



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANNE LOUISE MATOS BARÃO OLIVEIRA

CALCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA DE REDES DE  
TUBULAÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS.

Anne Louise Matos Barão Oliveira

CALCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA DE REDES DE  
TUBULAÇÃO UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO.

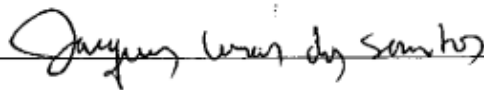
Trabalho de conclusão de Curso submetido à Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia mecânica. Sob a orientação do Professor Doutor: Jacques Cesar Santos.

João Pessoa, 2019

CALCULO DA ALTURA MANOMÉTRICA DE REDES DE  
TUBULAÇÃO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS.

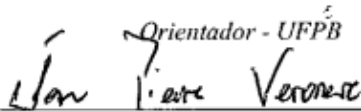
Por

Anne Louise Matos Barão Oliveira



---

Dr. Jacques Cesar Santos

*Orientador - UFPB*  


---

Dr. Jean Pierre Veronese

*Examinador interno - UFPB*



---

Dr. Koje Daniel Vasconcelos Mishina

*Examinador externo - UFPB*

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por me proporcionar a vida e dar-me forças em momentos difíceis e a oportunidade de concluir o curso dos meus sonhos, aos meus pais por serem suporte e oferece apoio incondicional mesmo estando longe a minha família que sempre me ajudou tia Sônia, tia Flor, tia Ceíça, tio Zé, tio Vicente, tio Manelito, tio Gilson, tia Silda, tia Fatima, meu irmão meus primos queridos Minha madrinha Rosininha uma pessoa muito especial que tenho muita admiração.

Ao meu orientador professor Jacques Cesar, por sua paciência, criatividade e forma alegre de ser, por seus ensinamentos e disponibilidade para ajudar-me a concluir este trabalho. Agradeço ao professor Jean Pierre por ser um excelente professor ser sempre solícito com seus alunos e pela disponibilidade na avaliação deste trabalho. Agradeço também ao professor koje Daniel que é um profissional excelente, calmo e atencioso com seus alunos e por sua disponibilidade na avaliação deste trabalho. Agradecimento especial a Júlio César que é minha nova família em João pessoa. Amigos mais que especiais Ruhama, Danielle, Mikaele, Tainara, Felipe, Dener, Lucas, que fiz e que tornaram minha estadia em João Pessoa mais agradável. A todos os professores do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal da Paraíba.

## **RESUMO**

O dimensionamento de redes de tubos é um trabalho de suma importância, sendo importante para várias indústrias e sistemas, como por exemplo, petroquímicas, sucroalcooleiras, sistemas de abastecimento de água, dentre várias outras. O presente trabalho apresenta um estudo do cálculo de um sistema de tubulação utilizando o método do algoritmo genético através do Libre Office com o intuito de encontrar a solução ótima do sistema através do seu ponto de funcionamento. Com o intuito de maximizar a economia na sua instalação, e poder prevê onde seu projeto pode ser aperfeiçoado, o uso do método adotado neste trabalho pode trazer melhorias significativas, que no caso da indústria a otimização do tempo e a redução de custos são sempre bem vindas.

Palavras chaves: Algoritmo genético, Otimização, rede de tubulação, projetos, calculo de projeto, altura manométrica.

## **ABSTRACT**

Sizing pipe networks is a very important work and is vital for many industries and systems, such as petrochemicals, sugar and alcohol, water supply systems, among many others. The present work presents a study of the calculation of a piping system using the genetic algorithm method through the free office in order to find the optimal solution of the system through its working point. In order to maximize the economics of your installation, and to be able to predict where your project can be improved, the use of the method adopted in this work can bring significant improvements, which in the case of industry the optimization of time and cost reduction are always good.

Keywords: Genetic algorithm, Optimization, pipe network, gas network, project. project calculation, head height.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diâmetro hidráulico (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, 2015). .....	14
Figura 2. O desenvolvimento da camada limite (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, (2015)). .....	15
Figura 3: Tubo em série (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, (2015)). .....	16
Figura 4: Tubo em paralelo (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, (2015)). .....	17
Figura 5: Esquema do modelo proposto .....	20
Figura 6: Funcionamento do Algoritmo genético.....	23
Figura 7: Ponto de funcionamento.....	25
Figura 8. Representação rede 1 (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, 2015) .....	28
Figura 9 Representação da rede 2 (Adaptado de Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, 2015).....	30
Figura 10: Representação do problema 3. ....	31
Figura 11: Libre Officer – Disposição das células .....	32
Figura 12: Libre Office – Equações utilizadas .....	32
Figura 13 Libre Office, ferramentas .....	33
Figura 14: Libre Office Solver .....	33
Figura 15: Libre Office, resolver. ....	33
Figura 16: Configuração do Solver .....	34
Figura 17: Configuração do Solver .....	34
Figura 18: Libre Office resultados do solver.....	34
Figura 19: Libre Office Resultados do solver .....	35
Figura 20: Curva do exemplo 3 .....	36
Figura 21: Representação do exemplo 4.....	37
Figura 22: Curva de funcionamento do exemplo 4 .....	38
Figura 23: Representação do sistema .....	39
Figura 24: Curva do exemplo 5 .....	41
Figura 25: Representação do sistema 6 .....	41
Figura 26: Curva do Sistema 6 .....	43

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Resultados Libre Officer rede 1.....	29
Tabela 2: Resultados Libre Office exemplo 2.....	30
Tabela 3 Resultado Libre office problema 3.....	35
Tabela 4: Tabela da curva de funcionamento do exemplo 3.....	36
Tabela 5 Resultado do libre Office do exemplo 4.....	37
Tabela 6: Tabela da curva de funcionamento do Exemplo 4.....	38
Tabela 7 Resultados para o anel 1.....	39
Tabela 8 Resultados para o anel 2.....	40
Tabela 9 Valores para curva de funcionamento 5.....	40
Tabela 10 Resultados no Libre Office do exemplo 6.....	42
Tabela 11 Tabela da curva do sistema 6.....	43

## LISTA DE SÍMBOLOS

$Re$	-	Numero de Reynolds (Adimensional)
$V_{med}$	-	velocidade média do fluxo (m / s)
$D$	-	comprimento característico da geometria (diâmetro, neste caso, em m)
$\nu$	-	viscosidade cinemática de o fluido ( $m^2 / s$ ).
$\dot{V}_B$	-	Vazão no ponto B ( $m^3/s$ )
$\Delta h_{L\ 1-2}$	-	Perda de carga no comprimento de 1 para 2. (m)
$P$	-	pressão ( $N/m^2$ )
$V$	-	velocidade (m/s)
$Z$	-	altura em relação ao nível de referencia (m)
$\gamma$	-	Peso especifico do liquido ( $kgf/m^3$ )
$g$	-	constante gravitacional ( $m/s^2$ )
$h_f$	-	perda de carga entre 1 e 2 (m)
$f$	-	fator de atrito (Adimensional e Depende do regime de escoamento)
$L$	-	comprimento do tubo;
$D$	-	Diâmetro do tubo (m).
$\alpha$	-	10,6792;
$Q$	-	Vazão ( $m^3/s$ );
$C$	-	Coefficiente de rugosidade Hazen-Williams (adimensional)
$\dot{W}_{Elect}$	-	Potencia da bomba (kW)
$\eta_{bomba\ -motor}$	-	Rendimento da bomba (%)
$H$	-	Altura manometrica (m)
$H_a$	-	Altura estática de aspiração (m)
$H_r$	-	Altura estática de recalque (m)
$J_a$	-	Perda de carga de aspiração unitária (m)
$J_r$	-	Perda de carga de recalque unitária (m)

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	11
1.1	OBJETIVOS .....	12
2.	MOTIVAÇÃO .....	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	PROJETOS DE TUBULAÇÕES .....	18
2.2	ALGORITMOS GENÉTICOS .....	18
4.	METODOLOGIA .....	20
3.1	<i>LIBRE OFFICE</i> CALCULO - <i>SOLVER</i> .....	20
3.2.	UTILIZAÇÃO DOS ALGORITMOS GENÉTICOS.....	21
3.2.1	Esboço Básico do Algoritmo Genético .....	22
3.2.2	Representação dos cromossomos .....	23
3.2.3	Tamanho da população.....	23
3.2.4	Probabilidade de Cruzamento .....	24
3.2.5	Probabilidade de recombinação .....	24
3.2.6	Probabilidade de mutação .....	24
3.2.7	Restrições e penalidades.....	25
3.2.8	Estratégia de seleção.....	25
3.3	CURVA DE DESEMPENHO DO SISTEMA .....	25
3.3.1	Curva do sistema .....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	27
4.1	ESTUDO DE CASO 1.....	27
4.1.1.	Libre Office, exemplo 1 .....	28
4.2	ESTUDO DE CASO 2.....	29
4.2.1	Libre Office, exemplo 2 .....	30
4.3	ESTUDO DE CASO 3.....	31
4.3.1.	Libre Office .....	35
4.4	ESTUDO DE CASO 4.....	36
4.4.1	Libre Officer.....	37
4.5	ESTUDO DE CASO 5.....	38
4.5.1	Libre Office .....	39
4.6	ESTUDO CASO 6.....	41

4.6.1 Libre Office .....	42
5 CONCLUSÕES.....	44
6 REFERÊNCIAS .....	45

# 1. INTRODUÇÃO

Um projeto de rede de tubulação é uma grande necessidade em indústrias seja para transportes de fluidos, armazenamento, processamento distribuição e etc. Todas essas utilidades podem ser produzidas por líquidos, gases, vapores. O foco deste trabalho será a análise do sistema em si e como projetá-lo em uma primeira tentativa de se conseguir um método para alunos de graduação poder ter acesso, pois está disposta uma forma simples para os mesmo poderem iniciar projetos em rede de tubulações.

