}}{V_g} \quad (11)$$

Onde:

A_u = Área útil para escoamento, m^2 ;

$Q_{máx,f}$ = Vazão máxima final, m^3/s ;

V_g = Velocidade entre as barras limpas, m/s.

3.1.3.4 Área transversal do canal

A área do canal é estipulada através da soma das áreas ocupadas pelas barras mais a área útil dos espaçamentos, dada pela equação (12).

$$S = \frac{A_u}{E} \quad (12)$$

Onde:

S = Área transversal do canal, m^2 ;

A_u = Área útil para escoamento, m^2 ;

E = Eficiência da grade, - .

3.1.3.5 Largura do canal

A largura do canal na fase de gradeamento é obtida por meio da equação (13).

$$B_g = \frac{S}{Y_{jmáx}} \quad (13)$$

Onde:

B_g = Largura do canal no gradeamento, m;

S = Área transversal do canal, m^2 ;

$Y_{jmáx}$ = Altura máxima da lâmina líquida na caixa de areia, m.

3.1.3.6 Verificação das velocidades entre as barras

A velocidade máxima entre as barras, segundo a NBR 12208, deverá ser 1,2 m/s, para a vazão afluente final, calculada pela equação 14:

$$v = Q/Au \quad (14)$$

Onde:

v = Velocidade entre as barras, m/s;

Q = Vazão, m^3/s ;

A_u = Área útil para escoamento, m^2 .

3.1.3.7 Perda de carga na grade limpa

A perda de carga para a grade limpa é dada pela equação 15.

$$h_{fl} = 1.43 * \left(\frac{v^2 - (E * v)^2}{2g} \right) \quad (15)$$

Onde:

h_{fl} = Perda de carga na grade limpa, m;

v = Velocidade entre as barras (para a vazão máxima final), m/s;

E = Eficiência da grade;

g = Aceleração da gravidade, m^2/s .

3.1.3.8 Perda de carga na grade 50% suja

A perda de carga para grade suja, com limpeza manual, tem que ser maior ou igual a 0,15 m. Considera-se 50% obstruídas e calcula pela equação 16, onde se duplica a velocidade máxima entre as grades (NUVOLARI, 2011).

$$h_{fs} = 1,43 * \left(\frac{(2 * v)^2 - (E * v)^2}{2g} \right) \quad (16)$$

Essa perda de carga será a utilizada na construção do projeto, logo após a chegada da tubulação afluente ao canal.

Onde:

h_{fs} = Perda de carga na grade 50% suja, m;

v = Velocidade entre as barras (para a vazão máxima final), m/s;

E = Eficiência da grade;

g = Aceleração da gravidade, m^2/s .

3.1.3.9 Quantidade de material retido na grade

A quantidade de material retido pelas grades depende das condições locais, hábitos da população, época do ano e da abertura entre as barras (KELLNER, 2003). Ou pode-se obter a concentração de material retido, de acordo com a abertura da grade escolhida. E calcular a quantidade de material retido pela equação 17.

$$MRg = Q_{medf} * CMR \quad (17)$$

Onde:

MRg = Quantidade de material retido na grade, l/d ;

Q_{medf} = Vazão média final, m^3/d ;

CMR = Concentração de material retido, l/m^3 .

3.1.3.10 Número de barras

O cálculo do número de barras, é feito através da formação de uma sistema linear entre as equações 18 e 19.

$$N_e = N_b + 1 \quad (18)$$

Onde:

Ne = Número de espaçamentos entre as barras, - ;

Nb = Número de barras, -.

$$Bg = (a * Ne) + (t * Nb) \quad (19)$$

Onde:

Bg = Largura do canal no gradeamento, m;

a = Espaçamento entre as barras, mm;

Ne = Número de espaçamentos entre as barras;

t = Espessura das barras, mm;

Nb = Número de barras.

3.1.4 Verificação da sobre elevação no interceptor de chegada

A verificação é efetuada para identificar se a tubulação afluente trabalha afogada, ou seja, se a cota do efluente após chegar ao canal é maior que a cota superior da tubulação.

3.1.4.1 Altura da lâmina líquida no interior da tubulação afluente

A determinação da altura é obtida através da relação Y/D, para escoamento em conduto livre, por meio da equação 20 (Figura 19).

$$Y = \frac{Y}{D} * DN \quad (20)$$

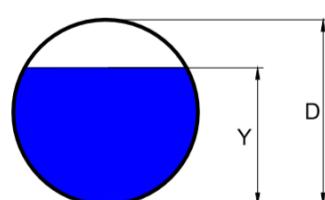
Onde:

Y = Altura da lâmina líquida no interior da tubulação, m;

Y/D = Relação obtida na tabela de escoamento em conduto livre;

DN = Diâmetro nominal, m.

Figura 19. Canal circular



Fonte: Acervo do autor

3.1.4.2 Nível do líquido dentro da tubulação de chegada

Obtemos a cota do fluido no interior da tubulação afluente, através da altura da lâmina líquida e a cota de soleira inferior interna da tubulação, pela equação 21.

$$NA = Y + CSa \quad (21)$$

Onde:

NA = Nível do líquido dentro da tubulação, m;

Y = Altura da lâmina líquida no interior da tubulação, m;

CSa = Cota de soleira da tubulação afluente, m.

3.1.4.3 Altura do líquido antes da grade (Ym)

A altura da água antes da grade é conseguida pela soma da perda de carga 50% suja com a lâmina líquida posterior, através da equação 22.

$$Ym = hfs + Yjmáx \quad (22)$$

Onde:

Ym = Altura do líquido antes da grade, m;

hfs = Perda de carga na grade 50% suja, m;

Yjmáx = Altura máxima da lâmina líquida na caixa de areia, m.

3.1.4.4 Nível antes da grade

Após o cálculo da altura do líquido, obtemos a cota referente, pela equação 23.

$$NAmáx = Ym + CSa \quad (23)$$

Onde:

NAmáx = Nível do líquido antes da grade, m;

Ym = Altura do líquido antes da grade, m;

CSa = Cota de soleira da tubulação afluente, m.

3.1.4.5 Altura do rebaixo

O rebaixo é calculado pela diferença da altura líquida anterior à grade pela altura líquida no interior da tubulação, pela equação 24.

$$Z' = Ym - Y \quad (24)$$

Onde:

Z' = Rebaixo após a tubulação afluente, m;

Y_m = Altura do líquido antes da grade, m;

Y = Altura da lâmina líquida no interior da tubulação, m.

Caso o valor de Z' não seja suficiente para evitar que a tubulação de entrada trabalhe afogada, deve ser adotado um valor, de tal forma que (equação 25).

$$Y + Z' \geq Y_{jmáx} + hfs \rightarrow Z' \geq Y_{jmáx} + hfs - Y \rightarrow Z' \geq Y_m - Y \quad (25)$$

Onde:

Y = Altura da lâmina líquida no interior da tubulação, m;

Z' = Rebaixo após a tubulação afluente, m;

$Y_{jmáx}$ = Altura máxima da lâmina líquida na caixa de areia, m;

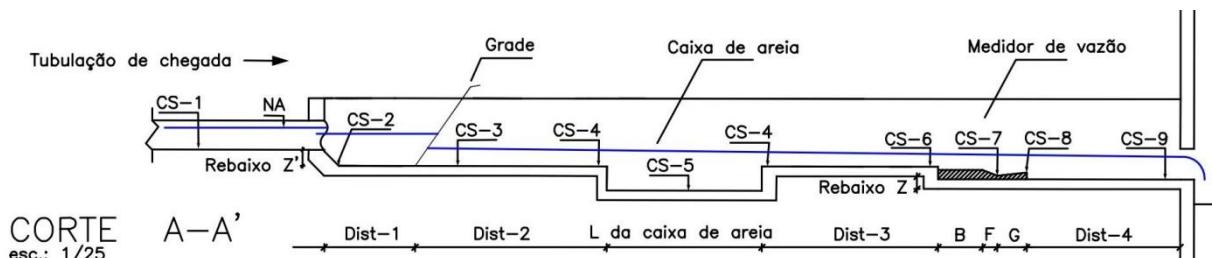
hfs = Perda de carga na grade 50% suja, m;

Y_m = Altura do líquido antes da grade, m.

