

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE DO REGIME TRANSITÓRIO DE UMA LINHA DE RECALQUE
HIDROSSANITÁRIO

por

Maicon Dione Klein

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, agosto de 2024

Klein, Maicon Dione
ANÁLISE DO REGIME TRANSITÓRIO DE UMA LINHA DE
RECALQUE HIDROSSANITÁRIO / Maicon Dione Klein. --
2024.
15 f.
Orientadora: Sergio Viçosa Möller.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2024.

1. Transiente hidráulico. 2. Linha de recalque. 3.
Saneamento Básico. I. Möller, Sergio Viçosa, orient.
II. Título.

Maicon Dione Klein

ANÁLISE DO REGIME TRANSITÓRIO DE UMA LINHA DE RECALQUE
HIDROSSANITÁRIO

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Ignacio Iturrioz
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte

Orientador: Prof. Sergio Viçosa Möller

Comissão de Avaliação:

Prof. Sergio Viçosa Möller (Presidente)

Prof^a. Adriane Prisco Petry

Prof. Darci Barnech Campani

Prof. Diogo Elias da Vinha Andrade

Porto Alegre, agosto de 2024

Dedico este trabalho a minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Minha mãe, Leci, por seu cuidado e dedicação que me deram esperança para seguir. Meu pai, Tarcísio, cuja presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada. Aos meus irmãos pelo companheirismo e a minha esposa Aline, pessoa com quem amo partilhar a vida.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Sergio Viçosa Möller, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho e à UFRGS que me acolheu, desafiou e transformou, não apenas em um profissional qualificado, mas em uma pessoa melhor e mais completa.

Agradeço à empresa TSA -Tecnologia em Saneamento Ambiental, pelo fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

*Grandes realizações são possíveis
quando se dá importância
aos pequenos começos.*

Lao-Tsé

Klein, Maicon Dione. **Análise do Regime Transitório de uma Linha de Recalque Hidrossanitário**. 2024. 19 páginas. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

RESUMO

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, em 2022 no Brasil apenas 52,2% do esgoto gerado é tratado e no estado do Rio Grande do Sul a situação é mais grave, onde duas cidades do estado estão no rank dos 20 municípios com menor percentual de esgoto tratado. O sistema que direciona o esgoto que chega da rede coletora em um local de baixa elevação e transporta para um local mais elevado é composto por uma estação Elevatória de Esgoto Bruto e uma Linha de Recalque, sendo esta última objeto de estudo deste trabalho. Após análise e tratamento dos dados, foram escolhidos meios para suprimir a instabilidade do transiente hidráulico, eliminando as zonas de subpressão na LRC, que são mais críticas do que as zonas de sobrepressão, e os meios utilizados foram a válvula ventosa em conjunto com a válvula de retenção horizontal. Mitigar o regime transitório de uma linha de recalque perante a parada súbita de uma bomba é fundamental para a integridade e vida útil da tubulação. Não existe uma receita que, se seguida à risca, irá resultar em um transiente hidráulico estável. Cada transiente a ser resolvido possui características próprias com uma solução específica.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento Básico, Linha de recalque, Transiente hidráulico

Klein, Maicon Dione. **Analysis of the Transitional Regime of a Sanitary Sewage Discharge Line**. 2024. 19 pages. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

ABSTRACT

According to the National Sanitation Information System, in 2022 in Brazil only 52.2% of the sewage generated is treated and in the state of Rio Grande do Sul the situation is more serious, where two cities in the state are ranked among the 20 municipalities with the lowest percentage of treated sewage. The system that directs the sewage that arrives from the collection network in a low elevation location and transports it to a higher location consists of a Raw Sewage Pumping Station and a Discharge Line, the object of study of this work. After analyzing and processing the data, means were chosen that will suppress the instability of the hydraulic transient, eliminating the underpressure zones in the LRC, which are more critical than the overpressure zones, and the means used were the air valve in conjunction with the horizontal check valve. Mitigating the transient regime of a discharge line when a pump suddenly stops is essential for the integrity and useful life of the pipeline. There is no recipe that, if followed exactly, will result in a stable hydraulic transient. Each transient regime to be solved has its own characteristics with its particular solution.

KEYWORDS: Basic Sanitation, Discharge Line, Hydraulic Transient

NOMENCLATURA

Símbolos

$AMT_{máx}$	Altura manométrica total máxima	[m]
A_{rec}	Área da seção transversal do tubo do recalque	[m ²]
A_{bar}	Área da seção transversal do tubo do barrilete	[m ²]
C	Coefficiente de perda de carga	
C_{rec}	Coefficiente de perda de carga do recalque	
C_{bar}	Coefficiente de perda de carga do barrilete	
D	Diâmetro da tubulação	[m]
DN	Diâmetro nominal da tubulação	[mm]
DI_{rec}	Diâmetro interno da tubulação do recalque	[m]
DI_{bar}	Diâmetro interno da tubulação do barrilete	[m]
g	Aceleração da gravidade	[m/s ²]
h_g	Desnível geométrico	[m]
h_l	Perda de carga linear	[m]
h_{lrec}	Perda de carga linear do recalque	[m]
h_{lbar}	Perda de carga linear do barrilete	[m]
h_s	Perda de carga singular	[m]
h_{srec}	Perda de carga singular do recalque	[m]
h_{sbar}	Perda de carga singular do barrilete	[m]
K	Coefficiente de Bresse	
k	somatório dos coeficientes de perda de carga	
k_{rec}	somatório dos coeficientes de perda de carga do recalque	
k_{bar}	somatório dos coeficientes de perda de carga do barrilete	
L	Extensão total	[m]
L_{rec}	Extensão total do recalque	[m]
L_{bar}	Extensão total do barrilete	[m]
POT	Potência da bomba	[CV]
Q	Vazão máxima de final de plano	[m ³ /s]
Q_b	Vazão da bomba	[m ³ /s]
V_{rec}	Velocidade do recalque	[m/s]
V_{bar}	Velocidade do barrilete	[m/s]

Abreviaturas e acrônimos

LRC	Linha de recalque
AMT	Altura manométrica total
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
EEB	Elevatória de Esgoto Bruto
PV	Poço de visita
RHO	Reservatório Hidropneumático

SUMÁRIO

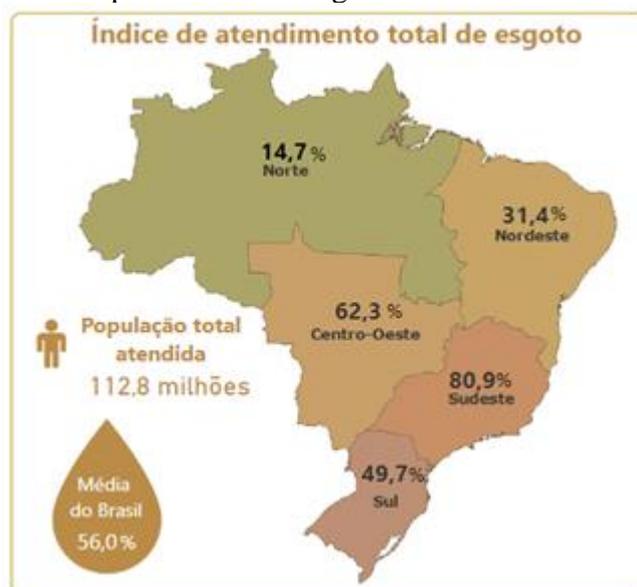
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	2
4. CASO DE ESTUDO.....	6
4.1 Obtenção dos dados iniciais.....	6
4.2 Traçado da linha de recalque.....	7
4.3 Configuração do <i>Software Hammer</i>	7
4.3.1 Etapa 1.....	8
4.3.2 Etapa 2.....	8
4.3.3 Etapa 3.....	8
5. RESULTADOS.....	9
5.1 Dados iniciais.....	9
5.2 Resultados <i>Software Hammer</i>	11
5.2.1 Viamão.....	11
5.2.2 Xangri-lá.....	12
6. CONCLUSÃO.....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
ANEXO – MAPAS DE LOCALIZAÇÃO DAS LRC.....	18
APÊNDICE – GRÁFICOS LINHA PIEZOMÉTRICA E PERFIL LRC.....	19

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei nº 11.445, considera-se o saneamento básico o conjunto de serviços públicos, infraestrutura e instalações operacionais que promovem o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, o manejo e limpeza de resíduos sólidos e a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Brasil, 2007). A ampliação dos serviços de saneamento básico é de grande importância para o desenvolvimento do nosso país. Através do desenvolvimento tecnológico desse setor é possível promover uma melhor qualidade de vida aos brasileiros, além da preservação e conservação da fauna e flora do país.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2010 apenas 37,8% do esgoto gerado era tratado. Em 2022 houve um aumento das residências atendidas pelo sistema de coleta, onde 52,2% do esgoto gerado no país passou a ser tratado. Apesar do aumento dos investimentos no setor, na Figura 1 pode-se observar a disparidade do país, onde as regiões mais industrializadas possuem um maior percentual de esgoto tratado (Ministério das Cidades, 2022).