A necessidade de otimizar uma rede vem do fato de sua construção e até mesmo manutenção serem de valores altos, seus prejuízos podem causar inconvenientes a quem está custeando o projeto, buscar seu aproveitamento máximo é a solução para compensar o alto investimento.

O dimensionamento, no passado era feito de acordo com a experiência do projetista e no processo de tentativa e erro com base na seleção de alternativas disponível no projeto. Sendo assim, as melhores alternativas tinham seu comportamento analisado, sendo então escolhida a alternativa de menor custo que atendesse os critérios requeridos. À medida que as cidades foram crescendo e os sistemas das grandes metrópoles ficaram mais complexos, e os procedimentos do passado se tornaram insuficientes novos métodos começaram a ser estudados, com o intuito de assegurar que a solução efetivamente estava entre as de menor custo.

Com a disponibilização ocorrida nas duas últimas décadas de computadores pessoais, de grande capacidade e baixo custo, foi possível o desenvolvimento de modelos que permitissem a avaliação do comportamento da rede em regime permanente de forma bastante ágil, possibilitando também o desenvolvimento de técnicas de otimização de projetos e de operação das redes de distribuição de água. Entre estas técnicas destaca-se a aplicação dos algoritmos genéticos, que têm se mostrado um eficiente método para a solução de problemas não lineares de otimização, tendo conquistado aceitação entre os pesquisadores.

O trabalho de conclusão de curso se inicia com as motivações para este estudo e seus objetivos, a introdução se divide em mecânica dos fluidos mais especificamente sobre as equações utilizadas neste trabalho e sobre o escoamento e seus regimes depois se falou sobre projetos de redes de tubulações e algoritmos genéticos. Em metodologia se aprofundou sobre o programa Libre Office, e em como explicar o funcionamento do algoritmo genético e por fim deste capítulo uma breve explicação sobre a curva do sistema para o cálculo de altura manométrica. No capítulo de resultados e discussão apresentou-se os modelos estudados para desenvolvimento do método e discutiu-se os mesmos. Na conclusão foi dito o quanto satisfatório foi o método para o que foi proposto.

## 1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos desenvolver e implementar um método para facilitar projetos para o dimensionamento de redes de tubulação de fluidos, como o próprio livro de mecânicas dos fluidos do Çengel afirma: esse tipo de cálculo é um pouco avançado para o nível da graduação. Espera-se obter com este trabalho uma forma mais simples de lidar com esse conteúdo, iniciando alunos no dimensionamento de projetos, mesmo que simples, tendo em vista que este modelo é inicial, avaliando o comportamento e as variações da técnica dos algoritmos genéticos.

Visa, também, verificar a eficiência e a robustez do modelo proposto para conseguir a cura de funcionamento de sistemas. Analisando os resultados em relação à convergência. O algoritmo permite determinar valores de vazão que se pretende trabalhar, pois geralmente neste tipo de projeto já pode vir com vazões pré-definidas.

## 2.MOTIVAÇÃO

Para o Çengel a análise de redes de tubulação é muito semelhante à análise de circuitos elétricos. No entanto, a situação é muito mais complexa aqui, pois, diferentemente da resistência elétrica, o "Resistência ao escoamento" é uma função altamente não linear. Portanto, a análise de redes de tubulação requer a solução simultânea de um sistema não linear equações, que requer software como EES, Mathcad, Matlab, etc. ou software comercialmente disponível projetado especificamente para tais aplicativos.

Este trabalho tem um intuito de desenvolver uma forma simples de se resolver as equações não lineares das redes de tubulação utilizando de algoritmos genéticos que é muito utilizado em casos de rede de distribuição de água. Aqui qualquer pessoa que saiba utilizar o básico de planilha e tenha estudado o que se quer projetar pode utilizar o método aqui desenvolvido para facilitar os cálculos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A mecânica dos fluidos é a ciência que analisa o comportamento físico dos fluidos, com base na mecânica e na termodinâmica. Para o dimensionamento de redes faz-se necessário uma revisão sobre os conceitos de fundamentos hidráulicos e do próprio comportamento do fluido.

De acordo com BRUNETTI, F. (2008), regime de escoamento é dito laminar quando as partículas se deslocam em lamina individualizadas sem troca de massas entre elas e o turbulento caracterizada por as partículas apresentam um movimento aleatório macroscópico, isto é, a velocidade apresenta componentes transversais ao movimento geral do conjunto do fluido.

A transição do escoamento laminar para turbulento depende da geometria, superfície rugosidade, velocidade de fluxo, temperatura da superfície e tipo de fluido, entre Outras coisas. Depois de exaustivos experimentos na década de 1880, Osborne Reynolds descobriu que o regime de fluxo depende principalmente da razão de forças inerciais a forças viscosas no fluido. Essa relação é chamada de Reynolds número e é expressa para o fluxo interno em um tubo circular como:

$$Re = \frac{\rho V_{med} D}{\mu} \quad (1)$$

Onde:  $V_{med}$  = velocidade média do fluxo (m / s);

$D$  = comprimento característico da geometria (diâmetro, neste caso, em m);

$\nu = \mu/\rho$  = viscosidade cinemática do fluido ( $m^2 / s$ ).

Em altos números de Reynolds, as forças inerciais são grandes em relação a as forças viscosas e, portanto, as forças viscosas não podem impedir as mobilidades rápidas do fluido. Em números pequenos ou moderados de Reynolds, no entanto, as forças viscosas são grandes o suficiente para diminuir essas mobilidade e manter o fluido "em linha". Assim, o escoamento é turbulento no primeiro caso e laminar no segundo. Para escoamentos através de tubos não circulares, o número de Reynolds é baseado no diâmetro hidráulico  $D_h$  representado na figura1. (YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, (2015), p 349-351.).

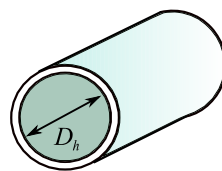


Figura 1. Diâmetro hidráulico (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, 2015).

$$D_h = \frac{4 \left( \frac{\pi D^2}{4} \right)}{\pi D} \quad (2)$$

$Re \leq 2300$  Escoamento laminar;

$2300 \leq Re \leq 4000$  Escoamento de transição;

$Re \geq 4000$  Escoamento turbulento.

A região do escoamento em que os efeitos das forças de cisalhamento viscoso causada pela viscosidade do fluido são sentidos é chamada de camada limite. A superfície limite hipotética divide o escoamento no tubo em duas regiões: a região da camada limite, em que os efeitos viscosos e as mudanças de velocidade são significativos, e os efeitos irrotacionais região de fluxo (núcleo), em que os efeitos de atrito são desprezíveis e a velocidade permanece essencialmente constante na direção radial (YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, (2015), p 350-352.).

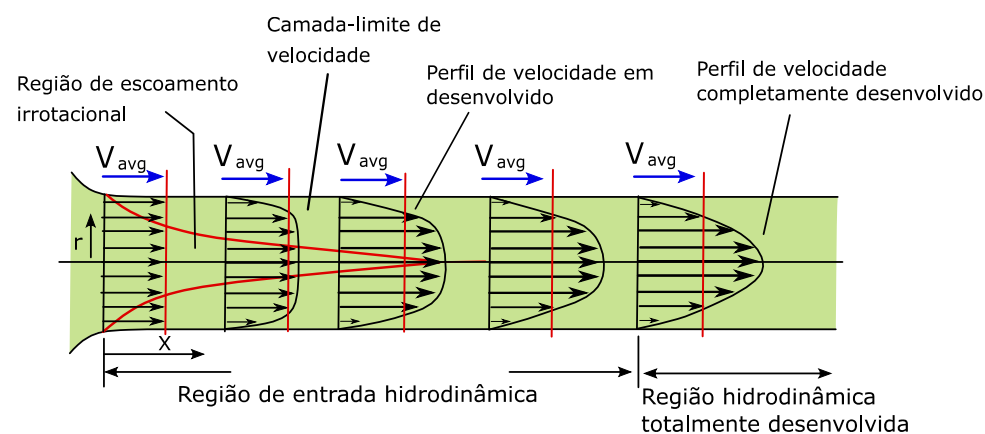


Figura 2. O desenvolvimento da camada limite (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, (2015)).