3.1.5 Níveis

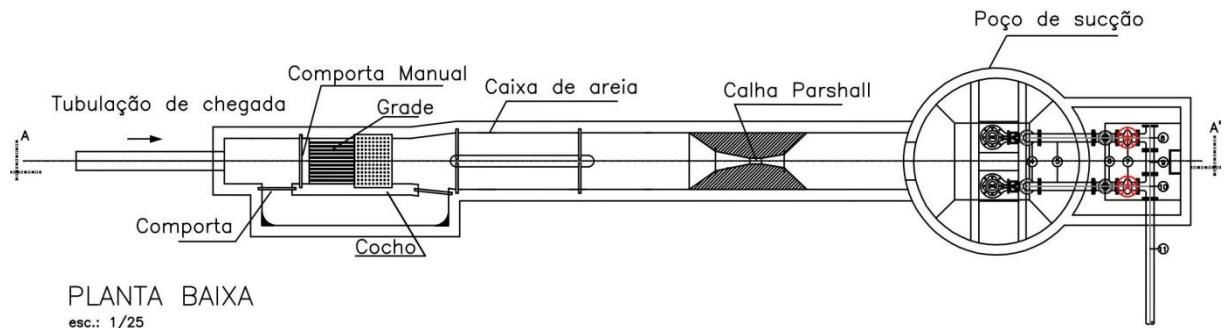
Os níveis são calculados para nove pontos ao longo do tratamento preliminar, até a entrada do poço de sucção (Figura 20). Podemos observar os pontos calculados, denominados de “CS”, na Figura 21.

Figura 20. Níveis ao longo do tratamento preliminar até a entrada do poço de sucção



Fonte: SOARES, 2018.

Figura 21. Planta baixa da EEE



Fonte: SOARES, 2018.

3.1.5.1 Cota de soleira no início do canal (Equação 26)

$$CS_{início} = CS_{entrada} - Z'_{adotado} \quad (26)$$

Onde:

$CS_{início}$ = Cota de soleira no início do canal, m;

$CS_{entrada}$ = Cota de soleira no tubo de entrada do canal, m;

$Z'_{adotado}$ = Rebaixos Z' que foi adotado, m.

3.1.5.2 Cota de soleira na grade (Equação 27)

$$CS_{grade} = CS_{início} - dy \quad (27)$$

Onde:

CS_{grade} = Cota de soleira na grade, m;

$CS_{início}$ = Cota de soleira no início do canal, m;

dy = Distância da tubulação de entrada até a grade * Declividade, m.

3.1.5.3 Cota de soleira na entrada/saída da Caixa de Areia (Equação 28)

$$CS_{in/out CA} = CS_{grade} - dy \quad (28)$$

Onde:

$CS_{in/out CA}$ = Cota de soleira na entrada e saída da caixa de areia, m;

CS_{grade} = Cota de soleira na grade, m;

dy = Distância da grade até a caixa de areia* Declividade, m.

3.1.5.4 Cota de soleira no rebaixado na Caixa de Areia (Equação 29)

$$CS_{RebaixoCA} = CS_{in/out CA} - Hca \quad (29)$$

Onde:

$CS_{RebaixoCA}$ = Cota de soleira no rebaixo da caixa de areia, m;

$CS_{in/out CxAreia}$ = Cota de soleira na entrada e saída da caixa de areia, m;

Hca = Altura da caixa de areia, m.

3.1.5.5 Cota de soleira antes da Calha Parshall (Equação 30)

$$CS_{a.CP} = CS_{in/out CA} - dy - RebaixoZ \quad (30)$$

Onde:

$CS_{a.CP}$ = Cota de soleira antes da calha Parshall, m;

$CS_{in/out CxAreia}$ = Cota de soleira na entrada e saída da caixa de areia, m;

dy = Distância da saída da caixa de areia até começo da Parshall* Declividade, m;

$Rebaixo Z$ = Degrau rebaixado após saída da caixa de areia, m.

3.1.5.6 Cota de soleira na garganta da Calha Parshall (Equação 31)

$$CS_{GCP} = CS_{a.CP} - N \quad (31)$$

Onde:

CS_{GCP} = Cota de soleira na garganta da calha Parshall, m;

$CS_{a.CP}$ = Cota de soleira antes da calha Parshall, m;

N = Rebaixo na garganta da Parshall, m.

3.1.5.7 Cota de soleira na saída da Calha Parshall (Equação 32)

$$CS_{outCP} = CS_{a.CP} - K \quad (32)$$

Onde:

CS_{outCP} = Cota de soleira na saída da calha Parshall, m;

$CS_{a.CP}$ = Cota de soleira antes da calha Parshall, m;

K = Diferença entre a cota de entrada e saída da Parshall, m.

3.1.5.8 Cota de soleira na entrada do Poço de Sucção (Equação 33)

$$CS_{PC} = CS_{outCP} - dy \quad (33)$$

Onde:

CS_{CP} = Cota de soleira da chegada do poço de sucção, m;

CS_{outCP} = Cota de soleira na saída da calha Parshall, m;

dy = Distância da saída da Parshall até começo do poço de sucção* Declividade, m.

3.1.6 Dimensionamento do poço de sucção úmido

O dimensionamento das unidades do poço de sucção úmido se iniciará pela vazão de bombeamento, seguido do número de partidas por hora da bomba, o volume útil e as dimensões do poço.

3.1.6.1 Vazão de bombeamento

A vazão de bombeamento é aproximadamente calculada acrescentando 20% na vazão máxima horária de fim de plano (Equação 34).

$$Qb \approx 1,2 * Q_{máx,f} \quad (34)$$

Onde:

Qb = Vazão de bombeamento, m^3/s ;

$Q_{máx,f}$ = Vazão máxima final, m^3/s .

3.1.6.2 Número de partidas

O tempo de ciclo é o intervalo entre duas partidas consecutivas da bomba, e na ausência de dados pode-se adotar um valor entre 10 e 15 minutos. Com o valor do tempo de ciclo, calculamos o número de partidas por hora, pela equação 35.

$$N = \frac{60}{Tc} \quad (35)$$

Onde:

N = Número de partidas por hora, h;

Tc = Tempo de ciclo, min.

3.1.6.3 Volume útil

O volume útil é a porção admitida entre os níveis mínimos e máximos de operação do poço, e é obtido pela equação 36 (SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

$$V_u = \frac{Qb * Tc}{4} \quad (36)$$

Onde:

V_u = Volume útil calculado, m^3 ;

Q_b = Vazão de bombeamento, m^3/s ;

T_c = Tempo de ciclo adotado, min.

Caso seja necessário arredondamento do volume útil, recalcula-se o tempo de ciclo através da equação 37.

$$T_c' = \frac{T_c * V_u'}{V_u} \quad (37)$$

Onde:

T_c' = Tempo de ciclo calculado, min;

T_c = Tempo de ciclo adotado, min;

V_u' = Volume útil arredondado, m^3 ;

V_u = Volume útil calculado, m^3 .

3.1.6.4 Dimensões do poço de sucção

Suas dimensões podem ser circular ou retangular. Após a decisão do formato é adotado a altura útil, dentro da faixa permitida de $0,6 \leq h_u \leq 1,5$ m (NUVOLARI, 2003), e calculada a área da base, pela equação 38.

$$A_b = V_u' / h_u \quad (38)$$

Onde:

A_b = Área da base do poço de sucção, m^2 ;

V_u' = Volume útil arredondado, m^3 ;

h_u = Altura útil adotada, m.

Caso seja retangular, deverá ser adotada a largura do poço e calculado o comprimento, pela equação 39.

$$L = A_b / B \quad (39)$$

Onde:

L = Comprimento do poço, m;

A_b = Área da base do poço de sucção, m^2 ;

B = Largura do poço, m.

Caso contrário, calcula-se o diâmetro do poço, pela equação 40, que é proveniente do reordenamento da equação da área do poço.

$$D = \sqrt{\frac{4 * Ab}{\pi}} \quad (40)$$

3.1.7 Dimensionamento das tubulações

Devem ser levados em consideração aspectos econômicos da tubulação a ser instalada, como custos fixos ou depreciação do investimento inicial, gastos decorrentes da operação do sistema, ou seja, a energia gasta no bombeamento do fluido.

A tubulação de recalque pode ser dimensionada com grande precisão pela fórmula de Bresse (Equação 41).

$$Dr = k * \sqrt{Qb} \quad (41)$$

Onde:

Dr = Diâmetro de recalque, m;

K = Coeficiente de Bresse;

Qb = Vazão de bombeamento, m³/s.