Figura 1- índice de residências atendidas por algum tipo de sistema de coleta de esgoto no país e em cada região em 2022.



Fonte: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>.

No Rio Grande do Sul, duas cidades, pertencentes a região metropolitana de Porto Alegre, estão no rank dos 20 municípios com menor percentual da população atendida por redes de esgoto, sendo eles Gravataí, na 12ª posição com 38,17%, e Canoas, na 17ª posição com 46,66% (Senado Federal, 2022).

Com o marco do saneamento básico, lei 14026/2020, abrem-se novas oportunidades para os engenheiros mecânicos projetistas, pois haverá um aumento na demanda de análise de transientes hidráulicos de linhas de recalque hidrossanitários (Brasil, 2020).

2. OBJETIVOS

Este trabalho fará uma análise do regime transitório de duas Linhas de Recalque (LRC) que serão implantadas nas cidades de Viamão, situada na região metropolitana de Porto Alegre, e Xangri-lá, no litoral norte do Rio Grande do Sul. Os projetos são de autoria da empresa TSA - Tecnologia em Saneamento Ambiental com sede na cidade de Porto Alegre. O trabalho irá focar, principalmente, no estudo da ocorrência e mitigação do “golpe de aríete”, quando circunstâncias como o fechamento súbito de uma válvula ou a parada súbita de uma bomba produzem efeitos dinâmicos extremamente sérios, caracterizados por aumento de pressão a montante, produzindo uma onda de pressão que se propaga em direção à montante com velocidade igual à velocidade do som e súbita queda de pressão à jusante, produzindo uma onda de baixa pressão que se propaga naquela direção na velocidade do som. Esse fenômeno, extremamente severo, pode levar ao colapso da tubulação (Mcintyre, 1983).

Essas LRC foram escolhidas devido às suas características, que são uma linha de grande extensão e baixo desnível geométrico (Hg) e outra de extensão moderada e um alto Hg. Através do estudo dessas linhas será possível demonstrar o comportamento do transiente hidráulico para essas duas situações distintas.

O objetivo do trabalho é demonstrar de modo prático o comportamento do regime transitório das linhas de recalque analisadas. No primeiro momento, serão feitos os cálculos de forma analítica para obter um resultado prévio das características do recalque. E após isso, no segundo momento, será feita a simulação que fornecerá o comportamento do regime transitório. A análise apresentada visa garantir o bom funcionamento e, assim, a vida útil do sistema.

3. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Segundo Sobrinho e Tsutiya (2000), em Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário, o sistema de esgoto é constituído pelas seguintes partes:

- **Rede coletora**, formada por um conjunto de canalizações destinadas a receber os esgotos dos edifícios, composta de coletores secundários, que recebem diretamente as ligações prediais, e coletores troncos, que são os coletores principais de uma bacia de drenagem e seus efluentes a um interceptor ou emissário.
- **Interceptor**, canalização destinada a receber coletores ao longo de seu comprimento e não recebe ligações prediais diretas.
- **Emissário**, canalização destinada a conduzir os esgotos a um destino conveniente como estações de tratamento (ETE), sem receber contribuições ao longo da tubulação.
- **Sifão invertido**, obra destinada à transposição de obstáculos pela tubulação de esgoto, funcionando sob pressão.
- **Corpo de água receptor**, onde são lançados os esgotos.
- **Estação elevatória**, conjunto de instalações destinadas a transferir os esgotos de uma cota mais baixa para outra mais elevada.
- **Estação de tratamento**, conjunto de instalações destinadas ao tratamento de esgoto.

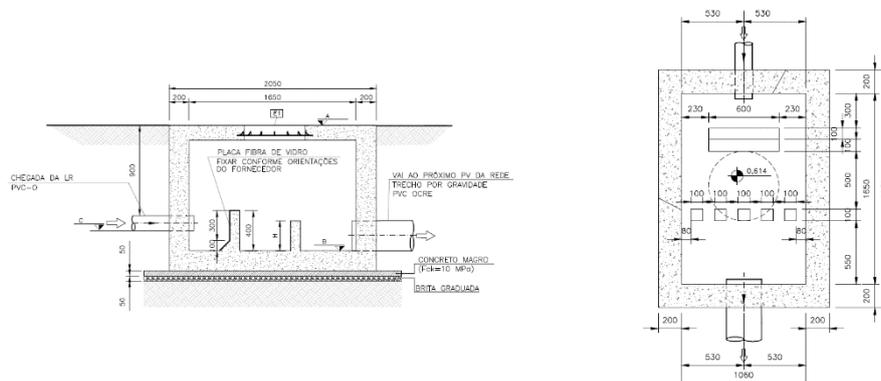
O sistema que direciona o esgoto que chega da rede coletora em um local de baixa elevação e transporta para um local mais elevado é composto por uma estação Elevatória de Esgoto Bruto (EEB) e uma Linha de Recalque (LRC).

A EEB é o local que recebe o fluxo de esgoto oriundo da rede coletora. O seu formato e configurações irão depender de diversos fatores, como tamanho das bombas, capacidade da elevatória, projeto arquitetônico e aspectos estéticos. Referente ao tamanho das bombas, irá depender do fluxo de esgoto que chega na elevatória e da Altura Manométrica Total (AMT).

A AMT é a soma das perdas por atrito em conexões e tubulações mais o desnível geométrico da sucção e recalque (diferença entre a cota da sucção da bomba e a cota inferior do tubo que chega no dissipador de energia).

O dissipador é um Poço de Visitas (PV) utilizado para dissipar a energia do fluxo de esgoto e assim reduzindo sua velocidade, a Figura 2 mostra um exemplo de projeto de PV dissipador.

Figura 2 - Exemplo de PV Dissipador de energia.

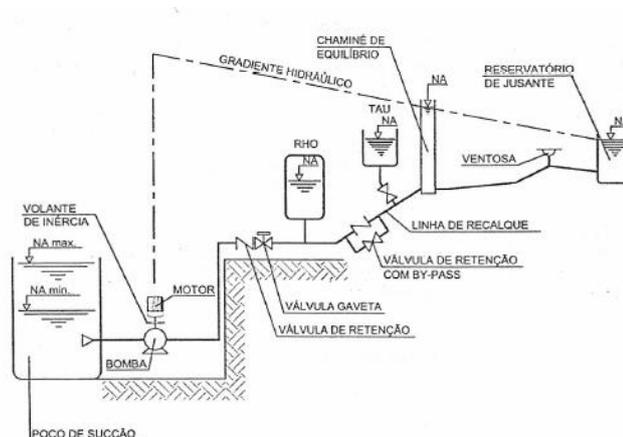


Fonte: TSA -Tecnologia em Saneamento Ambiental.

As elevatórias podem ser instaladas em um terreno estratégico ou sob a rua (subsolo). O que irá determinar o local de instalação é o tamanho do poço de sucção (local onde ficam instaladas as bombas). Elevatórias de grande porte possuem também muitos acessórios que impedem sua instalação sob a rua, como um quadro de controle de energia, um guindaste de içamento de cesto e bombas e local de estacionamento para o veículo da empresa responsável pela manutenção.

A LRC é o conjunto de tubos que direcionam o esgoto da elevatória até o ponto mais elevado. As dimensões dos tubos utilizados mudam de maneira que a velocidade do fluido dentro da tubulação fique no intervalo de 0,6 L/s a 1,4 L/s. A LRC recebe acessórios que contribuem para a estabilidade do regime transitório, como pode ser visto na Figura 3.

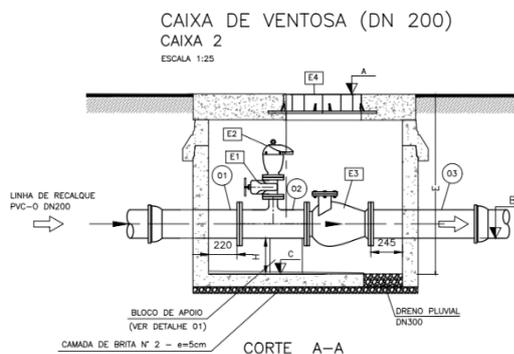
Figura 3 - LRC com diferentes acessórios.



Fonte: Sobrinho e Tsutiya (2000). Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. Pág. 466.

Os acessórios mais utilizados na LRC são a válvula ventosa e a válvula de retenção horizontal. A válvula ventosa é um dispositivo que permite a admissão e expulsão de ar da LRC, sendo então instalada nos pontos mais elevados da LRC. A válvula de retenção horizontal é utilizada para impedir que o esgoto retorne para a elevatória, onde sua instalação normalmente é feita junto a válvula ventosa, como pode ser visto na Figura 4.