O escoamento é dito unidimensional quando uma única coordenada é suficiente para descrever as propriedades dos fluidos. Para que isso aconteça é necessário que as propriedades sejam constantes em cada seção (figura 2). Observa-se em um escoamento bidimensional em que a variação da velocidade é em função de duas coordenadas  $x$  e  $y$ . Note que com o aumento do número de dimensões as equações se complicam e é sempre que possível de vazão e velocidade média na seção conveniente escrever o escoamento de maneira unidimensional (BRUNETTI, F 2008).

A maioria dos escoamentos encontrados na prática de engenharia é turbulenta e, portanto, é importante entender como a turbulência afeta a tensão de cisalhamento da parede. Contudo, escoamento turbulento é um mecanismo complexo dominado por flutuações, e apesar de enormes quantidades de trabalho feito nesta área por pesquisadores, fluxo turbulento ainda não é totalmente compreendido.

Portanto, devemos confiar em experimentos e na correlação empírica ou semi-empírica desenvolvidas para várias situações. O escoamento turbulento é caracterizado por flutuações desordenadas e rápidas de turbilhonamento regiões de fluido, chamadas vórtices, ao longo do escoamento. Estes flutuações fornecem um mecanismo adicional

para transferência do momento e energia (YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, 2015).

Depois de conhecida às condições de escoamento dentro de um tubo precisa-se entender o sistema estudado, por este motivo, vamos a definição que de acordo com SOUZA, R.S. 1994, “Um sistema de distribuição de água é definido como qualquer arranjo de tubos que tem como propósito transportar água ao consumidor. Esse sistema é considerado como uma coleção de vários tipos de componentes que são interligados em uma pré-determinada maneira”.

A maioria dos sistemas de tubulação encontrados na prática, como a distribuição de água sistemas em cidades ou estabelecimentos comerciais ou residenciais envolvem numerosas conexões paralelas e em série, bem como diversas fontes (fornecimento de fluido no sistema) e cargas (descargas de fluido do sistema). Um projeto de tubulação pode envolver o projeto de um novo sistema ou expansão de um sistema existente.

O objetivo de engenharia em tais projetos é projetar um sistema de tubulação que entregue de forma confiável as vazões especificadas a pressões especificadas no total mínimo (inicial mais operação e manutenção) custo. Uma vez que o layout do sistema é preparado, a determinação de os diâmetros dos tubos e as pressões em todo o sistema, permanecendo dentro das restrições orçamentárias, geralmente requer a solução do sistema repetidamente até que a solução ótima seja alcançada. Modelagem e análise de computadores de tais sistemas tornam esta tarefa tediosa uma tarefa simples.

Os sistemas de tubulação normalmente envolvem vários tubos conectados uns aos outros, em série e paralelo, como mostrado nas Figuras 3 e 4. Quando os canos estão conectados em série, a taxa de fluxo através de todo o sistema permanece constante independentemente dos diâmetros dos tubos individuais no sistema. Essa é uma consequência natural do princípio de conservação de massa para um escoamento estacionário incompressível. A perda de carga total neste caso é igual à soma das perdas de cargas em tubos individuais no sistema, incluindo as perdas menores. As perdas por expansão ou contração nas conexões são consideradas como pertencentes à tubo de menor diâmetro, pois os coeficientes de perda de expansão e contração são definido com base na velocidade média no tubo de menor diâmetro (YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, 2015).

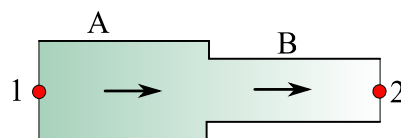


Figura 3: Tubo em série (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, (2015)).

$$\dot{V}_A = \dot{V}_B \quad (3)$$

$$h_{L\ 1-2} = h_{L\ A} + h_{L\ B} \quad (4)$$

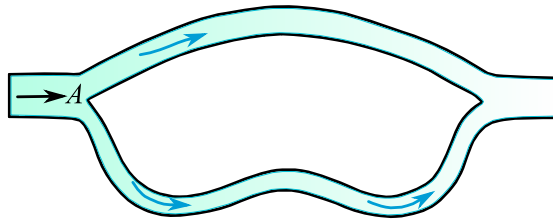


Figura 4: Tubo em paralelo (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, (2015)).

$$h_{L1} = h_{L2} \quad (5)$$

$$\dot{V}_A = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \quad (6)$$

A análise em regime permanente de sistemas de distribuição de água é um problema de grande importância na engenharia. As equações hidráulicas, que descrevem o comportamento do sistema, são equações algébricas não lineares e que não podem ser resolvidas algebricamente (SOUZA, 1994).

Utilizando algumas condições hidráulicas chega-se a solução para uma determinada rede de distribuição:

- A soma das vazões em qualquer nó é zero;
- A relação de perda de carga e vazão é satisfeita para cada elemento.
- A energia piezométrica em um nó é a mesma para todos os trechos ligados a este nó;

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f \quad (7)$$

Onde:

P = pressão (N/m<sup>2</sup>);

V = velocidade (m/s);

Z = altura em relação ao nível de referencia (m);

$\gamma$  = peso específico do líquido (kgf/m<sup>3</sup>);

g = constante gravitacional (m/s<sup>2</sup>);

$h_f$  = perda de carga entre 1 e 2 (m).

A perda de carga encontrada pela equação (3) pode ser: as perdas de carga lineares que resultam do atrito do fluido nas paredes internas das tubulações e as perdas de carga singulares que ocorrem pela turbulência causada pelos desvios de peças ao longo da rede. As perdas de carga lineares são formadas por meio de equações empíricas desenvolvidas em condições experimentais distintas. As duas equações mais utilizadas são *Darcy-Weisbach* e *Hazen-Williams* estas equações também serão usadas no nosso estudo de caso.

A equação de *Darcy-Weisbach* (D-W) foi criada pelo engenheiro Henry Darcy e o professor de matemática Julius Weisbach. É recomendada pela NBR12218 (1994), o fato dela poder ser utilizada para qualquer líquido e tubulação a torna mais abrangente e utiliza todos os parâmetros básicos dos quais depende a perda de carga podem ser fatores que explicam essa recomendação.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Onde:

$f$  = fator de atrito (Adimensional e Depende do regime de escoamento e da rugosidade do duto);

$L$  = comprimento do tubo;

$D$  = Diâmetro do tubo (m).

Desenvolvida pelo engenheiro civil Allen Hazen e pelo professor de hidráulica Garden Williams no início do século XX. A equação de Hazen-Williams (H-W) é aconselhada para tubulações com diâmetros maiores que 100 mm.

$$\Delta h = \left( \frac{V}{0,355 CD^{0,64}} \right)^{1,85} L \quad (9)$$

$C$  = Coeficiente de rugosidade Hazen-Williams (adimensional).

## 2.1 PROJETOS DE TUBULAÇÕES

O projeto de uma rede de tubulação pode ser isolado ou como é mais frequente parte de um projeto integrado de uma instalação completa que inclui projetos de várias especialidades da engenharia. Em um projeto de tubulação tem-se o trabalho de desenho, cálculo e dimensionamento. Para cada tubulação tem que se atingirem as seguintes metas: condução entre dois pontos com valores aceitáveis; segurança na operação; ser produzidos trabalhos de construção montagem e manutenção com facilidade e segurança; conseguir um traçado que garanta flexibilidade em qualquer condição de operação. (TELLES (1997)).

Um projeto tem sempre a necessidade de vazão ou alguma característica inicial que vai trazer a motivação de construção por isso se faz necessário um fluxograma de processos onde os primeiros desenhos são feitos com as principais interligações entre os condutos com essa ideia inicial pode começar a pensar em dimensionar o sistema através da análise de pontos que facilitarão o cálculo.

Em projetos extensos há superposições para economia de tempo e pela dependência das características necessárias para dimensionamento completo, pensando nisso utilizar o método proposto neste documento para solucionar o início de algum dimensionamento de um sistema maior, em pontos onde possa ser identificado características que possa ser facilmente dispostas na planilha e restrições caso haja alguma.

## 2.2 ALGORITMOS GENÉTICOS

A teoria que fez surgir os algoritmos genéticos foi ideia de HOLLAND em 1975 e melhorada por GOLDBERG em 1989 e outros pesquisadores na década de 80. Há uma comparação com a teoria da evolução onde se cria em computador um conjunto de soluções que se chama população. Cada indivíduo da população é representado por um conjunto de restrições que descreve as variáveis da solução.