3.1.8 Níveis operacionais

Para os cálculos dos níveis operacionais, precisamos primeiro adotar uma folga, entre 0,2 a 0,5m. Com isso calculamos o nível máximo (Equação 34), o nível mínimo (Equação 42) e a cota de fundo (Equação 43) (Figura 22).

$$Nmáx = CS_{PC} - F \quad (42)$$

Onde:

Nmáx = Nível máximo no poço, m;

CSpc = Cota de chegada ao poço de sucção, m;

F = Folga adotada, m.

$$Nmín = Nmáx - Hu \quad (43)$$

Onde:

Nmín = Nível mínimo no poço, m;

Nmáx = Nível máximo no poço, m;

Hu = Altura útil adotada, m.

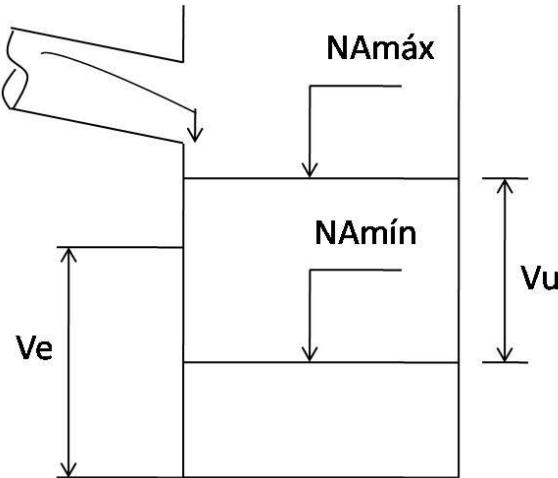
$$CF = Nmín - 4 * D_s \quad (44)$$

CF = Cota de fundo, m;

Nmín = Nível mínimo no poço, m;

Ds = Diâmetro de sucção (m).

Figura 22. Níveis e volumes do poço de sucção



Fonte: Acervo do autor

Com o intuito de evitar bolhas de ar junto à entrada da bomba e a formação de vórtice, é recomendado que a altura de submersão seja maior que três vezes o diâmetro de sucção. Assim, utilizamos a submersão total igual a quatro vezes o diâmetro de sucção (NUVOLARI, 2003).

3.1.9 Volume efetivo

O cálculo do volume efetivo, precisa primeiro da altura efetiva, que é obtida pela fórmula 45, apesar de existirem diversas formas para cálculo.

$$He = \left(Nmáx - \frac{hu}{2} \right) - CF \quad (45)$$

Onde:

He = Altura efetiva, m;

Nmáx = Nível máximo no poço, m;

Hu = Altura útil adotada, m;

CF = Cota de fundo, m.

E com isso, calculamos o volume efetivo, que é a porção englobada entre a cota de fundo e o nível médio de operação das bombas, pela equação 38.

$$Ve = Ab * He \quad (46)$$

Onde:

Ve = Volume efetivo, m³;

Ab = Área da base do poço de sucção, m²;

He = Altura efetiva, m.

3.1.10 Tempo de detenção de esgoto

O tempo de detenção é calculado para os três casos de vazões: mínima inicial, média inicial e máxima final (Equação 47). A recomendação da NBR 12.208/92 para o tempo de detenção da vazão média, é que seja o menor possível não ultrapassando 30 minutos.

$$Td = \frac{Ve}{Q} \quad (47)$$

Onde:

Td = Tempo de detenção, min;

Ve = Volume efetivo, m³;

Q = Vazão, m³/min.

3.1.11 Altura manométrica

3.1.11.1 Perda de carga localizada

A perda de carga localizada será obtida pela soma dos comprimentos equivalentes das singularidades, para em seguida ser somado ao comprimento real da tubulação, obtendo-se assim o comprimento virtual. Caso a bomba seja submersa, só se faz necessário o cálculo para as singularidades de recalque.

3.1.11.2 Perda de carga distribuída

A perda de carga distribuída ocorre em trechos de tubulação retilíneos e de diâmetro constante. Acontece pela perda de pressão distribuída ocasionada pela parede dos dutos retilíneos, fazendo com que a pressão total diminua gradativamente. Para calcular, utilizamos a fórmula de Darcy-Weisbach (Equação 48).

$$hf = f * \frac{Lv}{D} * \frac{Vr^2}{2 * g} \quad (48)$$

Onde:

hf = Perda de carga distribuída, mca;

f = Fator de rugosidade;

Lv = Comprimento virtual, m;

Dr = Diâmetro de recalque, m;

Vr = Velocidade de recalque, m/s;

g = Aceleração da gravidade, m/s².

3.1.11.3 Altura geométrica

A altura geométrica é a diferença entre o nível de esgoto na câmara de chegada e o nível mínimo de operação (Equação 49).

$$Hg = Ncheg. - Nmín \quad (49)$$

Onde:

Hg = Altura geométrica, m;

Ncheg = Nível de esgoto da câmara de chegada, m;

Nmín = Nível mínimo no poço, m.

Por fim obtivemos a altura manométrica, somando a altura geométrica com a perda de carga total (Equação 51).

$$Hm = Hg + hf_{total} \quad (50)$$

Onde:

Hm = Altura manométrica, m;

Hg = Altura geométrica, m;

hf_{total} = Perda de carga total, m.

3.1.12 Seleção da bomba

A seleção é realizada pelo software Pumpsel. Não contendo dentro do programa essa metodologia de automação para o processo.

3.1.13 Golpe de aríete

O golpe de aríete é aplicado no caso em que possuindo um regime variável, ocorram variações de pressão consideráveis, comparativamente com as características verificadas no regime permanente (MENDES, 2011). Sendo assim, verifica-se a necessidade da instalação de um dispositivo antigolpe, mediante os cálculos da celeridade, período da tubulação, sobre pressão e sobre pressão máxima.

3.1.13.1 Celeridade

A celeridade é a velocidade de propagação da onda de pressão na tubulação. Podendo ser calculada pode ser calculada através da fórmula de Allievi (equação 52).

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + Kel * \frac{D}{e}}} \quad (52)$$

Onde:

C = Celeridade, m/s;

Kel = Coeficiente de elasticidade do material;

D= Diâmetro interno de recalque, mm;

e = Espessura do tubo, mm.

3.1.13.2 Período da tubulação

O período da tubulação é o intervalo de tempo necessário para a onda de pressão percorrer o caminho de ida e vinda, da válvula de retenção ao reservatório e deste à válvula de retenção. O período foi obtido pela fórmula 53.

$$T = \frac{2L}{C} \quad (53)$$

Onde:

T = Período da tubulação, s;

L = Extensão do emissário de recalque, m;

C = Celeridade, m/s.

3.1.13.3 Sobre pressão

Calculada com a equação 54.

$$h = \frac{C * Vr}{g} \quad (54)$$

Onde:

h = Sobre pressão, mca;

C = Celeridade, m/s;.

Vr = Velocidade de recalque, m/s;

g = Aceleração da gravidade, m^2/s .

3.1.13.4 Sobre pressão máxima

A sobre pressão máxima é a soma da sobre pressão com a altura manométrica (Equação 55). No caso da pressão interna suportada pela tubulação ser muito maior que a sobre pressão máxima, não haverá a necessidade da instalação de um dispositivo anti golpe, caso contrário será necessário.

$$hmáx = h + Hm \quad (55)$$

3.1.14 Cavitação

A cavitação é a formação de bolhas de vapor e posterior implosão das mesmas. Calculamos o NPSHd (Net Positive Suction Head disponível), para compararmos com o NPSHr (Net Positive Suction Head requerido), através da fórmula 56.

$$NPSHd = \pm Hgs - hs + \frac{Patm}{\gamma} - \frac{Pvapor}{\gamma} \quad (56)$$

A cavitação ocorrerá desde que o NPHRr seja maior que o NPSHd.

3.1.15 Potência instalada

O primeiro procedimento é calcular a potência solicitada pela bomba utilizando a equação 57.

$$P_{solic} = \frac{\gamma * Qb * Hm}{75 * n} \quad (57)$$

Onde:

P_{solic} = Potência solicitada, CV;

γ = Peso específico do líquido a ser elevado, kgf/m^3 ;

Q_b = Vazão de bombeamento, m^3/s ;

H_m = Altura manométrica, m;

n = Rendimento do conjunto motor-bomba.