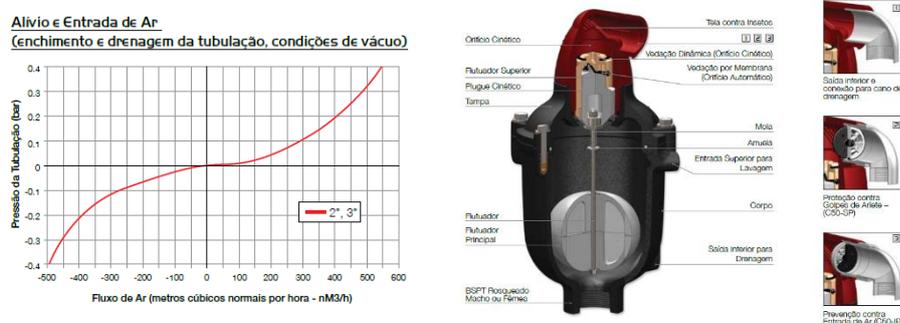
Figura 4 - Posicionamento de válvula ventosa e válvula de retenção horizontal.



Fonte: TSA -Tecnologia em Saneamento Ambiental.

A Figura 5 apresenta os componentes internos de uma ventosa possibilitando compreender melhor o seu funcionamento. Esta figura também apresenta um gráfico ilustrativo que nos permite saber a capacidade de admissão e expulsão de ar da ventosa C50 da BERMAD.

Figura 5 - Curva de operação de uma ventosa e imagem ilustrativa de seus componentes.



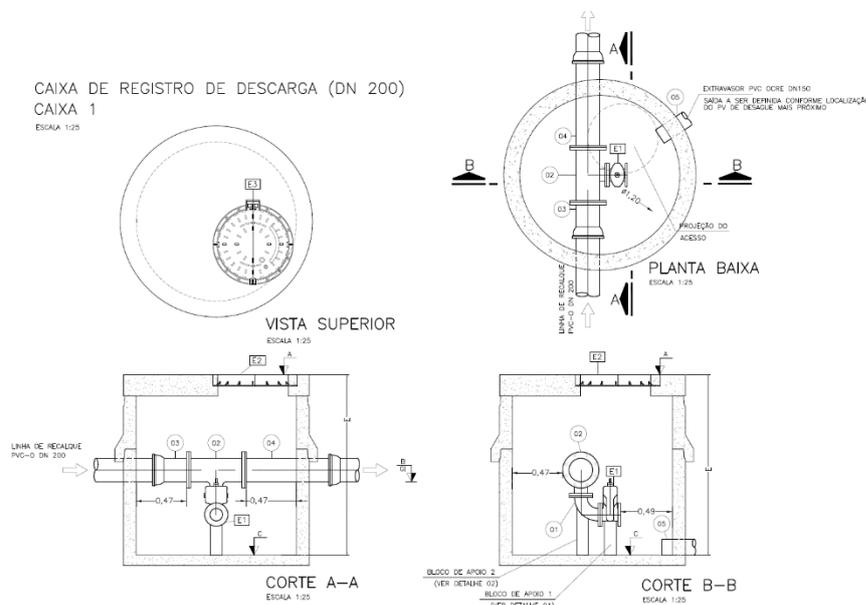
Fonte: BERMAD Distribuição de Água – catálogo da ventosa C50.

Outro acessório que é comum ser utilizado em LRC é a válvula de descarga em pontos baixos do recalque, cuja função é esvaziar a linha em períodos de manutenção. Como exemplo a válvula de descarga utilizada em projeto anterior na cidade de Tramandaí, que pode ser vista na Figura 6.

O material da tubulação utilizada na LRC é do tipo PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e PVC-O (Policloreto de Vinila Orientado).

O PEAD é utilizado em recalques com vazões baixas de até 5 L/s, diâmetro externo do tubo geralmente utilizado é DE90mm e o material é vendido em rolos de 50 a 100 metros. Uma das vantagens é sua flexibilidade, dessa forma não requer muita atenção a deflexões menores que 45° quando se faz o traçado da LRC. Outra vantagem é sua alta resistência à abrasão.

Figura 6 - Caixa da válvula de descarga, projeto da cidade de Tramandaí, RS.



Fonte: TSA -Tecnologia em Saneamento Ambiental.

O PVC-O é utilizado em recalques com vazões superiores a 5 L/s com uma pressão de serviço de 1,25MPa e 1,6MPa à temperatura de 25°C e diâmetros na faixa de DN100 a 400mm (Amanco, Tubos BIAX).

O PVC-O apresenta algumas vantagens como um excelente comportamento contra os golpes de aríete, reduzindo os picos de sobrepressão devido a sua elasticidade, as perdas de pressão são mínimas devido a sua parede interior ser extremamente lisa e é um material de fácil instalação.

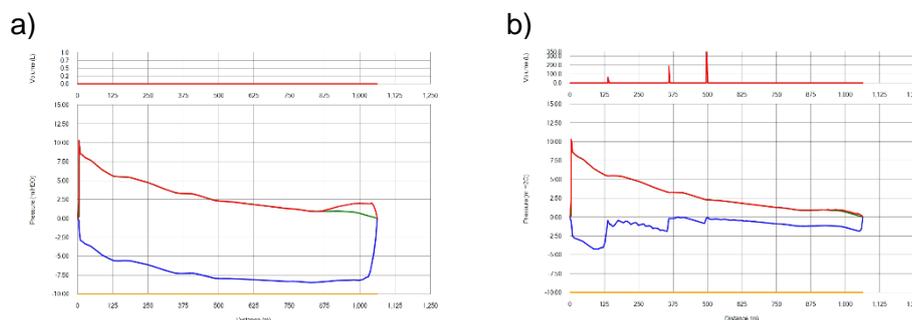
Quando é feito o traçado do perfil da LRC deve-se ficar atento às inclinações mínimas que as tubulações devem obedecer, por exemplo, a CORSAN exige que em projetos contratados por ela a tubulação tenha uma inclinação mínima de 0,2% em aclives e 0,3% em declives. A ausência dessas inclinações afeta o regime transitório da LRC, pois as bolhas de ar formadas dentro da tubulação encontrarão dificuldades em ir para o ponto mais alto e serem expulsas pelas ventosas.

Outro ponto a ser cuidado no projeto da LRC são os esforços de empuxo hidráulico, que se deve ao fato das tubulações possuírem ligações do tipo ponta e bolsa. Esse empuxo hidráulico, dependendo da intensidade da força resultante, pode promover a separação das uniões das tubulações e por isso é empregado o uso de blocos de ancoragem em locais onde ocorre mudança de direção do escoamento, ou seja, curvas, em pontos onde a inclinação da tubulação enterrada é maior que 25% e em tubulações aéreas onde a inclinação for maior que 20%.

A Figura 7 traz um exemplo do comportamento da curva da pressão dentro de uma LRC localizada na cidade de Imbé com o antes e depois da inserção de ventosas.

Após análise e tratamento dos dados obtidos, será feita a escolha dos meios de suprimir a instabilidade do transiente hidráulico, eliminando as zonas de subpressão na LRC, que são mais críticas do que as zonas de sobrepressão.

Figura 7 - Gráfico a) com uma LRC sem proteção e b) LRC com proteção.



Fonte: TSA-Tecnologia em Saneamento Ambiental

4. CASO DE ESTUDO

4.1 Obtenção dos dados iniciais

Antes de ser feito o uso do software de simulação computacional, deve-se obter os valores de algumas variáveis importantes para a configuração do programa que fará a simulação do transiente hidráulico. As variáveis essenciais para rodar o programa e gerar os resultados são:

- Vazão
- Diâmetro
- AMT

Os dados das vazões são obtidos no projeto da Rede Coletora de Esgoto (RCE).

O diâmetro é obtido através da Fórmula de Bresse. Segundo Sobrinho e Tsutiya (2000), ela nos fornecerá um diâmetro aceitável, mas se faz necessário um estudo econômico para instalações de grande porte. Esse estudo analisa os valores inferiores e superiores do diâmetro obtido na Fórmula Bresse e, após isso, se faz uma análise econômica de implementação do projeto.

$$D = K\sqrt{Q} \quad (1)$$

Onde:

D = diâmetro [m];

Q= vazão [m³/s]

K= coeficiente de Bresse

Para o recalque de esgoto, a velocidade econômica tem se situado, de um modo geral, entre 1,0 m/s (K=1,12) a 1,5 m/s (K=0,85) (Sobrinho & Tsutiya, 2000).

$$K = \sqrt{\frac{4}{\pi V}} \quad (2)$$

Onde:

V= velocidade econômica

A AMT é obtida através da soma de todas as perdas de carga do sistema.