Com a geração de possíveis candidatos à solução a otimização estocástica procura conjunto de técnicas de aperfeiçoamento onde a busca varre a população atrás da melhor escolha com auxílio de um gerador de valores não tão aleatórios. O progresso deste processo traz a mudança de distribuição de probabilidade pelo qual um novo candidato à solução é gerado baseado no início do processo. Pela estocástica não se pode garantir que a solução ótima seja encontrada utilizando algoritmo genético porém a aplicação desta técnica apresenta uma alta taxa de soluções boas.

A população inicial é avaliada individualmente os melhores valores satisfazem a função objetivo depois de mudar esses valores eles serão base para gerar uma nova população. Para obter “descendentes” de uma geração são aplicados três tipos de operadores:

- Seleção: escolha dos cromossomos da população que serão selecionados para a reprodução e, em média, os cromossomos mais aptos produzem mais descendentes do que os menos aptos.
- Recombinação: intercâmbio de sub-partes de dois cromossomos, imitando de forma grosseira a recombinação que ocorre entre dois cromossomos biológicos.
- Mutação: mudança aleatória do valor do alelo em uma determinada posição do cromossomo.

Os algoritmos genéticos diferem da maioria dos métodos tradicionais de busca e otimização de quatro maneiras (GOLDBERG, D., KUO, C.H. (1987)):

- Trabalham não só com os parâmetros propriamente ditos, mas também com a codificação dos parâmetros;
- Trabalham a partir de um grupo de soluções, não com solução única;
- Utilizam diretamente a função objetivo e não suas derivadas ou outro conhecimento auxiliar;
- Utilizam regras probabilísticas e não regras determinísticas.

Os primeiros trabalhos dos criadores do algoritmo genético demonstram sua versatilidade e capacidade para atingir boas soluções em casos de funções multimodais, descontínuas e não diferenciáveis escolha de bombas e sua localização em sistemas de distribuição extensos, bombas de recalque e válvulas de pressão, da localização e dimensionamento de sistemas resultem em reserva de incêndios e de emergência mais eficiente.

Em um sistema pequeno essa técnica de algoritmo genético é efetiva devem ser considerados erros que a solução contínua para diâmetros discretos podem gerar. Uma classe completa de alternativas de soluções próximas ao ponto ótimo é gerada, alguma destas alternativas pode ser superior à solução ótima, baseando-se em aspectos não quantitativos, tais como confiabilidade, critérios de qualidade da água e operação da rede. Este é o maior benefício do método dos algoritmos genéticos. A técnica dos algoritmos genéticos em sua gênese e posteriormente em seu desenvolvimento pode proporcionar um aperfeiçoamento nesta busca para problemas práticos.

## 4. METODOLOGIA

Um método de solução eficiente para o dimensionamento de projetos de redes de tubulação, consiste em utilizar-se de uma função que minimiza as perdas, a um modelo de otimização não linear. Este modelo pode considerar diversas condições de demandas e várias combinações das variáveis de projeto.

A aplicação prática do método de otimização proposto por esse trabalho consiste na utilização de modelo de otimização feito no Libre Office com os dados de entradas e encontrado a curva de funcionamento do sistema através da função objetivo para distintas vazões requeridas nos sistemas, pode-se utilizar o algoritmo genético para selecionar a melhor população para se adequar a tubulação. Este processo é esquematizado e representado na figura 5.

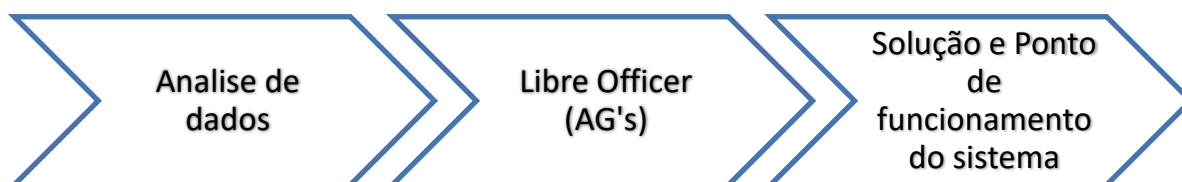


Figura 5: Esquema do modelo proposto

### 3.1 LIBRE OFFICE CALCULO - SOLVER

Uma empresa pequena chamada *StarDivision*, Alemã, desenvolvia uma suíte de aplicativos para escritório. A Sun, uma grande companhia de software, antevendo a briga pelas suítes de escritório, compra-a e absorve o trabalho da suíte, em 1999. Em 2000, a Sun liberou o código-fonte da suíte sob as licenças LGPL/SSSL, com o nome comercial *StarOffice 5.0*. A comunidade *Open Source* lança, ainda em 2000, a primeira versão livre do pacote (suíte) *OpenOffice*. No Brasil, houve problemas com a marca *OpenOffice*. Em 1998, uma empresa do Rio de Janeiro (BWS Informática) registrou a marca “Open Office” junto ao INPI. Dado o sucesso da marca / suíte *OpenOffice*, a companhia carioca que havia registrado o nome Open Office perpetrou uma campanha

de ameaças de processos por uso indevido da sua marca, obrigando a comunidade brasileira a adotar um novo nome: BrOffice.org.

Após algum tempo a *Sun* é adquirida pela Oracle, a conhecida gigante do mundo dos Bancos de Dados Corporativos. Com a aquisição da Sun, no que tange a SL e suas especificidades, a comunidade internacional se viu compelida a adotar uma nova marca para a sua suíte, ao mesmo tempo aproveitando todo o código-fonte existente do *OpenOffice*. Foi criada assim a *OpenDocument Foundation*, já contando com o aporte de importantes programadores de companhias como a IBM, Canonical, BrOffice.org, Collabora, FSF (*Free Software Foundation*), dentre muitas outras, além, é claro, de toda ajuda desta e de outras companhias em questões extra desenvolvimento, como, por exemplo, questões jurídicas.

A interface do Libre Office já recebe, por ora, inúmeras sugestões de redesenho; o Projeto Renaissance, por exemplo, que provê para o LibreOffice uma interface similar ao Ribbon, da suíte da Microsoft (Office 2007 em diante) é uma sugestão de interface a ser submetida ao público. Na verdade, são ambos o mesmo software. Provavelmente, após a conclusão do processo de migração / bifurcação. Ao visitar o site <http://www.documentfoundation.org/> ver-se-á o manifesto da fundação, que diz: Pelos motivos aqui elencados, doravante adotaremos Libre Office para nos referimos ao pacote, salvo menção em contrário (*LibreOffice Modular.Apostila.(2014)*).

O Libreoffice incorpora várias aplicações que a tornam a mais avançada suíte de escritório livre e de código aberto do mercado. O processador de textos Writer, a planilha Calc, o editor de apresentações Impress, a aplicação de desenho e fluxogramas Draw, o banco de dados Base e o editor de equações Math são os componentes do Libreoffice. Em sua planilha há diversas ferramentas e o Solver é uma ferramenta em que possui a opção de se utilizar o algoritmo genético ao seu favor.

### 3.2. UTILIZAÇÃO DOS ALGORITMOS GENÉTICOS

Os algoritmos genéticos são métodos de busca estocástica que imitam matematicamente os mecanismos de evolução natural da espécie. Diferem das técnicas de busca convencionais, pois iniciam o processo gerando um conjunto inicial de soluções possíveis aleatoriamente. A força dos algoritmos genéticos vem em grande parte do paralelismo implícito, isto é, a alocação simultânea dos esforços de busca a várias regiões do espaço amostral (GREFENSTETTE, J.J.; BAKER, J.E. (1989)).

A população é conjunto de soluções aleatórias. Cada indivíduo desta população é em geral chamado de cromossomo e constitui uma representação completa de solução para o problema. O trabalho denominará os cromossomo de elementos ou as vazões. O cromossomo ou elemento é um conjunto, cujos genes ou características podem ser codificados através de representação binária ou real.

O processo de seleção forma uma nova geração, segundo a qual os cromossomos que resultem em altos valores da função objetivo possuem elevada probabilidade de

serem preservados para a próxima geração. Em seguida os melhores são selecionados, baseado na aptidão dos indivíduos, para serem recombinados para que seja obtida a geração seguinte.

Dependendo da apuração da função objetivo e aptidão que ele produz cromossomo da população inicial pode ser selecionado para produzir os indivíduos das gerações seguintes. O indivíduo com melhor aptidão terá probabilidade maior de ser selecionado que os de baixa aptidão, resultando em uma geração com média de adequação melhor que a geração anterior. A sua solução ótima ou sub-ótima do problema vem pós várias gerações e conversão algoritmo.