Após o cálculo da potência solicitada pela bomba, acrescentamos a folga baseada na Tabela 4, para assim obtermos a potência que deverá ser instalada (Equação 58).

$$P_{insta} = P_{solic} + Folga \quad (58)$$

Onde:

P_{insta} = Potência instalada, CV;

P_{solic} = Potência solicitada, CV;

Folga = Folga adotada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS DE ENTRADA

Os dados de entrada necessários a serem inseridos pelo usuário para início da execução do programa são:

- Declividade afluente, m/m;
- Diâmetro afluente, mm;
- Cota de soleira afluente, m;
- Produção de esgoto, l/1000 m³;
- Espaçamento entre as barras, mm;
- Espessura das barras, mm;
- Velocidade entre as barras limpas, m/s;
- Concentração de material retido, l/m³;
- Distância até a grade, m;
- Declividade do percurso, %;
- Distância da grade à caixa de areia, m;
- Declividade do percurso, %;
- Distância da caixa de areia à Parshall, m;
- Declividade do percurso, %;
- Distância da Parshall ao poço de sucção, m;
- Declividade do percurso, %;
- Vazão máxima de final de plano, l/s;
- Vazão média de final de plano, l/s;
- Vazão média de início de plano, l/s;
- Vazão mínima de início de plano, l/s;
- Nível de esgoto na câmara de chegada, m;
- Tempo de ciclo, min;
- Formato do poço de sucção, retangular ou circular;
- Largura do poço de sucção, m; (apenas quando for circular)
- Altura útil, m;
- Folga para o poço, m;
- Comprimento de sucção, m;

- Comprimento de recalque, m;
- Rugosidade absoluta, mm;
- Coeficiente de Manning;
- Tipo da tubulação de sucção;
- Tipo da tubulação de recalque;
- Peças da tubulação de sucção;
- Peças da tubulação de recalque;
- Quantidade de peças da tubulação de sucção;
- Quantidade de peças da tubulação de recalque;
- Diâmetro de cada peça da tubulação de sucção;
- Diâmetro de capa peça da tubulação de recalque;
- Altitude local, m;
- Temperatura do líquido, °C;
- NPSH requerido;
- Distância do eixo da bomba à cota de fundo, m;
- Coeficiente de elasticidade;
- Espessura da tubulação, mm;
- Pressão interna máxima, MPa;
- Rendimento do motor, % e
- Rendimento da bomba, %.

Na tela principal do programa (Figura 24), o usuário pode optar por clicar no botão “Ler Dados”. Previamente, o usuário deverá preencher um arquivo tipo texto (.txt) com todos os dados de entrada e posteriormente clicar no botão “Ler Dados” para carregar as informações. Se preferir, o usuário pode Digitar os dados, preenchendo os campos na tela principal.

Os dados que devem ser inseridos individualmente são:

Tipo de sucção e recalque;

Tipo de material das tubulações de sucção e recalque;

Peças das tubulações de sucção e recalque, com suas quantidades e diâmetros;

Altitude local e

Temperatura do líquido.

Na seleção da tubulação de sucção, deve-se escolher o seu tipo, depois selecionar todas as peças existentes, com sua quantidade e seu respectivo diâmetro. O mesmo procedimento deve ser feito para a tubulação de recalque.

4.2 PROCESSAMENTO

As etapas do processamento foram divididas em sub-rotinas, dispostas a seguir:

→ Calha Parshall

- Escolha do medidor Parshall
- Cálculo das alturas da lâmina de água na calha Parshall
- Cálculo do rebaixo “Z”

→ Caixa de areia

- Cálculo das lâminas de água na caixa de areia
- Cálculo do comprimento e largura da caixa de areia
- Verificação da taxa superficial
- Verificação das velocidades
- Cálculo da quantidade de material retido na caixa
- Cálculo da altura da caixa de areia

→ Grade

- Cálculo da área útil para escoamento
- Cálculo da área dos canais das barras
- Cálculo da largura do canal
- Verificação das velocidades
- Cálculo da perda de carga para grade limpa
- Cálculo da perda de carga para grade suja
- Cálculo da quantidade de material retido na grade
- Cálculo do número de barras

→ Cálculo das cotas de soleira

- Cota de soleira no início de canal
- Cota de soleira na grade
- Cota de soleira na entrada/saída da caixa de areia
- Cota de soleira no rebaixo da caixa de areia
- Cota de soleira antes da calha Parshall
- Cota de soleira na garganta da calha Parshall
- Cota de soleira na saída na calha Parshall

- Cota de soleira na entrada no poço de sucção
- Verificação da sobre elevação no interceptor de chegada
- Cálculo da altura da lâmina líquida depois da grade
 - Cálculo no nível da lâmina líquida no interior da tubulação de chegada
 - Cálculo da altura da lâmina líquida antes da grade
 - Cálculo do rebaixão Z'
- Dimensionamento do poço de sucção
- Cálculo da vazão de bombeamento
 - Cálculo do tempo de ciclo
 - Cálculo do volume útil
 - Cálculo das dimensões do poço de sucção
- Dimensionamento das tubulações
- Cálculo do diâmetro de recalque
 - Cálculo da velocidade de recalque
 - Cálculo do diâmetro de sucção
 - Cálculo da velocidade de sucção
- Níveis operacionais
- Cálculo do nível mínimo
 - Cálculo do nível máximo
 - Cálculo da cota de fundo
- Volume efetivo
- Tempo de detenção de esgoto
- Altura manométrica
- Cálculo da perda de carga localizada
 - Cálculo da perda de carga distribuída
 - Cálculo da altura geométrica
- Golpe de aríete
- Cálculo da celeridade
 - Cálculo do período da tubulação
 - Cálculo da sobre pressão
 - Cálculo da sobre pressão máxima
 - Verificação da existência de golpe de aríete
- Verificação da existência de cavitação

- Cálculo do NPSH requerido

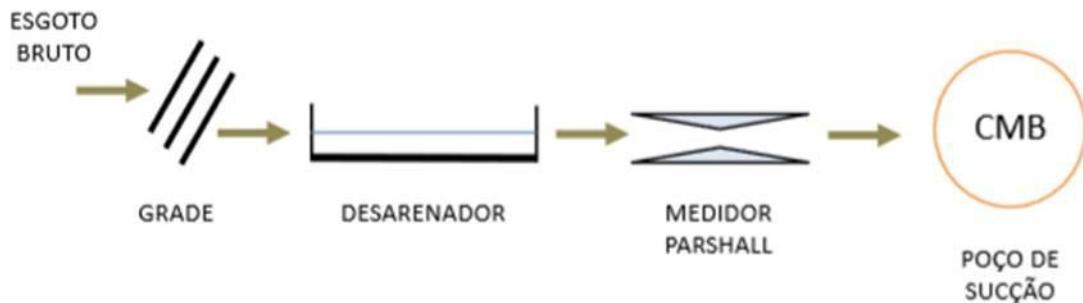
→ Potência

- Cálculo da potência solicitada
- Cálculo da potência instalada

4.3 DADOS DE SAÍDA

Os dados de saída fornecem o dimensionamento da estação elevatória de esgoto, composta por: grade, caixa de areia (desarenador), medidor de vazão (Parshall) e do poço de sucção, conforme ilustrado na figura 23.

Figura 23. Partes constituintes da estação elevatória de esgoto



Fonte: Soares, L.V. (2018). Notas de aula.

Figura 24. Layout do programa (Dados de entrada)

Dados de entrada

Escolha a forma de inserir os dados de entrada

Ler dados Ler dados Digitar dados

Declividade afluente (m/m) = Vazão máxima final (l/s) =
 Diâmetro afluente (mm) = Vazão média final (l/s) =
 Cota soleira afluente (m) = Vazão média inicial (l/s) =
 Produção de esgoto (L/1000m²) = Vazão mínima inicial (l/s) =
 Espaçamento entre as barras (mm) = Nível de esgoto na câmara de chegada (m) =
 Espessura das barras (mm) = Tempo de ciclo (min) =
 Velocidade entre as barras limpas (m/s) =
 Concentração de material retido (L/m³) =
 Distância até grade (m) =
 Declividade do percurso (%) =
 Dist. da grade à caixa de areia (m) =
 Declividade do percurso (%) =
 Distância da caixa de areia à Parshall (m) =
 Declividade do percurso (%) =
 Dist. da Parshall ao poço sucção (m) =
 Declividade do percurso (%) =

Perdas de Carga Localizadas:

Sucção Recalque

Tipo da tubulação

PVC Ferro

Quantidade:
 Diâmetro (mm): Aceita

Formato do poço de sucção

Circular Retangular

Peças selecionadas:

Altura útil (m) =
 Folga para o poço (m) =
 Comprimento de sucção (m) =
 Comprimento de recalque (m) =
 Rugosidade absoluta (mm) =
 Coeficiente de Manning =

Altitude local (m) =
Temperatura do líquido (°C) =
NPSH_r =
Dist bomba ao fundo (H_b) =
Cof de elasticidade =
Espressura do tubo (mm) =
Pressão Inter. MAX. (MPa) =
Rendimento do motor (%) =
Rendimento da bomba (%) =