- Perda de carga linear (h_l)
- Perda de carga singular (h_s)
- Desnível geométrico (h_g)

$$AMT_{máx} = h_l + h_s + h_g \quad (3)$$

A perda de carga linear é obtida utilizando Hazen-Williams (Porto, 2006), que é uma das fórmulas empíricas mais utilizadas, principalmente na prática da engenharia sanitária americana. Deste modo essa será a fórmula adotada neste trabalho, ela não é dimensionalmente homogênea valendo apenas para as unidades indicadas abaixo.

$$h_l = 10,643 \times Q^{1,85} \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \times L \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão máxima de final de plano [m^3/s];

C = coeficiente de perda de carga;

D = diâmetro da tubulação [m];

L = extensão total [m].

As perdas de carga singulares são oriundas de curvas, válvulas e acessórios necessários para o bom funcionamento do sistema. Para o cálculo dessa perda será adotada a seguinte equação:

$$h_s = k * \frac{V^2}{2 * g} \quad (5)$$

Onde:

V = velocidade em m/s;

k = somatório dos coeficientes de perda de carga;

g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m/s}^2$).

4.2 Traçado da linha de recalque

O traçado da linha de recalque é feito de forma simultânea com a obtenção dos dados iniciais da LRC. Isso se deve ao fato de que o traçado depende dos dados iniciais para poder ser inicializado e os dados iniciais, por sua vez, dependem do traçado para serem finalizados e assim ser possível escolher a bomba que será utilizada na LRC.

Fazer o traçado da LRC é uma etapa relativamente simples, mas deve-se atentar a alguns detalhes, pois ele interfere diretamente nos resultados obtidos no transiente hidráulico. Os cuidados a serem seguidos são:

- Percurso: em LRC de pequena extensão esse detalhe não é relevante pois o caminho quase sempre é uma linha reta ou faz no máximo uma curva de até 90° . No caso de linhas de recalque de extensão superior a 1km podem aparecer mais de uma configuração de trajetória para a LRC, então deve ser usado o trajeto que resultar em um equilíbrio entre fatores, como: menor distância, menos curvas, menos interferências, ser acessível para execução das obras, menores quantidades e inclinações de subidas e descidas (Silva Telles, 1999).
- Perfil: devem ser observadas as inclinações mínimas para subidas e descidas, evitar inclinações superiores a 25%, posicionar as ventosas em picos e descargas em vales.

4.3 Configuração do Software Hammer

Durante o desenvolvimento deste trabalho foi desenvolvido um método de uso para o Software HAMMER, Versão 24.00.00.26 (Bentley Education, 2024). O HAMMER adota o Método das Características (MOC) como o método numérica para resolução dos cálculos. Ele fornece resultados em todos os pontos de rede, assim como pontos intermediários (Allevant, 2024). Dessa forma, fica claro como foram escolhidos os pontos onde são inseridos os mecanismos de proteção da LRC. Esse método é dividido em três etapas que são descritas abaixo.

4.3.1 Etapa 1

Consiste na configuração geral do *Software HAMMER* que consiste em:

- *Upload* dos dados da LRC do *Software Civil 3D*;
- Cálculo da velocidade de propagação da onda;
- Configuração dos dados da tubulação (DN, Material e Coeficiente de Hazen-Williams);
- Configuração da ventosa utilizada;
- Configuração da bomba utilizada;
- Criação do perfil que gera informações de linha piezométrica e elevação das uniões das tubulações.

Finalizadas as configurações iniciais, é rodada a simulação da LRC sem nenhum mecanismo de proteção. A partir dela é possível visualizar os pontos críticos que são as zonas de subpressão e sobrepressão do sistema.

4.3.2 Etapa 2

Consiste em posicionar os mecanismos de proteção pré-estabelecidos na etapa de criação do traçado da LRC. A ventosa é posicionada nos pontos de pico que surgem devido a topografia do terreno.

Após o posicionamento dessas ventosas a simulação é executada novamente e os resultados são avaliados. Existe situações em que somente essas ventosas já são suficientes para estabilizar o regime transitório, encerrando a análise nessa etapa. Caso contrário, passa-se para a próxima etapa.

4.3.3 Etapa 3

Consiste em avaliar o comportamento da curva de pressão e visualizar os pontos onde ela corta a linha de 0 m.c.a no gráfico.

No primeiro ponto onde a curva se aproxima de 0 m.c.a é posicionada uma ventosa, deve-se tomar alguns cuidados:

- Posicionar no mínimo a 100m de outras ventosa e da caixa dissipadora;
- Posicionar no mínimo a 2m de uma curva ou interferência;
- Não posicionar em pontos onde a tubulação não esteja enterrada;
- Não posicionar no meio de travessias.

Tomados os cuidados necessários no posicionamento da ventosa, é executada a simulação e observados os novos pontos de subpressão caso surjam. Confirmados novos pontos, é posicionada uma nova ventosa tomando os cuidados de posicionamento citados acima.

Existem casos em que as válvulas ventosas não são suficientes para controlar o regime transitório, essas situações são quando a ventosa:

- Não consegue controlar o surgimento de zonas de subpressão por completo, então surgem áreas com valores de subpressão menores que -5 m.c.a. Uma possível solução seria a utilização de um Reservatório Hidropneumático (RHO);
- Ocasiona uma elevação dos valores máximos de sobrepressão do sistema. Pode-se solucionar utilizando uma válvula de retenção horizontal juntamente com a válvula ventosa;
- Não consegue evitar a sobreposição das ondas do regime transitório que ocasiona um crescimento desenfreado da sobrepressão e diminuição da subpressão. Pode-se utilizar uma válvula de retenção horizontal para barrar essa sobreposição juntamente com a válvula ventosa.

A utilização de uma válvula de retenção horizontal é recomendada em instalações de recalque para evitar golpe de aríete (Silva Telles, 1999) será utilizada neste trabalho conjuntamente com a válvula ventosa. Seu posicionamento já foi descrito no capítulo de apresentação do problema, mas, devido ao seu alto custo de manutenção, as operadoras costumam não adotar esse mecanismo de proteção.

O mecanismo de proteção RHO foi utilizado na LRC de Viamão, mas as operadoras não costumam utilizá-lo pelos seguintes motivos:

- Alto custo de implantação;
- Necessita de um terreno para ser implementado (não pode ser instalado sob a rua);
- Costuma acumular gases e lodo em seu interior;
- Custo de manutenção elevado.

5. RESULTADOS

5.1 Dados iniciais

As tabelas a seguir apresentam os valores obtidos utilizando as equações apresentadas no capítulo 1. Nos sistemas descritos a seguir foi utilizado um dispositivo chamado Barrilete.

Barrilete é um conjunto de tubulações, válvulas e conexões que ficam localizadas logo após a bomba e tem como objetivo servir como um sistema de manobras hidráulicas. Dessa forma, as perdas geradas nesses sistemas devem ser contabilizadas juntamente com as perdas da LRC.

Outro ponto a ser observado é que para LRC de Xangri-lá estão sendo feitos cálculos para avaliar duas situações. Na primeira, que é denominada o início de plano que é a fase início de operação, a LRC opera com uma vazão de 150 L/s e uma bomba. Na segunda, que é denominada final de plano que é a fase que ela está operando em capacidade máxima, a LRC opera com uma vazão de 450 L/s e três bombas. A simulação foi feita somente para o início de plano.

A Tabela 1 apresenta os resultados para os diâmetros ideais das LRC. Esses resultados são obtidos através de uma iteração onde o primeiro valor de diâmetro é estimado, de forma a resultar em uma velocidade mais próxima possível de 1 m/s. Diâmetros que resultarem em velocidades fora da faixa de $0,6 \text{ m/s} \leq V \leq 1,6 \text{ m/s}$, para valores inferiores a 0,6 m/s não devem ser utilizados pois, se a velocidade do escoamento for muito baixa, partículas começam a sedimentar no fundo da tubulação o que pode ocasionar obstruções e valores superiores a 1,6 m/s não são recomendados pelo consequente aumento da perda de carga e da potência de bombeamento (Sobrinho e Tsutiya, 2000).

Tabela 1 - Velocidades obtidas na LRC e Barrilete

Velocidades										
EEB		Q_b (m^3/s)	Material recalque	DI_{rec} (m)	A_{rec} (m^2)	V_{rec} (m/s)	Material barrilete	DN_{bar} (m)	A_{bar} (m^2)	V_{rbar} (m/s)
VIAMÃO		0,0444	PVC-O DN 250	0,2606	0,053337	0,832	Ferro Fundido DN 200	0,2	0,03142	1,413
XANGRI-LÁ	Início plano	0,15	PVC-O DN 400	0,408	0,130737	1,147	Ferro Fundido DN 500	0,5	0,19634	0,764
	Final plano	0,45	DN EQUIVALENTE	0,5876	0,271169	1,659	Ferro Fundido DN 500	0,5	0,19634	2,292

Fonte: TSA -Tecnologia em Saneamento Ambiental.