Quem também desempenha um papel importante na fase de reprodução é a mutação, não tendo, porém um efeito dominante. Os cromossomos tendem a evoluir-se gradativamente através de sucessivas iterações produzindo novas gerações de indivíduos mais aptos ou capazes em termos da função de aptidão.

Para implementação dos algoritmos genéticos em termos da sistemática de representação das soluções (binária ou real) há diversas possibilidades, número de indivíduos da população de soluções, número de iterações e critérios de convergência, operadores genéticos e parâmetros a serem adotados como as probabilidades de recombinação e mutação. A seguir são apresentadas as sistemáticas e características principais nas diversas etapas de implementação do método.

### 3.2.1 Esboço Básico do Algoritmo Genético

**Início:** Gerar uma população aleatória de  $n$  cromossomas (soluções adequadas para o problema)

**Adequação** Avaliar a adequação  $f(x)$  de cada cromossoma  $x$  da população

**Nova população:** Criar uma nova população repetindo os passos seguintes até que a nova população esteja completa

**Seleção:** Selecionar de acordo com sua adequação (melhor adequação, mais chances de ser selecionado) dois cromossomas para serem os pais.

**Cruzamento:** Com a probabilidade de cruzamento cruzar os pais para formar a nova geração. Se não realizar cruzamento, a nova geração será uma cópia exata dos pais.

**Mutação:** Com a probabilidade de mutação, alterar os cromossomas da nova geração nos locus (posição nos cromossomas).

**Aceitação:** Colocar a nova descendência na nova população

**Substitua:** Utilizar a nova população gerada para a próxima rodada do algoritmo

Teste: Se a condição final foi atingida, parar, e retornar a melhor solução da população atual (MAREK OBITKO(1998)).

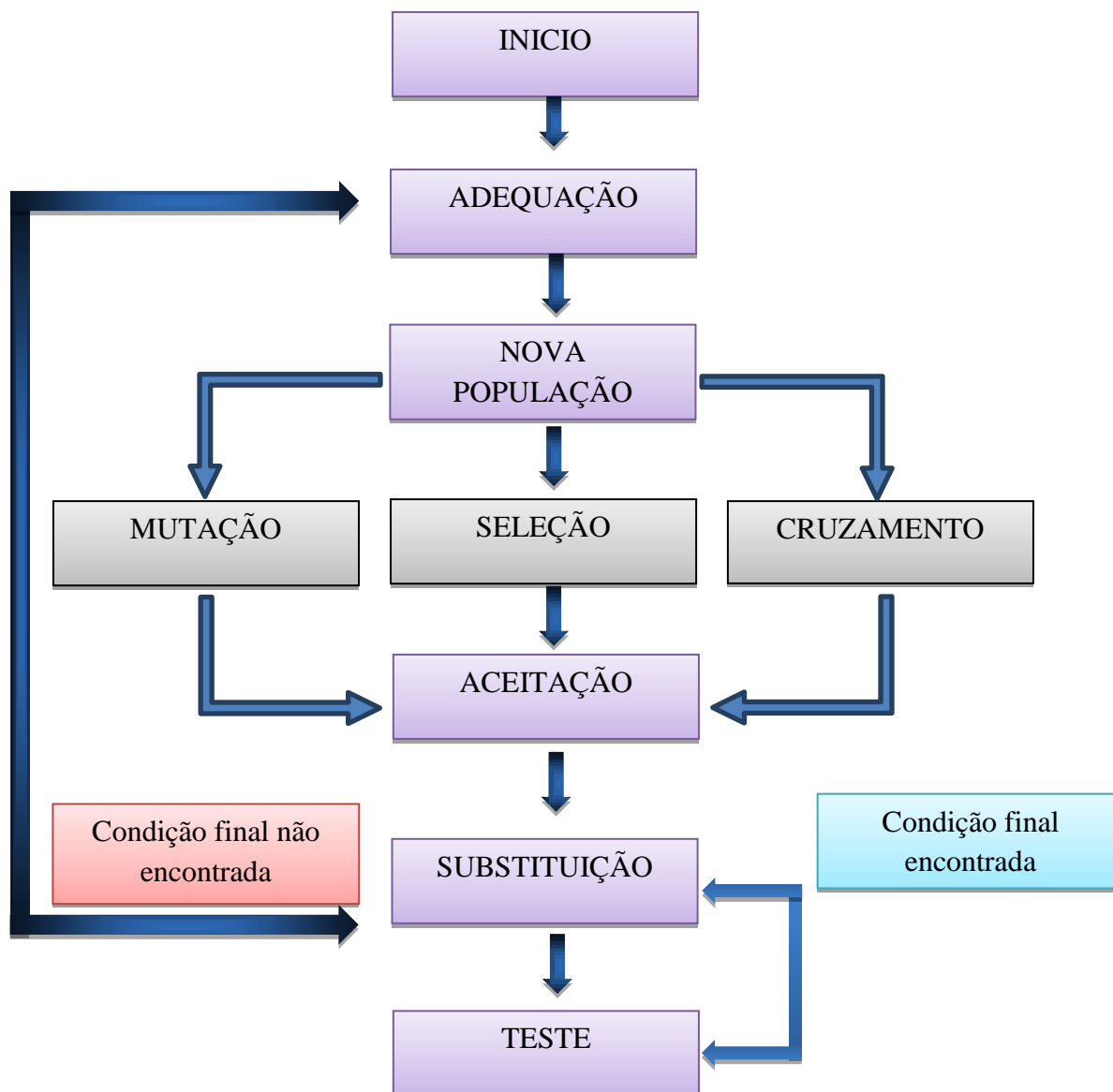


Figura 6: Funcionamento do Algoritmo genético.

### 3.2.2 Representação dos cromossomos

O método dos algoritmos genéticos será aplicado utilizando-se números reais para a representação dos indivíduos ou cromossomos, e para que os mesmos sejam gerados serão obtidos aleatoriamente números inteiros variando e que correspondem em todos os diâmetros disponíveis.

### 3.2.3 Tamanho da população

O tamanho da população afeta tanto o desempenho como a eficiência dos algoritmos genéticos. Ao se adotar uma população pequena o desempenho do algoritmo é insatisfatório, pois a mesma não é capaz de fornecer um exemplo apropriado do

espaço de busca (GREFENSTETTE, J.J. (1986)). Uma grande população, apesar de desejável por evitar a convergência prematura a uma solução sub-ótima, pode resultar em tempo de processamento inaceitável com uma taxa de convergência excessivamente lenta.

Se houver poucos cromossomas, o algoritmo genético terá poucas possibilidades de realizar cruzamentos e somente uma parte pequena do espaço de soluções será explorada. Por outro lado, se houver muitos cromossomas, os algoritmos genéticos tornar-se-ão lentos. Pesquisas mostram que após determinado limite (que depende principalmente da codificação e do problema), não é conveniente aumentar a população porque isso não resolve o problema mais rapidamente do que com tamanhos moderados de população. (MAREK OBITKO(1998)).

### **3.2.4 Probabilidade de Cruzamento**

Se não houver cruzamento, a descendência é uma cópia exata dos pais. Ocorre que o cruzamento a descendência é constituída de partes dos cromossomas de ambos os pais. Se a probabilidade de cruzamento é 100%, então toda a descendência é produzida por cruzamento. Se a probabilidade é 0%, toda a nova geração é formada por cópia exata dos cromossomas da população antiga.

Os cruzamentos são realizados na esperança de que os novos cromossomas contenham partes boas dos cromossomas antigos e que, portanto os novos cromossomas serão melhores. Entretanto, é bom deixar uma parte da antiga população sobreviver para a próxima geração. (MAREK OBITKO,1998).

### **3.2.5 Probabilidade de recombinação**

A probabilidade de recombinação controla a frequência com a qual o operador de recombinação é aplicado. Em cada nova geração elementos sofrem recombinação. Quanto mais altas a taxa de recombinação, mais rapidamente novas estruturas são introduzidas na população. Se uma taxa de recombinação é excessivamente alta, elementos de bom desempenho são descartados mais rapidamente do que a seleção pode produzir aprimoramentos.

### **3.2.6 Probabilidade de mutação**

Mutação é o operador de busca secundário que acelera a variabilidade populacional. Após a seleção, cada indivíduo poderá sofrer uma alteração aleatória em um de seus componentes, sendo a probabilidade de ocorrência da mesma considerada igual a probabilidade de mutação.

Se não houver mutação, a descendência é gerada imediatamente após o cruzamento (ou copiada diretamente) sem nenhuma alteração. Se ocorrer a mutação, uma ou mais partes do cromossoma é alterada. Se a probabilidade de mutação é 100%, todos os cromossomas são alterados, se é 0%, nenhum é alterado. A mutação em geral evita que o algoritmo genético caia num extremo (mínimo ou máximo) local. A mutação não deve ocorrer com muita frequência porque senão o algoritmo genético tornar-se-á de fato uma busca aleatória. (MAREK OBITKO,1998).