Calcula

Fonte: Acervo do autor

Figura 25. Layout do programa (Dados de saída)

The screenshot shows the 'Dados de saída' (Output Data) tab of the SLS software. The interface is organized into several sections:

- Medidor Parshall:** Includes fields for H_{\max} (m), $H_{\text{méd}}$ (m), H_{in} (m), and $Rebaixo Z$ (m).
- Caixa de areia:** Includes fields for $\gamma_{\text{máx}}$ (m), $\gamma_{\text{méd}}$ (m), γ_{in} (m), Comprimento (m), Largura (cm), Taxa superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$), Material retido (m^3/dia), and Altura (m).
- Sobre elevação no interceptor de chegada:** Includes fields for Y (m), NA (m), Ym (m), and $Rebaixo Z'$ (m).
- Grade:** Includes fields for Área útil (m^2), Área das barras (m^2), Largura (m), Material retido (L/dia), Número de barras, Número de espaçamentos, Perda de carga limpa, and Perda de carga suja.
- Poço de sucção:** Includes fields for Vazão de bombeamento (l/s), N° de partidas por hora (phh), Volume útil (m^3), and Tempo de ciclo calc (min).
- Tubulações:** Includes fields for Diâmetro de sucção (mm), Diâmetro de recalque (mm), Velocidade de sucção (m/s), and Velocidade de recalque (m/s).
- Níveis operacionais:** Includes fields for Nível máximo (m), Nível mínimo (m), and Cota de fundo (m).
- Cotas de soleiras:** Includes fields for Cota de soleira no inicio do canal (m), Cota de soleira na grade (m), Cota de soleira na entrada/saída da Caixa de Areia (m), Cota de soleira no rebaixo da Caixa de Areia (m), Cota de soleira antes da Calha Parshall (m), Cota de soleira na garganta da Calha Parshall (m), Cota de soleira na saída da Calha Parshall (m), and Cota de soleira na entrada do Poço de Sucção (m).
- Tempos de detenções:** Includes fields for Máximo (min), Médio (min), and Mínimo (min).
- Alturas:** Includes fields for Altura geométrica (m) and Altura manométrica (m).
- Golpe de Arlete:** Includes a single input field.
- Cavitação:** Includes a single input field.
- Potência instalada:** Includes a single input field.

Fonte: Acervo do autor

5. CONCLUSÃO

A linguagem de programação utilizada, Visual Basic, é de fácil entendimento, mesmo para pessoas com pouco ou nenhum conhecimento de informática, por oferecer a possibilidade de criar uma interface com controles intuitivos e ao mesmo tempo programar e testar a funcionalidade e êxito, podendo-se facilmente depurar os erros durante a elaboração do programa.

Os dimensionamentos da estação elevatória de esgoto, pelas duas metodologias, apresentaram resultados bem semelhantes, variando apenas a altura geométrica, pelo fato da tabela de comprimentos equivalentes utilizada pelo programa não apresentar a singularidade ampliação/redução gradual com flange, que foi considerada no cálculo manual. Não interferindo significativamente nos demais resultados.

A utilização do software para dimensionar a EEE, claramente, agiliza o processo e diminui os erros grosseiros, acidentais e sistemáticos que poderiam ocorrer com maior incidência durante o cálculo manual, sendo mais eficaz e, portanto, preferível, o uso do programa computacional.

A elaboração do programa computacional expôs a desenvolvedora a situações que estimularam seu processo criativo, por solicitar a produção de novas ideias e não apenas o uso de ideias já existentes. Incitou a colaboração, trabalho em equipe e discussões para solucionar problemas por meio da criação de novas formas de pensá-lo. E intrinsecamente ligado aos benefícios anteriores, despertou a reflexão, através das repetidas vezes que se pensou em soluções criativas.

O conhecimento assimilado permitiu a percepção das diversas variáveis necessárias para a construção de um algoritmo, bem como o funcionamento do seu escopo, incorporando etapas, sequências e lógicas.

Esse trabalho busca incentivar uma mudança cultural e motivar outros alunos e profissionais a se dedicarem ao conhecimento de linguagens de programação. Dado que sem essa habilidade vastamente aplicável e facilitadora da vida acadêmica e profissional pela automação ágil de processos que requerem repetições exaustivas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12208. **Projeto de estações elevatórias de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209. **Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9649. **Projeto de redes coletooras de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, 1986.

CLARKE, R.; KING, J. **O Atlas da Água: o mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta.** São Paulo: Publifolha, 2005.

COPASA. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/esgotamento-sanitario/ligacao-de-esgoto>. Acesso em: 15/06/2019.

ERMINIA, Maricato. **Metrópole, legislação e desigualdade.** Estud. av., São Paulo , v. 17, n. 48, p. 151-166, 2003.

FUNASA. **Manual de saneamento.** 2015

FUNASA. **Manual de saneamento.** 2019.

GUDWIN, R. R. Notas de aula da disciplina: **Mini e Microcomputadores: Software.** UEC. 1997.

INIGUEZ, L. e OLIVEIRA, S. M. M. C. **Meio Ambiente, Condições de Vida e Saúde no Município de Duque de Caxias – RJ.** Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional (IPPUR)/UFRJ, 1996. Série Estudos e Debates,nº 9.

KELLNER, E. **Introdução aos sistemas de saneamento.**São Carlos: EdUFSCar,2014.

MENDES, L. F. M. **Métodos Clássicos de Protecção de Sistemas Elevatórios Contra o Golpe de Aríete.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Nova Lisboa. Lisboa, p. 119. 2011.

MENDONÇA, S. R. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: Novos conceitos.** João Pessoa, UFPB, 1990. 388p.

NETTO, A. et al. **Manual de hidráulica.** 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA. 1998.

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

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola.** 1.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

PAIVA, R. F. da P. de; SOUZA, M. F. da P. de. **Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil.** Cadernos de Saúde Pública [online]. Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, 2017.

PEREIRA, J. A. R. **Saneamento ambiental em áreas urbanas: esgotamento sanitário na região metropolitana de Belém.** Belém: UFPA, 23-36. 2003.

SARMENTO, F. J. Notas de aula da disciplina: **Programação aplicada à engenharia ambiental.** UFPB. 2018.

SOARES, V. L. Notas de aula da disciplina: **Sistemas de esgoto e drenagem.** UFPB. 2018.

SOBRINHO, P. A.; TSUTIYA, M. T. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário.** 2. ed. São Paulo: Epusp/PHD. 2000.

APÊNDICE

7.1 APLICAÇÃO PRÁTICA COM USO DO EXCEL

→ **Calha Parshall**

Medidor Parshall

Para as vazões abaixo, temos o medidor Parshall $W = 3''$

$$Q_{\text{máx},f} = 16 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{mín},i} = 8 \text{ l/s}$$

Alturas da lâmina de água na calha Parshall

Dados:

$$Q_{\text{máx},f} = 16 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{méd},f} = 12 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{mín},i} = 8 \text{ l/s}$$

$$\lambda = 0,176$$

$$n = 1,547$$

$$H_{\text{máx}} = \left(\frac{Q}{0,176} \right)^{\frac{1}{1,547}}$$

$$H_{\text{máx}} = 0,21 \text{ m}$$

$$H_{\text{méd}} = 0,17 \text{ m}$$

$$H_{\text{mín}} = 0,13 \text{ m}$$

Cálculo do rebaixo “Z”

Dados:

$$Q_{\text{máx},f} = 16 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{mín},i} = 8 \text{ l/s}$$

$$H_{\text{máx}} = 0,21 \text{ m}$$

$$H_{\text{mín}} = 0,13 \text{ m}$$

$$Z = \frac{0,016 * 0,13 - 0,013 * 0,21}{0,016 - 0,013} = 0,06 \text{ m}$$

→ Caixa de areia

Lâmina de água na caixa de areia

Dados:

$$H_{\max} = 0,21 \text{ m}$$

$$H_{\text{med}} = 0,17 \text{ m}$$

$$H_{\min} = 0,13 \text{ m}$$

$$Z = 0,06 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = H_{\max} - Z = 0,21 - 0,06 = 0,16 \text{ m}$$

$$Y_{\text{med}} = H_{\text{med}} - Z = 0,17 - 0,06 = 0,12 \text{ m}$$

$$Y_{\min} = H_{\min} - Z = 0,13 - 0,06 = 0,08 \text{ m}$$

Comprimento da caixa de areia

Dados:

$$Y_{\max} = 0,16 \text{ m}$$

$$L = 25 * Y_{\max} = 25 * 0,16 = 3,89 = 3,90 \text{ m}$$

Largura da caixa de areia

Dados:

$$Q_{\max} = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Y_{\max} = 0,16 \text{ m}$$

$$B = \frac{Q_{\max}}{(0,3 * Y_{\max})} = \frac{0,016}{0,3 * 0,16} = 0,35 \text{ m}$$