A Tabela 2 traz os valores obtidos para a perda de carga linear da LRC e Barrilete.

Tabela 2 - Perdas lineares

Cálculo das perdas lineares										
EEB	Q_b (m^3/s)	DI_{rec} (m)	C_{rec}	L_{rec} (m)	h_{lrec}	DN_{bar} (m)	C_{bar}	L_{bar} (m)	h_{lbar}	
VIAMÃO	0,0444	0,2606	140	1444,381	3,62	0,2	130	10	0,10	
XANGRI-LÁ	Início plano	0,15	0,408	140	9213	24,72	0,5	130	10	0,01
	Final plano	0,45	0,5876	140	9213	31,93	0,5	130	10	0,09

Fonte: TSA -Tecnologia em Saneamento Ambiental.

A Tabela 3 traz os valores obtidos para a perda de carga singular da LRC e Barrilete.

Tabela 3 - Perdas singulares

Cálculo das perdas singulares							
EEB		V_{rec}	k_{rec}	h_{srec}	V_{bar}	k_{bar}	h_{sbar}
VIAMÃO		0,832	1,6	0,057	1,413	8,3	0,85
XANGRI-LÁ	Início plano	1,147	2,4	0,161	0,764	9,2	0,27
	Final plano	1,659	2,4	0,337	2,292	9,2	2,46

Fonte: TSA -Tecnologia em Saneamento Ambiental.

A Tabela 4 faz o somatório das perdas de carga do sistema e nos fornece o valor da AMT.

Tabela 4 - Valores de Altura Manométrica Total obtidas

Cálculo da AMT						
EEB		Cota Dissipador	h_g	h_l	h_s	AMT
VIAMÃO		138,368	62,198	3,72	0,902	66,82
XANGRI-LÁ	Início plano	7,67	5,27	24,73	0,435	30,43
	Final plano	7,67	5,27	32,01	2,800	40,08

Fonte: TSA -Tecnologia em Saneamento Ambiental.

A Tabela 5 traz as informações necessárias para fazer a escolha da bomba que será utilizada. Com os valores de vazão e AMT os fabricantes de bombas fornecem uma lista de bombas que podem ser utilizadas no projeto, a escolhida será a que tiver melhor rendimento.

Tabela 5 - Bomba escolhida

EEB		Q_b (L/s)	AMT (m)	BOMBA	POT (CV)
VIAMÃO		44,4	67,0	XFP107J-CB2	72,9
XANGRI-LÁ	Início plano	150	30,5	XFP 205J CB-2	120
	Final plano	450	40,5	XFP 205J CB-2	120

Fonte: TSA -Tecnologia em Saneamento Ambiental.

5.2 Resultados Software Hammer

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através do uso do *Software HAMMER*. Este software fornecerá os resultados para posições da tubulação chamadas correntemente de estacas, que são pontos que demarcam distâncias na LRC sendo que seus nomes fazem referência as suas distâncias em relação ao ponto inicial. A viscosidade do fluido utilizada é a mesma da água a 20°C.

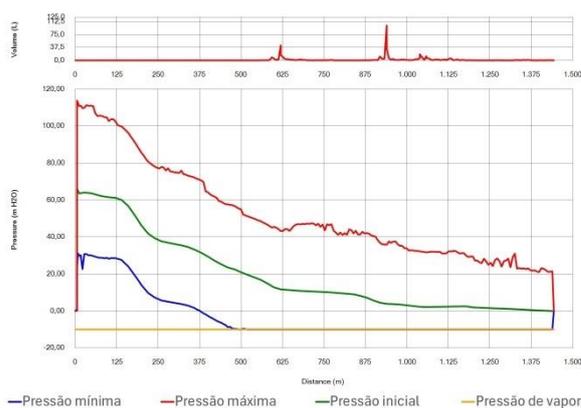
5.2.1 Viamão

Antes de apresentar os resultados obtidos para a LRC, será apontada uma característica particular dela, esse atributo contribui de forma direta nos resultados e a forma com que o regime transitório será solucionado. A presença de um grande desnível geométrico aliado com zonas de inclinação superior a 25%, faz com que o regime transitório dessa LRC seja mais instável. Essa instabilidade não é possível ser solucionada somente com o uso de válvulas ventosas, como já citado no Capítulo 4.3.3, por não conseguirem impedir a sobreposição de ondas.

A Figura 8 apresenta a distribuição dos valores de pressão máxima e mínima, pressão inicial e de vaporização ao longo de um sistema sem mecanismos de proteção. Observa-se um valor elevado de sobrepressão no início do recalque de 113,79 m.c.a. Esse valor é muito elevado uma vez que a tubulação utilizada suporta sobrepressões máximas de 125 m.c.a. A subpressão atingiu -10 m.c.a que é a pressão de vaporização do fluido.

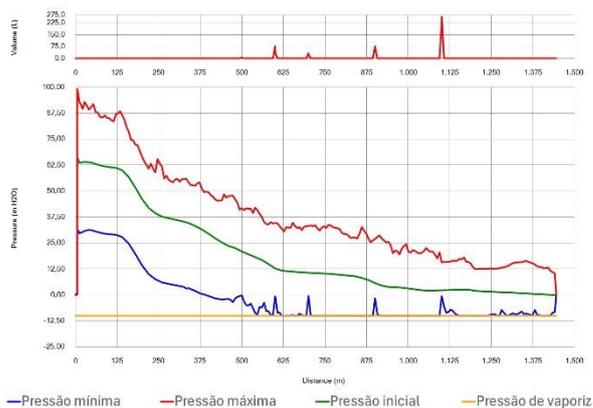
A Figura 9 apresenta a distribuição de pressões para um sistema com o mecanismo de proteção composto por 5 válvulas ventosas modelo BERMAD C50 2", localizadas nas estacas 500m, 600m, 700m, 900m e 1100m, onde foram obtidos valores elevados de sobrepressão no início do recalque de 99,14 m.c.a. Esse valor é muito elevado, lembrando que a tubulação utilizada suporta sobrepressões máximas de 125 m.c.a. A subpressão atingiu a pressão de vaporização do fluido (-10 m.c.a).

Figura 8 - Gráfico de sobrepressão e subpressão para LRC sem mecanismos de proteção - Viamão.



Fonte: Autor

Figura 9 - Gráfico de sobrepressão e subpressão para LRC com o mecanismo de proteção válvula ventosa - Viamão.

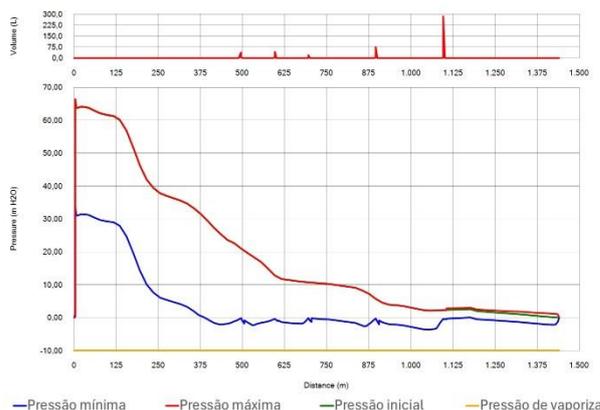


Fonte: Autor

A Figura 10 apresenta um sistema com o mecanismo de proteção composto por 5 válvulas ventosas modelo BERMAD C50 2" e 5 válvulas de retenção horizontal genéricas que possui uma configuração padrão do *Software HAMMER*, localizadas nas estacas 500m, 600m, 700m, 900m e 1100m, onde foram obtidos valores de sobrepressão de 66,42 m.c.a e valores de subpressão de -3,62 m.c.a.

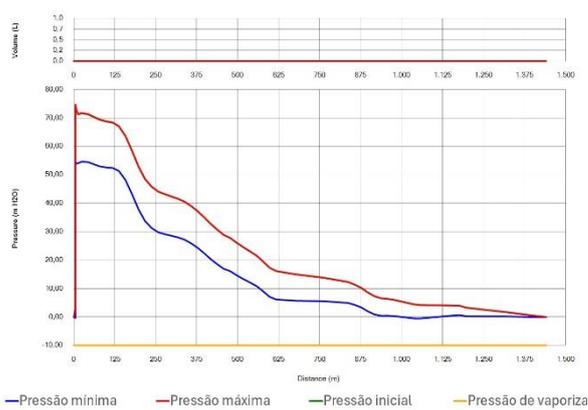
A Figura 11 apresenta um sistema com o mecanismo de proteção composto por um RHO localizado na estaca 0m. As configurações utilizadas para o mecanismo foram as sugeridas pelo Software HAMMER, sendo somente configurada a capacidade de armazenamento, utilizando-se $80m^3$. Foram obtidos valores de sobrepressão de 74,74 m.c.a e valores de subpressão de -0,54 m.c.a.