### 3.2.7 Restrições e penalidades

Em geral, no caso de rede de distribuição de água, a restrição considerada é a pressão mínima nos nós, e o déficit em cada um deles um componente da penalidade. Esta técnica nos algoritmos genéticos é utilizada para encontrar uma certa quantidade de soluções infactíveis em cada geração tal que os operadores genéticos buscam a solução ótima nos espaços factíveis e infactíveis. As soluções infactíveis não são rejeitadas, pois algumas podem fornecer informações úteis sobre a solução ótima, havendo a possibilidade inclusive de contribuir para a obtenção de algumas soluções factíveis.

### 3.2.8 Estratégia de seleção

São definidas duas estratégias de seleção, a seleção pura (P) e a elitista (E). Na seleção pura, a escolha dos indivíduos e o número de vezes que o mesmo será recombinado obedecem a uma relação direta com o seu desempenho. Na estratégia elitista, os melhores indivíduos de uma geração passam para a seguinte.

## 3.3 CURVA DE DESEMPENHO DO SISTEMA

A curva do Sistema é um gráfico de Vazão e pressão necessária de qualquer sistema. Em projetos tenta-se adequar a curva do sistema, com o desempenho de uma bomba que satisfaça estas necessidades. A interseção das duas curvas define o ponto operacional de das duas curvas como visto na figura 7. Porém, é impossível que um ponto operacional atenda todas as condições operacionais desejadas. Por exemplo, quando a válvula de descarga é estrangulada, a curva de resistência do sistema desloca-se para a esquerda, sendo acompanhada pelo deslocamento do ponto operacional.

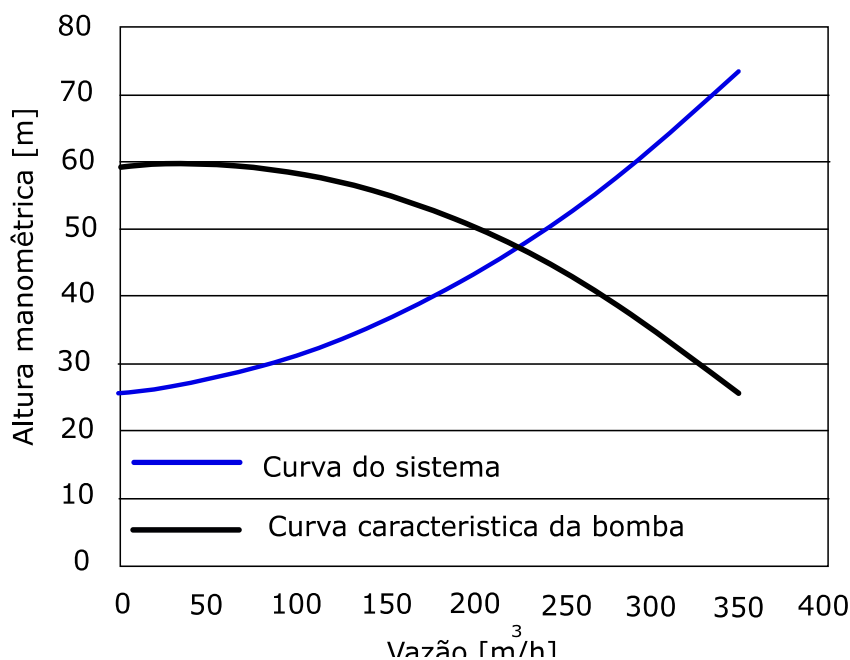


Figura 7: Ponto de funcionamento

### **3.3.1 Curva do sistema**

A curva do sistema é vazão relacionada à altura manométrica do sistema. Ela deve ser desenvolvida pelo usuário com base nas condições de serviço. Estas condições incluem o layout físico, as condições de processo, e as características do fluido. Representa a relação entre a vazão e as perdas hidráulicas em um sistema, na forma gráfica e, como as perdas por fricção variam com o quadrado da taxa de fluxo, a curva do sistema tem a forma parabólica. As perdas hidráulicas em sistemas de tubulação são compostas de perdas por fricção no tubo, válvulas, cotovelos e outros acessórios, perdas de entrada e saída, e perdas por mudanças na dimensão do tubo, em consequência de amplificação ou redução do diâmetro.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de testar e avaliar o desempenho do método desenvolvido com os algoritmos genéticos, esta técnica foi aplicada para a obtenção da otimização de um projeto de rede de tubulação. Pensando em algo que poderia facilitar e convergir às escolhas em redes de tubulações, traz-se algo como uma solução ótima ou sub-ótima para cumprir os pré-requisitos do sistema e aprimorá-lo. Lembrando que os sistemas aqui não são com maior complexidade em aspectos de tamanho, considera-se que a partir de um sistema grande podemos pegar pequenos trechos e aperfeiçoá-los assim para encontrar valores que possam trazer uma melhora até mesmo econômica sobre o projeto e utilizando-se de uma “seleção”.

### 4.1 ESTUDO DE CASO 1

A metodologia proposta para análise do desempenho do método dos algoritmos genéticos foi aplicada à rede apresentada na figura 8. O exemplo abaixo foi obtido através do livro de mecânica dos fluidos (YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, 2015). Este primeiro exemplo foi utilizado com teste, já se sabia os valores de ponto de funcionamento do sistema e através da potência da bomba seria possível utilizar o método.

O enunciado do problema está descrito da seguinte forma:

A água a 20°C deve ser bombeada de um reservatório ( $Z_A = 5$  m) para outro reservatório em uma elevação mais alta ( $Z_B = 13$  m) através de dois tubos de 36 m conectados em paralelo, como mostrado na Fig. 8–50. Os tubos são feitos de comercial aço, e os diâmetros dos dois tubos são 4 e 8 cm. A água deve ser bombeada por uma combinação de motor-bomba com eficiência de 70 por cento que consome 8 kW de energia elétrica durante a operação. As perdas menores e a perda de carga em tubos que ligam os tubos paralelos aos dois reservatórios são consideradas insignificantes.

A rede possui um anel e é abastecida por um reservatório fixo de água. A rede é composta por quatro nós, seis trechos com diferentes comprimentos, possui uma bomba de eficiência setenta por cento e coeficiente de Hazen-Williams igual a 125. Os dados de pressão e cota geométrica referente a cada nó são apresentados na Tabela #.

Suposições:

1° O escoamento é estacionário (uma vez que os reservatórios são grandes) e incompressível.

2° Os efeitos de entrada são insignificantes e, portanto, o escoamento é totalmente desenvolvido.

3° As elevações dos reservatórios permanecem constantes.

4° As perdas menores e a perda de carga em tubos diferentes dos tubos paralelos são insignificantes.

5° Os escoamentos através de ambos os tubos são turbulentos (para serem verificados).

Propriedades: A densidade e a viscosidade dinâmica da água a 20 ° C são de  $\rho = 998$ .

Formulas utilizada:

Uma vez que a carga de bomba útil é conhecida, a potência mecânica que precisa ser entregue pela bomba ao fluido e a energia elétrica consumida pela o motor da bomba para uma vazão especificada são determinados a partir de:

$$\dot{W}_{Elect} = \frac{\rho V g h_{bomba}}{\eta_{bomba - motor}} \quad (10)$$

Onde  $\eta_{bomba-motor}$  é a eficiência da combinação bomba-motor, que é o produto das eficiências da bomba e do motor. Também foi utilizado a equaçã 9.

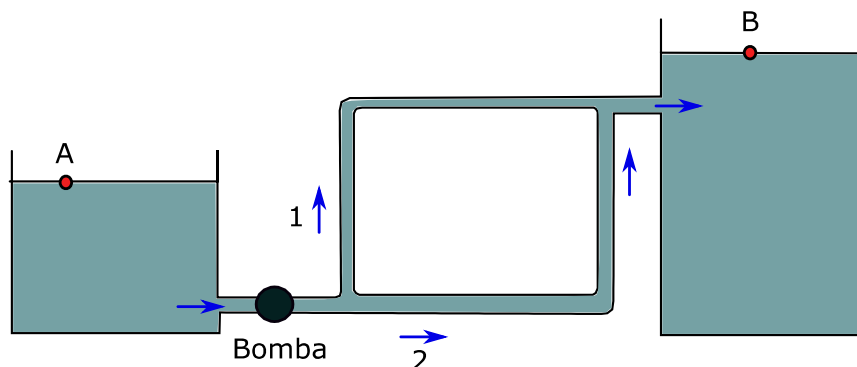


Figura 8. Representação rede 1 (Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, 2015)

#### 4.1.1. Libre Office, exemplo 1

O motor-bomba e a utilização de sua potencia e eficiências serão utilizadas para encontrar as vazões desse sistema. Aqui se dispôs os dados e a função objetivo ficou em torno da potencia da bomba e da perda de carga. Através da perda de carga e das considerações pelo tipo de sistema que está sendo estudado, podem-se montar junto com a potência os valores que deveriam entrar para o estudo e que deveriam ser restringidos e alterados.