Verificação da Taxa Superficial

Dados:

$Q_{\max} = 16 \text{ l/s}$

$L = 3,90 \text{ m}$

$B = 0,35 \text{ m}$

$$T_s = \frac{Q_{\max} * 86,4}{L * B} = 1034 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia} \text{ OK!}$$

Verificação das velocidades

Dados:

$B = 0,35 \text{ m}$

$Y_{\max} = 0,16 \text{ m}$

$Y_{\text{med}} = 0,12 \text{ m}$

$Y_{\min} = 0,08 \text{ m}$

$Q_{\max} = 16 \text{ l/s}$

$Q_{\text{med}} = 12 \text{ l/s}$

$Q_{\min} = 8 \text{ l/s}$

| | Y | $S = Y \cdot B$ | $v = Q/S$ | |
|-----|--------|-------------------|-----------|-----|
| máx | 0,16 m | 0,05 m^2 | 0,3 m/s | OK! |
| med | 0,12 m | 0,04 m^2 | 0,29 m/s | OK! |
| mín | 0,08 m | 0,03 m^2 | 0,3 m/s | OK! |

Quantidade de material retido na caixa de areia

Dados:

$Q_{\text{med,f}} = 12 \text{ l/s}$

$P = 40 \text{ L/1000 m}^3$

$$MR = 12 \frac{l}{s} * \frac{40}{1000} * \frac{1}{1000} * \frac{1}{1000} * 86400 = 0,041 \text{ m}^3 \text{ de SS/d}$$

Altura do depósito de areia

Dados:

Tempo de limpeza = 15 dias

MR = 0,041 m³ de SS/d

$$Vda = MR * TempoLimpeza = 0,041 * 15 = 0,6m^3$$

L = 3,90 m

B = 0,35

$$H_{DA} = \frac{V_{DA}}{L * B} = \frac{0,6}{3,9 * 0,35} = 0,45 \text{ m}$$

→ Grade de limpeza manual

Escolha da grade

Grade do tipo média com seção transversal retangular de dimensões 10 x 25 mm.

Área útil para escoamento

Dados:

Qmáx,f = 16 l/s

V_G = 0,8 m/s

$$A_u = \frac{Q_{máx} * 1000}{Vg} = \frac{16/1000}{0,8} = 0,02 \text{ m}^2$$

Área dos canais das barras

Dados:

a = 25 mm

t = 10 mm

A_u = 0,02 m²

E = 0,73

$$E = \frac{a}{a + t} = \frac{25}{25 + 10} = 0,73 * 100 = 73\%$$

$$S = \frac{Au}{E} = \frac{0,02}{0,73} = 0,028 \text{ m}^2$$

Largura do canal

A largura do canal da fase de gradeamento é obtida através de:

Dados:

$$S = 0,029 \text{ m}^2$$

$$Y_{\max} = 0,16 \text{ m}$$

$$b = \frac{S}{Y_{\max}} = \frac{0,029}{0,16} = 0,18 \text{ m}$$

Adotar $b = 0,35 \text{ m}$ para que as velocidades sejam compatíveis com o intervalo permitido. A verificação das velocidades encontra-se na tabela abaixo. As velocidades devem ser $v = 0,40 \pm 20\% \text{ m/s}$.

Verificação das velocidades entre as barras

Tabela 2. Verificação das velocidades

| | Y | S = Y. b | Au = S.E | v = Q/Au |
|------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| máx | 0.16 | 0.054 | 0,040 | 0.41 |
| méd | 0.12 | 0.044 | 0,029 | 0.40 |
| mín | 0.08 | 0.026 | 0,019 | 0.41 |

→ Avaliação das perdas de carga e cotas

Grade limpa

Dados:

$$v = 0,41 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$E = 0,73$$

$$hf = 1,43 * \frac{(v^2 - (E * v))}{2 * g} = 1,43 * \frac{(0,41^2 - (0,73 * 0,41))}{2 * 9,81} = 0,01 \text{ m}$$

Grade suja

$$v = 0,41 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$E = 0,73$$

$$hfc_{calc} = 1,43 * \frac{((2 * v)^2 - (E * v))}{2 * g} = 1,43 * \frac{((2 * 0,41)^2 - (0,73 * 0,41))}{2 * 9,81} = 0,04 \text{ m}$$

Adota-se $hfc_{calc} = 0,15$ que é o valor mínimo para perda de carga na grade suja.

Quantidade de material retido na grade

Dados:

$$Q_{med} = 10 \text{ l/s}$$

$$CMR = 0,012 \text{ l/m}^3$$

$$MR_G = Q_{med} * CMR * 86,4 = 10 * 0,012 * 86,4 = 12 \text{ l/dia}$$

Devido à grade escolhida ter abertura de 3,5 cm, o seu CMR é $0,012 \text{ l/m}^3$ e em razão disso também, $MR_G = 12 \text{ l/dia}$.

Número de barras

Dados:

$$b = 0,35 \text{ m}$$

$$a = 25 \text{ mm}$$

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

$$Ne = Nb + 1$$

$$b = a * Ne + t * Nb = a * (Nb + 1) + t * Nb$$

$$Nb = 10 \text{ unid}$$

$$Ne = 10 + 1 = 11 \text{ unid}$$

Verificação da sobre elevação no interceptor de chegada

Dados:

$$Q_{\max} = 16 \text{ l/s}$$

$$I = 0,0017 \text{ m/s}$$

$$DN = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Cota de soleira} = 80,821 \text{ m}$$

$$hfs = 0,15 \text{ m}$$

$$Y_{\max} = 0,16 \text{ m}$$

$$\frac{Q}{(I)^{\frac{1}{2}}} = \frac{16/1000}{0,0017^{1/2}} = 0,3933$$

Verificar na tabela: $Y/D = 0,60$

$$Y = \frac{Y}{D} * DN = 0,60 * 0,25 = 0,15 \text{ m}$$

$$NA = Y + \text{Cota de soleira} = 0,15 + 80,821 = 80,971 \text{ m}$$

$$Ym = hfs + Y_{\max} = 0,15 + 0,16 = 0,31 \text{ m}$$

$$Z' = Ym - Y = 0,31 - 0,15 = 0,16 \text{ m}$$

Níveis

Cota de soleira no tubo de entrada do canal = 80,821 m

Rebaixo Z' = 0,20 m

Cota de soleira no inicio do canal = **80,621 m**

Distância até a grade ($\geq 1 \text{ m}$) = 1 m

| | |
|---|-----------------|
| Declividade (0 a 2%) = | 1% |
| dy = | 0,01 m |
| Cota de soleira na grade = | 80,611 m |
| Distância da grade até a Caixa de Areia ($\geq 1m$) = | 1 m |
| Declividade (0 a 2%) = | 1% |
| dy = | 0,01 m |
| Cota de soleira na entrada/saída da Caixa de Areia = | 80,601 m |
| Rebaixo da Caixa de Areia = | 0,45 m |
| Cota de soleira no rebaixo na Caixa de Areia = | 80,151 m |
| Distância entre a Caixa de Areia e a Calha Parshall ($\geq 1m$) = | 1 m |
| Declividade (0 a 2%) = | 1% |
| dy = | 0,01 |
| Rebaixo Z = | 0,059 m |
| Cota de soleira antes da Calha Parshall= | 80,533 m |
| N = | 0,057 m |
| Cota de soleira na garganta da Calha Parshall = | 80,476 m |
| K = | 0,025 m |
| Cota de soleira na saida da Calha Parshal = | 80,508 m |
| Distância entre Calha Parshall e Poço de Sucção ($\geq 2m$) = | 2 m |
| Declividade (0 a 2%) = | 1% |
| dy = | 0,02 m |
| Cota de soleira na entrada do Poço de Sucção = | 80,488 m |

→ **Poço de sucção**

Vazão de bombeamento

Dados:

$Q_{\text{máx}} = 16 \text{ l/s}$

$$Q_b \approx 1,2 * Q_{\text{máx}} = 1,2 * 16 = 19,5 \text{ l/s}$$

Sendo assim, adotou-se uma $Q_b = 19,5 \text{ l/s}$.