Figura 10 - Gráfico de sobrepressão e subpressão para LRC com os mecanismos de proteção válvula ventosa e válvula de retenção horizontal- Viamão.



Fonte: Autor

Figura 11 - Gráfico de sobrepressão e subpressão para LRC com o mecanismo de proteção Reservatório Hidropneumático (RHO) - Viamão.



Fonte: Autor

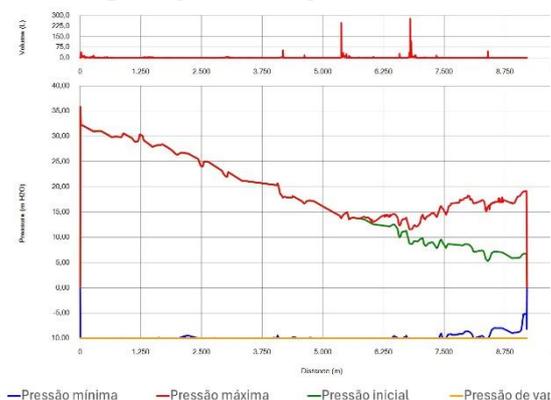
5.2.2 Xangri-lá

Antes de apresentar os resultados obtidos para a LRC, será apontada uma característica particular dela, esse atributo contribui de forma direta nos resultados e a forma com que o regime transitório será solucionado. Geralmente uma LRC de baixo desnível geométrico costuma ter um comportamento de regime transitórios estável, mas devido a sua grande extensão aliada com uma vazão de 150 L/s, faz com que o regime transitório dessa LRC seja mais instável. Essa instabilidade não é possível ser solucionada somente com o uso de válvulas ventosas, como já citado no Capítulo 4.3.3, ela não consegue barrar a sobreposição de ondas.

A Figura 12 apresenta um sistema sem mecanismos de proteção, onde foi obtido o valor de sobrepressão de 35,87 m.c.a no início do recalque. A subpressão atingiu a pressão de vaporização do fluido.

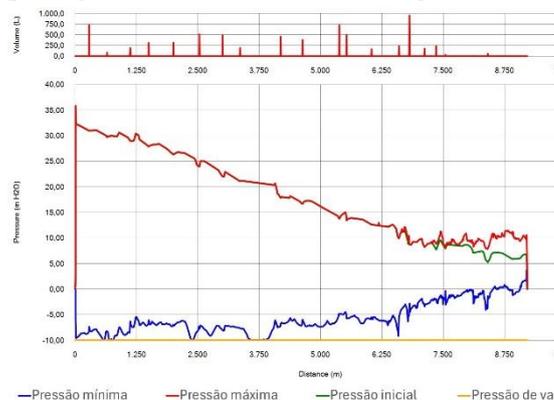
A Figura 13 apresenta a distribuição de pressões para um sistema com o mecanismo de proteção composto por 21 válvulas ventosas modelo BERMAD C50 2", localizadas nas estacas 265m, 636m, 1107m, 1482m, 1988m, 2517m, 2989m, 3346m, 4184m, 4628m, 5376m, 5524m, 6036m, 6592m, 6807m, 7111m, 7350m, 7540m, 8104m, 8401m, 8909m, onde foi obtido o valor de sobrepressão de 35,87 m.c.a no início do recalque. A subpressão atingiu -10 m.c.a que é a pressão de vaporização do fluido.

Figura 12 - Gráfico de sobrepressão e subpressão para LRC sem mecanismos de proteção – Xangri-lá.



Fonte: Autor

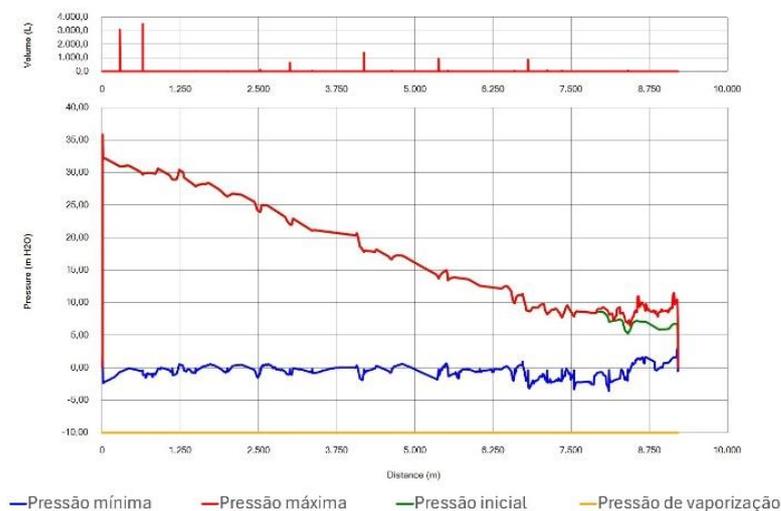
Figura 13 - Gráfico de sobrepressão e subpressão para LRC com o mecanismo de proteção válvula ventosa – Xangri-lá.



Fonte: Autor

A Figura 14 apresenta a distribuição de pressões para um sistema com o mecanismo de proteção composto por 21 válvulas ventosas modelo BERMAD C50 2" e 21 válvulas de retenção horizontal genéricas que possui uma configuração padrão do *Software HAMMER*, localizadas nas estacas 265m, 636m, 1107m, 1482m, 1988m, 2517m, 2989m, 3346m, 4184m, 4628m, 5376m, 5524m, 6036m, 6592m, 6807m, 7111m, 7350m, 7540m, 8104m, 8401m, 8909m, onde foi obtido o valor de sobrepressão de 35,87 m.c.a no início do recalque. A subpressão atingiu -3,56 m.c.a.

Figura 14 - Gráfico de sobrepressão e subpressão para LRC com o mecanismo de proteção válvula ventosa e válvula de retenção horizontal - Xangri-lá.

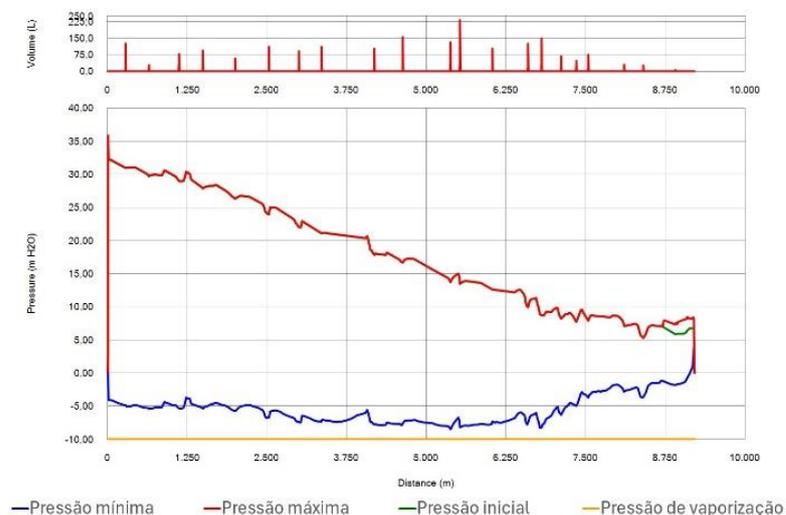


Fonte: Autor

Foram feitos testes alternativos onde sendo utilizadas diversas configurações de ventosas. O objetivo é buscar uma configuração onde não fosse necessária a utilização de uma válvula de retenção horizontal no sistema. A Figura 15 traz uma alternativa que utiliza um modelo de válvula ventosa diferente, BERMAD C70 4", localizadas nas estacas 265m, 636m, 1107m, 1482m, 1988m, 2517m, 2989m, 3346m, 4184m, 4628m, 5376m, 5524m, 6036m, 6592m,

6807m, 7111m, 7350m, 7540m, 8104m, 8401m, 8909m, onde foi obtido o valor de sobrepressão de 35,87 m.c.a no início do recalque e a subpressão atingiu -8,48 m.c.a.