Este exemplo também poderia ser remodelado para variar as velocidades. Abaixo se encontra a tabela com os resultados obtidos e se utilizando das cores vermelho verde e amarelo para simplificar as células que precisam ser modificadas e restringidas. Aqui a célula verde representa o valor da potência da bomba que foi fornecida antes e depois se utilizou da equação 10 assim a diferença entre as duas ao quadrado  $(P-\dot{w})^2$ . A célula amarela é a diferença entre as perdas de carga ao quadrado  $(h_{L1}-h_{L2})^2$  utilizando a equação 9, A célula vermelha é a soma da verde com a amarela o objetivo é minimizar a função fazendo variar a vazão com restrição das células verde e amarela levando para o valor zero com restrição de vazões positivas.

Todos os exemplos aqui citados terão este mesma configuração para facilitação ade cálculos do algoritmo genético precisa-se que tenha uma célula objetivo que englobe o problema. Com a utilização deste método encontrou-se os valores finais de resposta da literatura de consulta obtendo assim resultados satisfatórios.

Tabela 1: Resultados Libre Officer rede 1.

Questão 1	Dados				
Coeficiente	c	125			
Diâmetros	D1	0,04	m		
	D2	0,08	m		
	Comprimento	36	m		
	Altura	8	m		
Potência	P	8000	W		
	Entrada				
Vazões	Q1	4,1486	l/s		
	Q2	25,8608	l/s	←	
	Q	30,009	l/s		
Velocidades	V1	3,3030604438	m/s		
	V2	5,1474479256	m/s		
		m			(m)
Perda de carga	H1	11,0603487768	m	Hbomba	19,1
	H2	11,0603487768	Mínimo		
	Hl	11,0603487768	0		
	Q				
	H			0	
			MM2		
KW	Potencia	8000	0		

RESTRICÇÕES  
DO SOLVER

Q1 E Q2 >=0

POTENCIA =  
8000kW

## 4.2 ESTUDO DE CASO 2

Água a 20°C deve ser bombeada de um reservatório ( $Z_A = 2$  m) para outro reservatório para uma elevação mais alta ( $Z_B = 9$  m). Através de dois canos de tubos de plásticos de 25 m de comprimento conectados em paralelo (figura22). O diâmetros dos dois tubos são 3 e 5 cm. A água deve ser bombeada por uma unidade de motor e bomba com eficiência de 68% que consome 7kw de potência elétrica durante a operação. Aqui também se consideram desprezíveis as perdas de cargas entre os reservatórios e os tubos em paralelos.

Formulas utilizada:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (11)$$

Aqui se utilizou da equação 8 de Darcy junto com a equação 1.

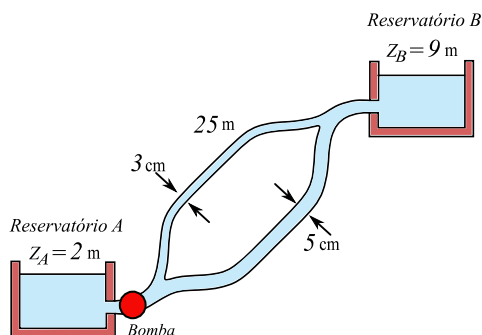


Figura 9 Representação da rede 2 (Adaptado de Adaptado de YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, 2015)

#### 4.2.1 Libre Office, exemplo 2

Tabela 2: Resultados Libre Office exemplo 2

Questão 2	Dados			
	za	2	m	
	zb	9	m	
	Comprimento	25	m	
	Potencia	7000	W	
	Hbomba	26,53337329	m	
	HI1	19,53337329	m	
	HI2	19,53337329	m	
	HI	0,0	m	
	D1	0,03	m	
	D2	0,05	m	
	V1	5,29549821	m/s	
	V2	7,42584233	m/s	
	F1	0,01640000		
	F2	0,01390000	mmc	
	Q1	0,00374317	0,00000000	
	Q2	0,01458061	m3/s	0,0
	Q	0,01832377	mmc	
		7000,00000000	0,00000000	
	Reynolds1	158230,75481469	0	
	Reynolds 2	369809,91266852		
	ColeBroke1	7,80868809	7,81407820	
	Colebrooke 2	8,48188930	8,47962445	

RESTRICÇÕES  
DO SOLVER  
Q1 E Q2 >=0  
COLLEBROKE  
TERMOS  
IGUAIS

Neste exemplo quis-se mostrar a eficiência do método utilizando de uma equação diferente em vez de H-W utilizou-se D-W a configuração em base ficou a mesma acrescentou-se apenas as equações de Reynolds e Cole Broke para poder restringir o problema melhor e assim encontrar as soluções simultâneas deste sistema não linear aqui não há rugosidade de acordo com a literatura, portanto a equação também ficou

mais simples encontraram-se valores satisfatórios que se igualam aos resultados do livre.

### 4.3 ESTUDO DE CASO 3

Os problemas vistos anteriormente continham informações sobre o sistema como sua bomba, portanto já continham respostas com valores de rendimento e altura manométricas ideais para o caso, assim foram utilizados para testes do método de algoritmo genético. O modelo seguinte é a proposta do estudo deste trabalho projetar um sistema que atenda a vazão requerida encontrando assim a curva de funcionamento do sistema.

Iniciou-se o problema com os diâmetros das tubulações decidindo que todas seriam de 250 mm e comprimento de 20 metros a cada nó. Os anéis foram divididos em três trechos o primeiro onde se encontra a bomba bem no meio do trecho contempla nos nós D-A-B-C, o segundo trecho vai do nó 'C', 'E' e 'F' e o terceiro indo do nó 'C' ao 'D'. Ficando assim representado na figura 10, com isso o intuito é poder ter uma visão mais simples da tubulação para ser escrita da forma como foram feitos os exemplos anteriores.

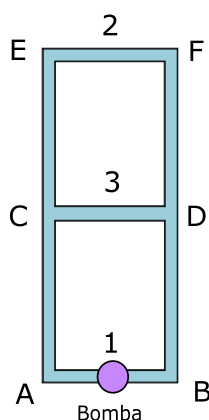


Figura 10: Representação do problema 3.

A ajuda do Libre Office Calc, ressalta que o objetivo do processo de solução é encontrar esses valores variáveis de uma equação que resultam em um valor otimizado na célula-alvo. É possível escolher se o valor na célula de destino deve ser o máximo, mínimo ou se aproximar de um determinado valor. A disposição dos valores da planilha está representada na figura 11. As fórmulas foram definidas na figura 12. Clique na barra de menu na opção *Tool - Solver* Figura 13. A seguinte caixa de diálogo será exibida Figura 14. Essa caixa de diálogo possui as seguintes características: *Célula de objetivo*; Otimizar para; nesse caso será zero pois as perdas de carga nos trechos são as mesmas; *Células Variáveis*: Serão as vazões  $Q_2$  e  $Q_3$ . *Conjunto de restrições*: incluiu-se nessas células que as vazões devem ser positivas e que a vazão  $Q_1$  deve ser um valor de  $150\text{m}^3/\text{h}$  ou  $0,042\text{ m}^3/\text{s}$  este valor foi inicialmente testado junto com o valor de  $300\text{ m}^3/\text{h}$  para formar a curva do sistema, neste exemplo supôs-se que a vazão requerida usaria os valores contidos na figura 15.

	dados			
	c	125		← Coeficiente de H-W
	D2	0,25		← Diâmetros trechos 2 e 3
	D3	0,25		
	L2	20	L3	← Comprimentos
Altura de aspiração	→ ha	0		
Altura de recalque	→ Hr	0		
	Entrada			
	Q2	1		
Vazões	→ Q3	1		
	Q	2		
	variáveis			
	v2	20,37		
Velocidades	→ V3	20,37		
	h2	1,222999181	minimo	
Perda de cargas	→ h3	0,000955927	1,493389713	← Célula objetivo

Figura 11: Libre Officer – Disposição das células

	dados			
	c	125		
	D2	0,25		
	D3	0,25		
	L2	20	L3	
	ha	0	60	
	Hr	0		
	Entrada			
	Q2	1		
	Q3	1		
	Q	2		← Q=Q2+Q3
	variáveis			
	v2	20,37		
	V3	20,37		← $V = \frac{4Q}{\pi D^2}$
	h2	1,222999181	minimo	
$\Delta h = \left(\frac{V}{0,355CD^{0,63}}\right)^{(1/0,54)}L$	→ h3	0,000955927	1,493389713	← (h2-h3)^2