Tempo de ciclo

Dados:

$T_c = 10 \text{ min}$ (adotado)

Com o valor do tempo de ciclo, calcula-se o número de partidas por hora:

$$N = \frac{60}{T_c} = \frac{60}{10} = 6 \text{pph}$$

Volume útil

Dados:

$Q_b = 19,5 \text{ l/s}$

$T_c = 10 \text{ min}$

$$V_{u, \text{mín}} = \frac{Q_b * T_c * 60/1000}{4} = \frac{19,5 * 10 * 60/1000}{4} = 2,92 \text{ m}^3$$

O valor obtido foi de $2,92 \text{ m}^3$, e adotamos 3 m^3 .

Ao fazer o arredondamento, recalculamos o tempo de ciclo obtendo $T_c' = 10,26$ minutos.

$$T_c' = \frac{T_c * V_{u'}}{V_u} = \frac{10 * 3}{2,92} = 10,26 \text{ min}$$

O poço de sucção utilizado possui formato circular.

A altura útil adotada foi de $0,80\text{m}$. Que está dentro da faixa permitida de $0,6$ a $1,5\text{m}$ entre os níveis mínimo e máximo.

A área da base:

$$A_b = \frac{V_{u'}}{h_u} = \frac{3}{0,8} = 3,75 \text{ m}^2$$

E através da área calculada, obtivemos o diâmetro do poço, reordenando a equação da área e isolando o diâmetro.

$$D = \sqrt{4 * A_b / \pi} = \sqrt{4 * 3,75 / \pi} = 2,19 \text{ m}$$

→ Dimensionamento das tubulações

Como a bomba utilizada é submersa, não possui tubulação de sucção.

Dados:

$$Q_b = 0,0195 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$K = 1,2 \text{ (adotado)}$$

$$Dr = 1,2 * (0,0195)^{0,5} = 0,168m$$

$$V_r = \frac{Qb}{\pi * Dr^2 / 4} = \frac{0,0195}{\pi * 0,150^2 / 4} = 1,10m/s$$

Verificamos então para o diâmetro de 150 mm e de 200 mm, sendo o de 150 mm escolhido por apresentar velocidade de 1,10m/s. E o diâmetro de 200 mm, por oferecer uma velocidade de 0,62m/s, foi descartado.

O diâmetro de succão foi 200mm, com velocidade de 0,62 m/s.

→ Níveis operacionais

Dados:

$$Folga = 0,5m \text{ (adotado)}$$

$$Altura útil = 0,8 m \text{ (adotado)}$$

$$Cota de chegada ao poço = 80,488 m$$

$$D_s = 200 \text{ mm}$$

Com isso calculamos o nível máximo, o nível mínimo e a cota de fundo.

$$N_{máx} = Cota de chegada ao poço - folga = 80,488 - 0,5 = 79,988 m$$

$$N_{mín} = N_{máx} - altura útil = 79,988 - 0,8 = 79,188 m$$

$$CF = N_{mín} - (4 * D_s) = 79,188 - (4 * 0,2) = 78,388 m$$

Para os cálculos dos níveis operacionais não existem fórmulas fixas e únicas, existem diversas fórmulas possíveis.

→ Volume efetivo

Dados:

$$N_{\max} = 79,896 \text{ m}$$

$$h_u = 0,8 \text{ m}$$

$$CF = 78,296 \text{ m}$$

$$Ab = 3,75 \text{ m}^2$$

$$he = N_{\max} - \frac{h_u}{2} - CF = 79,896 - 0,4 - 78,296 = 1,2 \text{ m}$$

E com isso, calculamos o volume efetivo.

$$Ve = Ab * h_u = 3,75 * 0,8 = 4,5 \text{ m}^3$$

→ **Tempo de detenção de esgoto**

Dados:

$$Q_{\max} = 16 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{med},i} = 10 \text{ l/s}$$

$$Q_{\min} = 8 \text{ l/s}$$

Para vazão média inicial

$$T_{dm\text{éd}} = \frac{Ve}{Q_{\text{med},i} * 60/1000} = \frac{4,5}{10 * \frac{60}{1000}} = 7,55 \text{ min}$$

(Está ok, segundo a norma)

Para vazão mínima

$$T_{dm\text{ín}} = \frac{Ve}{Q_{\min,i} * 60/1000} = \frac{4,5}{8 * \frac{60}{1000}} = 9,54 \text{ min}$$

Para vazão máxima

$$T_{dm\text{áx}} = \frac{Ve}{Q_{\max,i} * 60/1000} = \frac{4,5}{16 * \frac{60}{1000}} = 4,62 \text{ min}$$

→ **Altura manométrica**

Perda de carga localizada

Foram calculados os comprimentos equivalentes, tabela 4, multiplicando f, QUANT. e xD.

Tabela 4. Perda de carga localizada

| ITEM | f (mm) | Quant. | xD | Leq |
|---|--------|--------|-----|-------|
| Entrada De Tubulação | 80 | 1 | 35 | 2,80 |
| CURVA 90º | 80 | 1 | 21 | 1,68 |
| Ampliação/Redução Gradual Com Flange | 100 | 1 | 12 | 1,20 |
| Ampliação/Redução Gradual Com Flange | 150 | 1 | 12 | 1,80 |
| CURVA 90º | 150 | 1 | 21 | 3,15 |
| Válvula De Retenção | 150 | 1 | 100 | 15,00 |
| Registro De Gaveta | 150 | 1 | 8 | 1,20 |
| Tê De Passagem Direta | 150 | 1 | 20 | 3,00 |
| Tê De Passagem Lateral | 150 | 1 | 50 | 7,50 |
| Saída De Tubulação | 150 | 1 | 32 | 4,80 |

O somatório dos comprimentos equivalentes às peças foi igual a 42,13 metros.

Perda de carga distribuída

Para calcular a perda de carga distribuída, utilizamos a fórmula de Hazen-Williams.

Dados:

$$L_{real} = 240,11 \text{ m}$$

$$Leq = 42,13$$

$$C = 130 \text{ (ferro fundido)}$$

$$Qb = 0,0195 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Dr = 0,150 \text{ m}$$

$$Lv = L_{real} + Leq = 240,11 + 42,13 = 282,24 \text{ m}$$

$$hfd = \frac{10,641 * Lv * Qb^{1,85}}{C^{1,85} * D^{4,87}} = \frac{10,641 * 282,24 * 0,0195^{1,85}}{130^{1,85} * 0,150^{4,87}} = 2,60 \text{ m}$$

Altura geométrica

Dados:

$$N_{cheg} = 100,10 \text{ m}$$

$$N_{mín} = 79,188 \text{ m}$$

$$h_{fd} = 2,60 \text{ m}$$

$$H_g = N_{cheg} - N_{mín} = 100,10 - 79,188 = 20,912 \text{ m}$$

Por fim obtivemos a altura manométrica, somando a altura geométrica com a perda de carga total.

$$H_m = H_g + h_{fd} = 23,516 \text{ m}$$

→ Seleção da bomba

A seleção foi feita através do software Pumpsel. Que forneceu o Modelo KRT E80-251, ao inserirmos os dados subsequentes.

Dados da bomba

| APLICAÇÃO | Tratamento de efluentes | |
|---------------|-------------------------|------|
| MODELO | KRT E80-251 | |
| LÍQUIDO | Esgoto pré-gradeado | |
| COMBINAÇÃO DE | 0 | |
| MATERIAIS | | |
| DENSIDADE | 1 | |
| VISCOSIDADE | 0,893 | cSt |
| FREQUÊNCIA | 60 | Hz |
| ROTAÇÃO | 1750 | Crpm |
| ROTOR | 255 | Mm |
| Dr | 80 | Mm |
| Ds | 100 | Mm |
| NPSHr | 0,5 | M |
| nb | 0,65 | |

→ Golpe de aríete

Celeridade

Os valores de “ $Kel = 1$ ”, “ $e = 6,3 \text{ mm}$ ” e “ $D = 150 \text{ mm}$ ”, foram obtidos no catálogo da bomba.

$$C = \frac{9900}{48,3 + \frac{Kel * Dr}{e}} = \frac{9900}{48,3 + \frac{1 * 150}{6,3}} = 1166 \text{ m/s}$$

Período da tubulação

Dados:

$$Lr = 240,11 \text{ m}$$

$$C = 1166 \text{ m/s}$$

$$T = \frac{2 * Lr}{C} = \frac{2 * 240,11}{1166} = 0,41 \text{ s}$$

Sobre pressão

Dados:

$$C = 1166 \text{ m/s}$$

$$Vr = 1,10 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h = \frac{C * Vr}{g} = \frac{1166 * 1,10}{9,81} = 131 \text{ mca}$$

Sobre pressão máxima

Dados:

$$Hm = 23,608 \text{ m}$$

$$h = 131 \text{ mca}$$

$$h_{\text{máx}} = Hm + h = 23,608 + 131 = 155 \text{ mca}$$

Com o cálculo da sobre pressão máxima, analisamos se a mesma é maior ou não, que a pressão interna suportada pelo tubo de ferro fundido. Segundo o catálogo da Saint Globain, para o DN de 150mm, a P_{Imáx} é de 450 mca. Portanto, como a pressão interna suportada pela tubulação é muito maior que a sobre pressão máxima, não há a necessidade da instalação de um dispositivo antigolpe.