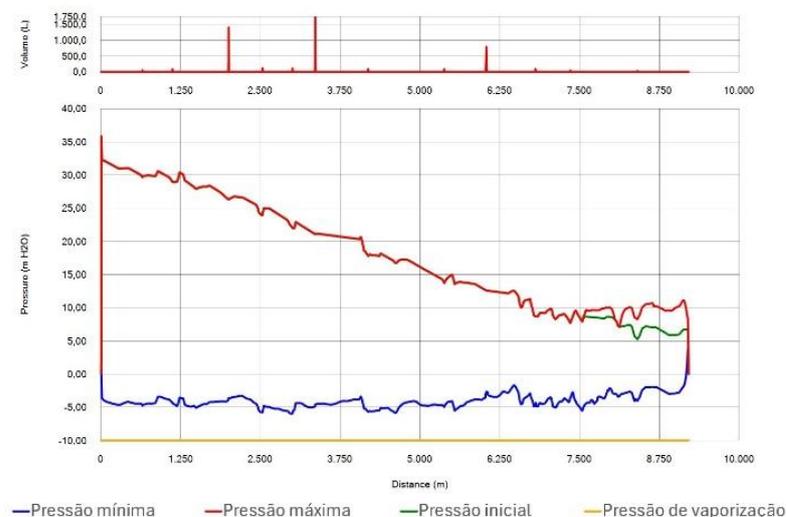
Figura 15 - Gráfico de sobrepressão e subpressão para LRC com o mecanismo de proteção válvula ventosa – Xangri-lá.



Fonte: Autor

Após a análise de algumas simulações, foi feita uma mesclagem entre a configuração que resultou na Figura 13 com a da Figura 15, dessa forma foi obtido o resultado encontrado na Figura 16. Foi obtido o valor de sobrepressão de 35,87 m.c.a no início do recalque e subpressão atingiu -5,98 m.c.a. Como mecanismo de proteção foram utilizadas 9 válvulas ventosas modelo BERMAD C70 4" localizadas nas estacas 636m, 1107m, 2517m, 2989m, 4184m, 5376m, 6807m, 7350m, 8401m e 3 válvulas ventosas modelo BERMAD C50 2" localizadas nas estacas 1988m, 3346m, 6036m.

Figura 16 - Gráfico de sobrepressão e subpressão para LRC com o mecanismo de proteção válvula ventosa – Xangri-lá.



Fonte: Autor

6. CONCLUSÃO

Mitigar o regime transitório de uma linha de recalque frente a parada súbita de uma bomba é fundamental para a integridade e vida útil da tubulação. Não existe uma receita que, se seguida à risca, irá resultar em um transiente hidráulico estável. Cada transiente a ser resolvido possui características próprias e elas tornam as soluções particulares para cada transiente.

A linha de recalque de Viamão possui um perfil topográfico ascendente até chegar no PV Dissipador e devido a isso não possui válvulas ventosas pré-determinadas. Ela tem um desnível geométrico de 62,2 m o que ocasiona uma sobrepressão elevada no início da LRC. A solução mais apropriada para o regime transitório é a utilização de 5 válvulas ventosas modelo BERMAD C50 2” combinadas com 5 válvulas de retenção horizontal. A retenção diminui pela metade o valor da sobrepressão, pois ela impede que todo o fluido retorne em direção a bomba e não permite a sobreposição das ondas.

A linha de recalque de Xangri-lá possui um perfil topográfico com diversas subidas e descidas, devido a isso ela possui 21 pontos de válvulas ventosas pré-determinadas, um desnível geométrico de 5,27 m o que ocasiona uma sobrepressão relativamente baixa no início da LRC. Para ela foram encontradas duas soluções possíveis:

- Na primeira solução são posicionadas válvulas ventosas modelo BERMAD C50 2” e válvulas de retenção horizontal em todos os pontos altos da LRC. Isso faz com que não surjam zonas contendo bolhas de ar ou vácuo na tubulação e com o auxílio da válvula de retenção horizontal a sobreposição de ondas é barrada.
- Na segunda solução são posicionados 2 modelos de válvulas ventosas, BERMAD C70 4” e BERMAD C50 2”. Essa combinação surgiu a partir da união de dois modelos de solução, o primeiro continha somente válvulas ventosas modelo BERMAD C50 2” e o segundo continha somente válvulas ventosas modelo BERMAD C70 4”. Foram analisadas as válvulas ventosas que obtiveram o melhor desempenho em cada modelo, sendo elas combinadas e resultando em uma solução onde somente são usadas válvulas ventosas. Essa solução tem 2 problemas, o primeiro é que alguns pontos altos não foram contemplados com válvulas ventosas, o que pode acarretar o surgimento de zonas contendo bolhas de ar ou vácuo, e o segundo seriam os pontos não contemplados por válvulas ventosas que foram escolhidos em tentativa e erro.

A solução escolhida será a primeira, pois se trata de uma solução mais conservadora e que busca aumentar a vida útil da tubulação.

Para projetos futuros é interessante estudar a utilização do mecanismo de proteção Tubo de Admissão e Expulsão Bidirecional para Esgoto e Vinhaça (TAEB-EV), mecanismo este que vem sendo desenvolvido pelo Laboratório de Hidráulica Computacional (LAHC) da Universidade Federal do Ceará – UFC e tem como objetivo substituir os mecanismos de proteção válvula ventosa, RHO e Tanques de Admissão Unidirecional (TAU), tendo como características ser um equipamento compacto, de alto desempenho, fácil instalação, baixa manutenção e baixo custo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allevant Educação, 2024, <https://allevanteducacao.com.br/wp-content/uploads/Cursos/online-hammer-e-transientes-hidraulicos-turma-1/002-cursomodelhammer-02.pdf>, >. Acesso em: 28 agosto 2024.

Amanco. **BIAX**. Disponível em:

<http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/asset/file/2122/FTC000064_-_Tubos_BIAX.pdf>. Acesso em: 13 abril 2024.

Araújo Bezerra, A. (2011). **Dimensionamento hidráulico de redes coletoras de esgoto sanitário usando o critério de atendimento crítico**. Fortaleza – CE.

Bentley Education (2024), <https://education.bentley.com/Products>. Acesso em: 28 agosto 2024.

Bermad. **Ventosa Combinada para Esgotos e Águas Residuais**. Disponível em: <<https://www.bermad.com/app/uploads/sites/8/IR-C50.pdf>>. Acesso em: 13 abril 2024.

BRASIL. **Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF: Diários Oficial da União, 2007. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>. Acesso em: 22 abril 2024

BRASIL. **Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília, DF: Diários Oficial da União, 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm>. Acesso em: 22 abril 2024

Kanaflex. **Kanaliso**. Disponível em:

<https://www.kanaflex.com.br/novosite/arquivos/cat_70.pdf>. Acesso em: 22 abril 2024.

LAHC - Laboratório de Hidráulica Computacional. **Tubo de Admissão e Expulsão Bidirecional para Esgoto e Vinhaça (TAEB-EV)**. Disponível em: <<http://www.lahc.ufc.br/taebe/>>. Acesso em: 05 jun. 2024.

LASMAR, I. (2003). **Ancoragens de tubulações com juntas elásticas**, ABES, Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro.

Mcintyre, A. J. **Máquinas Motrizes Hidráulicas**, Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1983.

Ministério das Cidades (2022). **Esgotamento Sanitário**. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>>. Acesso em: 13 abril 2024.

Ministério das Cidades (2022). **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel>>. Acesso em: 13 abril 2024.

MOLECOR Smart Water. **PVC-O, características e vantagens**. Disponível em: <<https://molecor.com/pt/pvc-o-caracteristicas-e-vantagens>>. Acesso em: 24 abril 2024.

Möller, S.V., (2013), Golpe de Aríete, Notas de Aula da Disciplina ENG3105, Canalizações, UFRGS.

PAM SAINT-GOBAIN. **Artigos Saint-Gobain Canalizações**. Disponível em: <<https://www.sgpam.com.br/artigos/empuxos-hidraulicos-e-blocos-de-ancoragem>>. Acesso em: 24 abril 2024.

Porto, R. D. (2006). **Hidráulica Básica** (4ª ed., Vol. 1). São Carlos, São Paulo, Brasil: EESC-USP.

Silva Telles, P.. **Tubulações Industriais**, 9ª edição, Livros Técnicos Científicos Editora S.A- LTC, Rio de Janeiro, 1999.

Soares Guedes, H. (2018). **Hidraulica**, Centro de Engenharias, Curso de Engenharia Civil, UFPel.

Sobrinho, P. A., & Tsutiya, M. T. (2000). **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. Brasil: São Paulo.