→ **Cavitação**

$$CF = 78,388 \text{ m}$$

$$Hb = 0,5 \text{ m}$$

$$Nmín = 79,188 \text{ m}$$

$$Pvapor/\gamma = 0,322 \text{ mca}$$

$$Patm/\gamma = 10,33 \text{ mca}$$

$$Nbomba = CF + Hb = 78,388 + 0,5 = 78,888 \text{ m}$$

$$Hgs = Nmín - Nbomba = 79,188 - 78,888 = 0,3 \text{ m}$$

A altura geométrica foi positiva e a perda de carga na sucção foi nula, pois a bomba é submersa.

$$NPSHd = Hgs - hfs + \frac{Patm}{\gamma} - \frac{Pvapor}{\gamma} = 0,3 - 0 + 10,33 - 0,322 = 10,308 \text{ m}$$

O NPSHd foi de 10,308 m, e o requerido, segundo o catálogo foi de 0,5m. Sendo o NPHRd > NPSHr, não haverá cavitação.

→ **Potência instalada**

A eficiência do CMB (Conjunto motor bomba) é disponível no catálogo, e foi de 65%.

Dados:

$$Qb = 0,0195 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3$$

$$n \text{ (eficiência do conjunto motor-bomba)} = 65\%$$

$$H_m = 23,516 \text{ m}$$

$$P_{solicitada} = \frac{\gamma * Q_b * H_m}{75 * n} = \frac{1000 * 0,0195 * 23,516}{75 * 0,65} = 9 \text{ CV}$$

Acrescentamos 20% para obtermos a potência instalada no valor de 11 HP.

7.2 APLICAÇÃO PRÁTICA COM USO DO PROGRAMA

Utilizando os mesmos dados de entrada do exemplo manual acima, aplicou-se ao programa SLS para dar início ao dimensionamento da estação elevatória de esgoto. Os dados foram digitados em um arquivo de texto do tipo .txt (Figura 24) com o cuidado de usar ponto para separar as casas decimais e vírgula para distinguir um dado de outro, logo após foram carregados no programa ao clicar no botão Ler Dados, procurar o arquivo criado e selecioná-lo.

Depois escolheu-se o formato do poço de sucção circular, selecionou-se a tubulação de recalque do tipo Ferro, e escolheu-se todas as peças presentes com suas quantidades e seus respectivos diâmetros. A cada peça escolhida deve-se apertar o botão Aceita, para que essa seja incorporada ao programa e, para um melhor controle do projetista, todas as peças escolhidas aparecem na caixa intitulada Peças selecionadas.

Não trabalhamos com a tubulação de sucção porque a bomba escolhida foi do tipo submersa. Após, inseriu-se a altitude local e a temperatura do líquido e por fim clica no botão Calcula (figura 25), onde todos os cálculos serão feitos rapidamente e a tela irá mudar automaticamente para a aba Resultados.

Figura 26. Dados de entrada do exemplo

```

DadosEntrada - Bloco de Notas
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda
0.001706,250,88.82,40,25,10,0.8,0.012
1,1
1,1
1,1
2,1
16.244174,11.784177,9.931258,7.857969
100.1,10,3.75,0.8,0.5,0,240.11,0.1,0.013
0.5,0.65,1,6.3,4.3,100,65

```

Fonte: Acervo do autor

Figura 27. Layout dados de entrada - exemplo

Dados de entrada

Escolha a forma de inserir os dados de entrada

- Ler dados
- Ler dados
- Digitar dados

Perdas de Carga Localizadas:

- Sucção
- Recalque

Tipo da tubulação:

- PVC
- Ferro

Quantidade: 1

Altitude local (m): 0

Temperatura do líquido (°C): 25

NPSHr: 0.5

Dist. bomba ao fundo (Hb): 0.65

Coef de elasticidade: 1

Espessura do tubo (mm): 6.3

Pressão Inter. MAX. (MPa): 4.3

Rendimento do motor (%): 100

Rendimento da bomba (%): 65

Formato do poço de sucção:

- Circular
- Retangular

Peças selecionadas:

- 1 Entrada Normal com diâmetro de 75
- 1 Curva de 90° (raio longo) com diâmetro de 75
- 1 Curva de 90° (raio longo) com diâmetro de 150
- 1 Válvula de Retenção Leve com diâmetro de 150
- 1 Registro de Gaveta Aberto com diâmetro de 150
- 1 Té de 90° Passagem Direta com diâmetro de 150
- 1 Té de 90° Saída Lateral com diâmetro de 150
- 1 Saída de Canalização com diâmetro de 150

Calcula

Fonte: Acervo do autor

Figura 28. Layout resultados - exemplo

SLS - Sewage Lifting Station

Dados de entrada Resultados

| | | | | |
|---|--|-------------------------------------|---|--|
| Medidor Parshall | Grade | Tubulações | Cotas de soleiras | |
| H _{máx} (m) = 0.21 | Área útil (m ²) = 0.02 | Diâmetro de sucção (mm) = 200 | Cota de soleira no inicio do canal (m) = 80,621 | |
| H _{méd} (m) = 0.17 | Área das barras (m ²) = 0.03 | Diâmetro de recalque (mm) = 150 | Cota de soleira na grade (m) = 80,611 | |
| H _{m in} (m) = 0.13 | Largura (m) = 0.35 | Velocidade de sucção (m/s) = 0,62 | Cota de soleira na entrada/saída da Caixa de Areia (m) = 80,601 | |
| Rebaixão Z (m) = 0.06 | Material retido (L/dia) = 12 | Velocidade de recalque (m/s) = 1,10 | Cota de soleira no rebaixão na Caixa de Areia (m) = 80,151 | |
| Caixa de areia | | | | |
| Y _{máx} (m) = 0,16 | Número de espaçamentos = 9 | Nível operacionais | Cota de soleira antes da Calha Parshall (m) = 80,532 | |
| Y _{méd} (m) = 0,12 | Número de espaçamentos = 10 | Nível máximo (m) = 79,99 | Cota de soleira na garganta da Calha Parshall (m) = 80,475 | |
| Y _{m in} (m) = 0,08 | Perda de carga limpa = 0,01 | Nível mínimo (m) = 79,19 | Cota de soleira na saída da Calha Parshall (m) = 80,507 | |
| Comprimento (m) = 3,9 | Perda de carga suja = 0,15 | Cota de fundo (m) = 78,39 | Cota de soleira na entrada do Poço de Sucção (m) = 80,487 | |
| Largura (cm) = 0,35 | | | | |
| Taxa superficial (m ³ /m ² /dia) = 1034 | | | | |
| Material retido (m ³ /dia) = 0,041 | | | | |
| Altura (m) = 0,45 | | | | |
| Poço de sucção | | | | |
| Y (m) = 0,15 | Vazão de bombeamento (l/s) = 19,49 | Tempos de detenções | Golpe de Ariete | |
| NA (m) = 80,97 | Nº de partidas por hora (pph) = 6 | Máximo (min) = 4,62 | Não haverá Golpe de Ariete. | |
| Y _m (m) = 0,31 | Volume útil (m ³) = 3,00 | Médio (min) = 7,55 | | |
| Rebaixão Z' (m) = 0,20 | Tempo de ciclo calc (min) = 10,26 | Mínimo (min) = 9,54 | Não haverá cavitação. | |
| Sobre elevação no interceptor de chegada | | | | |
| Área da base (m ²) = 3,75 | Alturas | | | |
| Diâmetro (mm) = 2,19 | Altura geométrica (m) = 20,91 | Potência instalada | | |
| Altura efetiva (m) = 1,20 | Altura manométrica (m) = 23,19 | 11 | | |
| Volume efetivo (m ³) = 4,50 | | | | |

Fonte: Acervo do autor