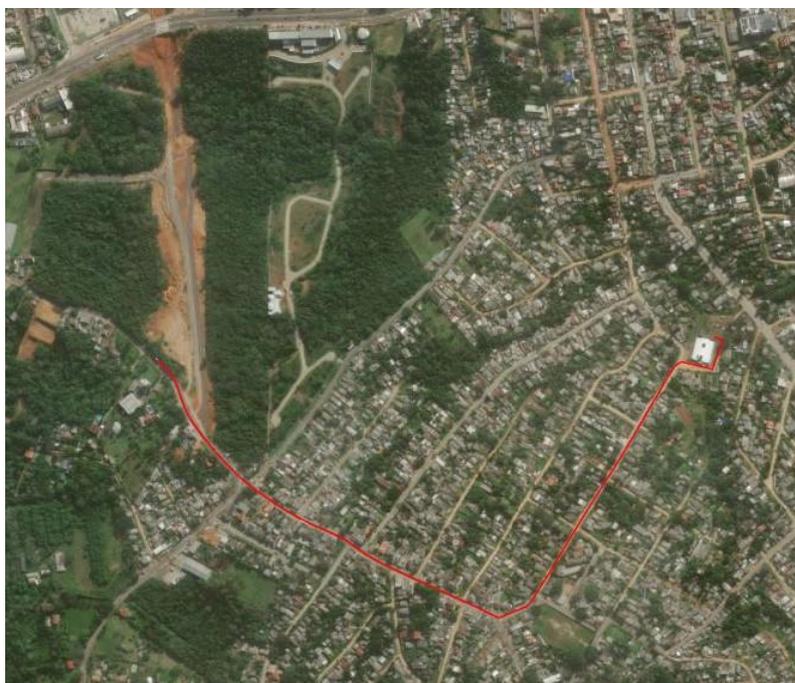
Streeter, V. L., Wylie, E. B. **Mecânica dos Fluidos**, 7ª edição, McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1982.

TSA - Tecnologia em Saneamento Ambiental. **Sistema de esgotamento Sanitário do município de Tramandaí/RS**. Porto Alegre, 2024.

Senado Federal (2022). **Estudo aponta que falta de saneamento prejudica mais de 130 milhões de brasileiros**. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/03/estudo-aponta-que-falta-de-saneamento-prejudica-mais-de-130-milhoes-de-brasileiros>>. Acesso em: 13 abril 2024.

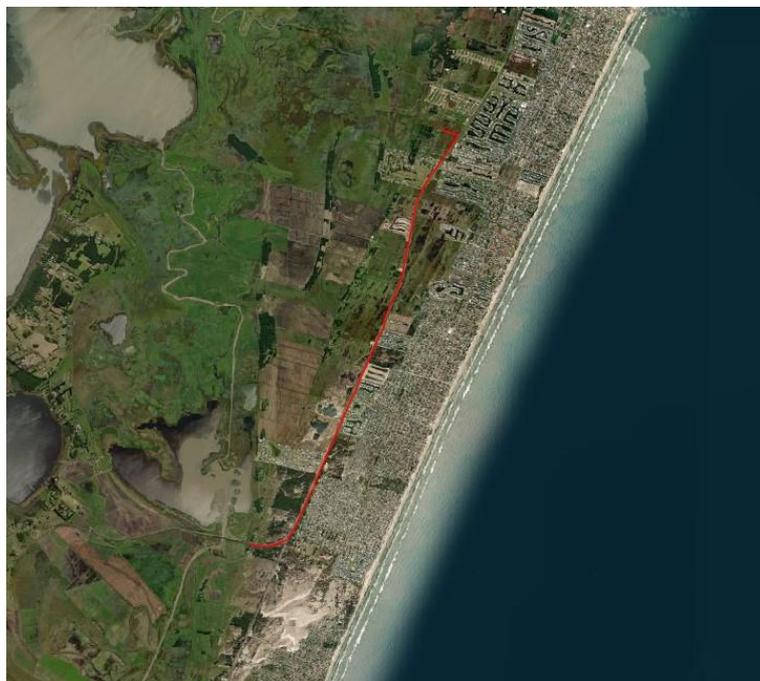
ANEXO – MAPAS DE LOCALIZAÇÃO DAS LRC

Figura 17 - Localização da LRC de Viamão



Fonte: TSA - Tecnologia em Saneamento Ambiental.

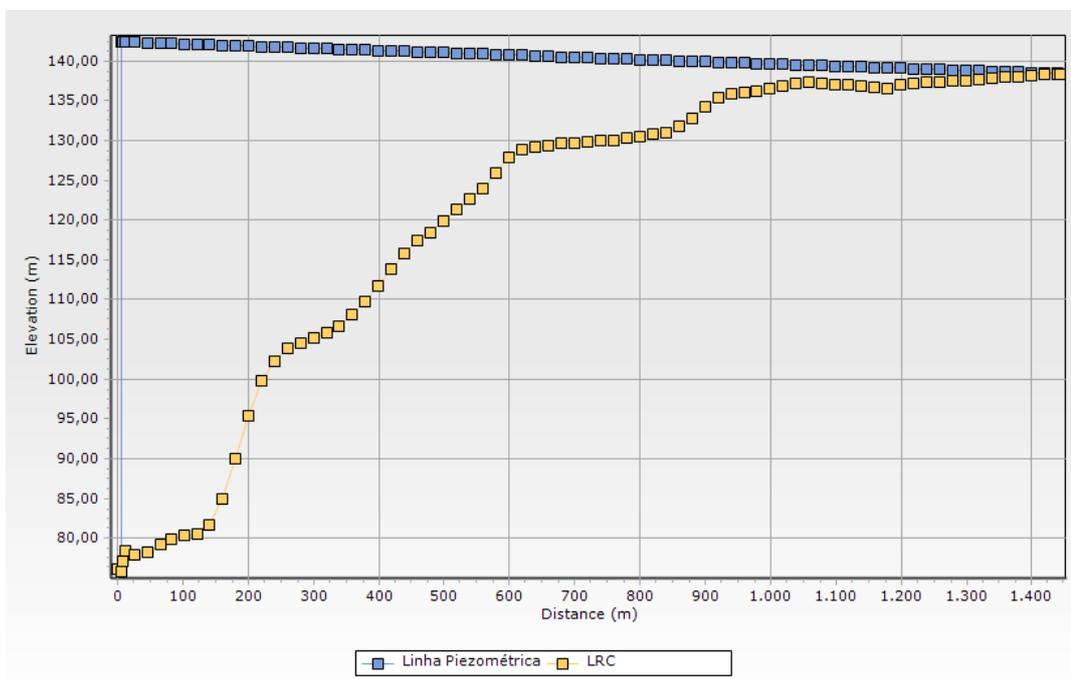
Figura 18 - Localização da LRC de Xangri-lá



Fonte: TSA - Tecnologia em Saneamento Ambiental.

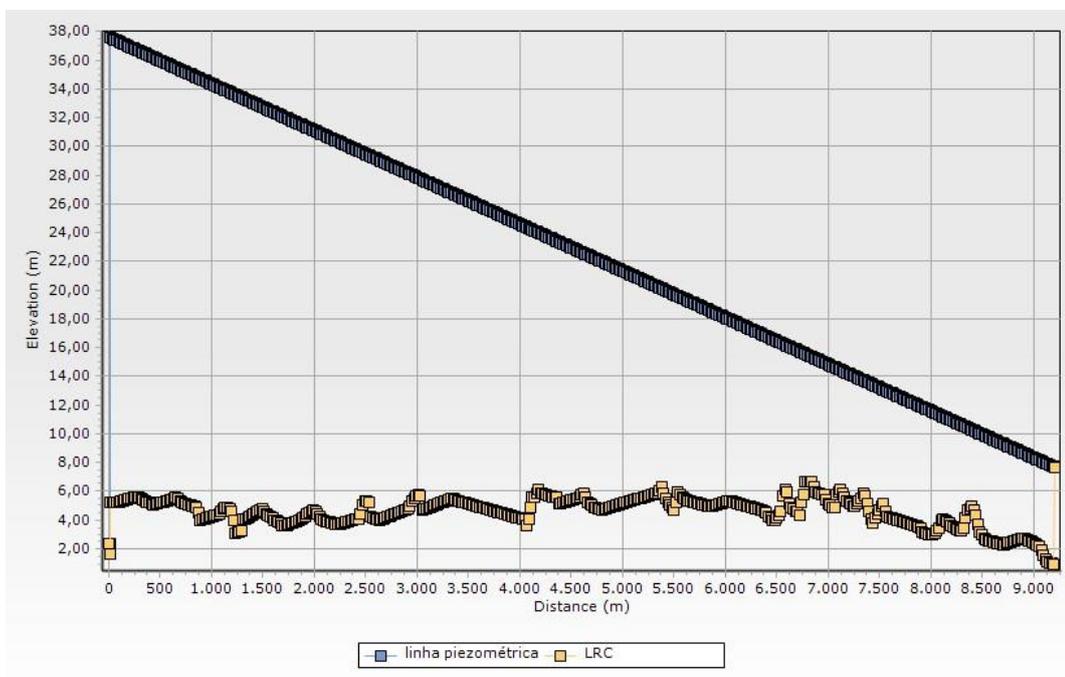
APÊNDICE – GRÁFICOS LINHA PIEZOMÉTRICA E PERFIL LRC

Figura 19 - Gráfico linha piezométrica e perfil LRC de Viamão



Fonte: Autor

Figura 20 - Gráfico linha piezométrica e perfil LRC Xangri-lá



Fonte: Autor