**RESTRICÇÕES DO SOLVER**

Q2 E Q3 >=0

Q= 0,042M3/S

Figura 12: Libre Office – Equações utilizadas

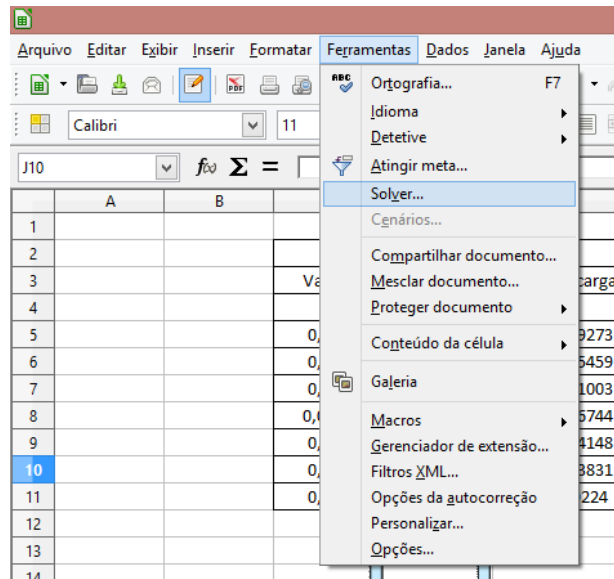


Figura 13 Libre Office, ferramentas

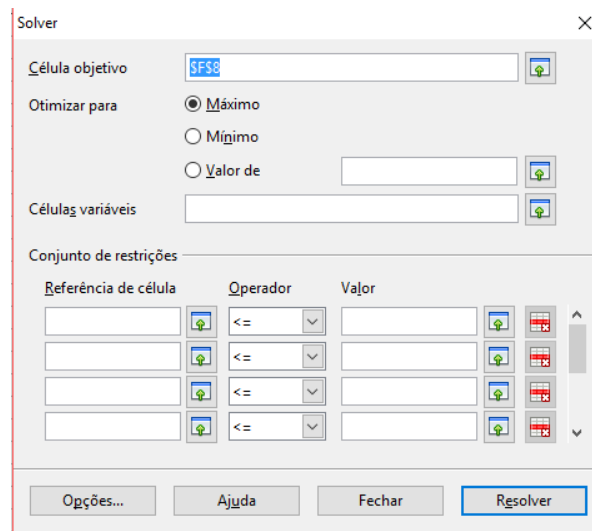


Figura 14: Libre Office Solver

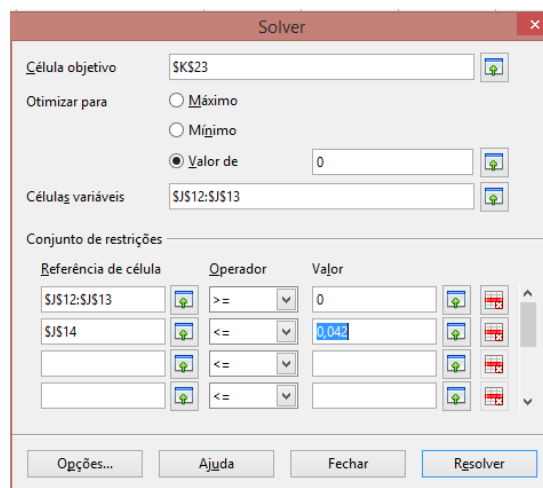


Figura 15: Libre Office, resolver.

Para utilização do Solver precisa-se ratificar que o libreoffice destaca que a programação de escolha dos valores é o algoritmo genético, como destacado em suas opções (DEPS Evolutionary algorithm), o software deixa claro os parametros de utilização do software que são demonstrados na figura 16 e 17.

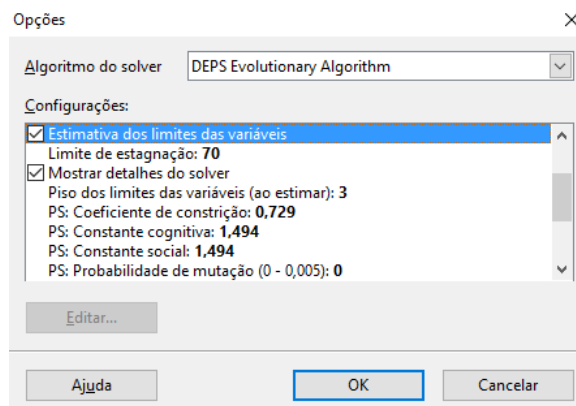


Figura 16: Configuração do Solver

As configurações do Solver são importantes para o desempenho do software na hora da seleção da população com o algoritmo genético. Há várias formas de fazer a seleção através de suas configurações, pois, podem ser pre-selecionadas e se encontra nas “opções” na caixa do solver. Estas predileções são explicadas na metodologia em “como utilizar o algoritmo genético?”.

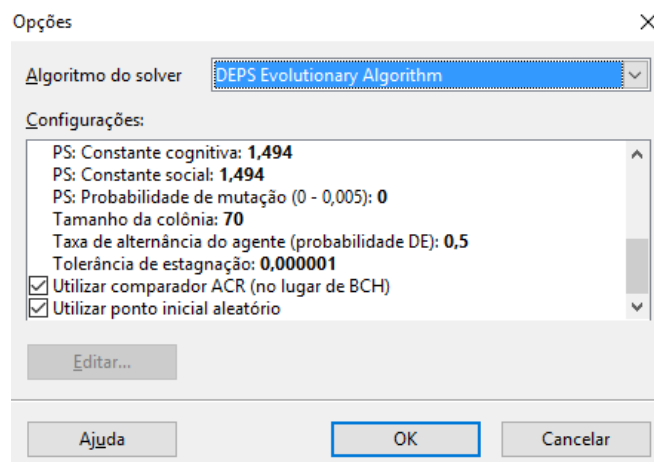


Figura 17: Configuração do Solver

Com todas as configurações selecionadas aperta-se ‘ok’ e ‘resolver’ encontrando assim esta tela representada nas figuras 18 e 19.

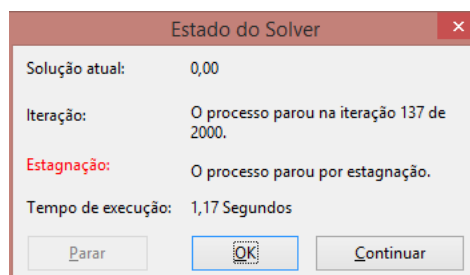


Figura 18: Libre Office resultados do solver

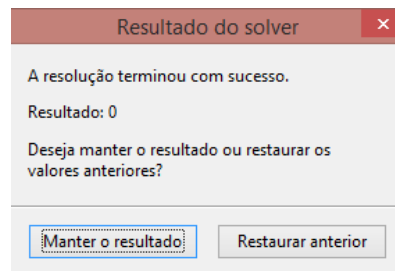


Figura 19: Libre Office Resultados do solver

#### 4.3.1. Libre Office

Depois de apertar em manter o resultado a tabela obtida, pode ser observada a baixo que se pode perceber que atingiu todas as restrições. As perdas de carga nos trechos 2 e 3 são iguais os valores de vazões somados se igualam aos valor da vazão no trecho um que foi um variável requerida pelo sistema e são maiores que zero.

Tabela 3 Resultado Libre office problema 3

Dados		
c	125	
D2	0,25	m
D3	0,25	m
L2	20	L3
Ha	0	20
Hr	0	
Entrada		
Q2	0,021	M3/s
Q3	0,0612737547	M3/s
Q	0,042	M3/s
Variáveis		
V1	0,43	m/s
V2	1,25	m/s
H2	0,0009559273	Mínimo
H3	0,0009559273	0

Para encontrar a curva de funcionamento da tubulação utiliza-se a equação:

$$H = H_a + H_r + J_a + J_r + \frac{v^2}{2g}$$

Onde  $H_a$  é a altura de aspiração e  $h_r$  é altura de recalque  $J_a$  é a perda de carga unitária de aspiração e  $J_r$  é a perda de carga do recalque unitária.

Pegou-se um trecho de vazões de um catálogo de bombas (de 0 a 0,147 m<sup>3</sup>/s) e calculou as alturas manométricas para todas as vazões.

Tabela 4: Tabela da curva de funcionamento do exemplo 3

Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Diâmetro(m)	J(m)	Velocidade (m/s)	$\Delta h$ (m)	Altura (H) (m)
0	0,25	0	0	0	0
0,021	0,25	0,000955927	0,42780848	0,028678	0,03800606
0,042	0,25	0,003450546	0,85561697	0,103516	0,140829345
0,063	0,25	0,00731111	1,28342546	0,219333	0,303287183
0,0833	0,25	0,012263674	1,69697366	0,36791	0,514684934
0,105	0,25	0,018828415	2,13904243	0,564852	0,798058485
0,126	0,25	0,026390383	2,56685092	0,791711	1,127528192
0,147	0,25	0,035109224	2,99465940	1,053277	1,510360561

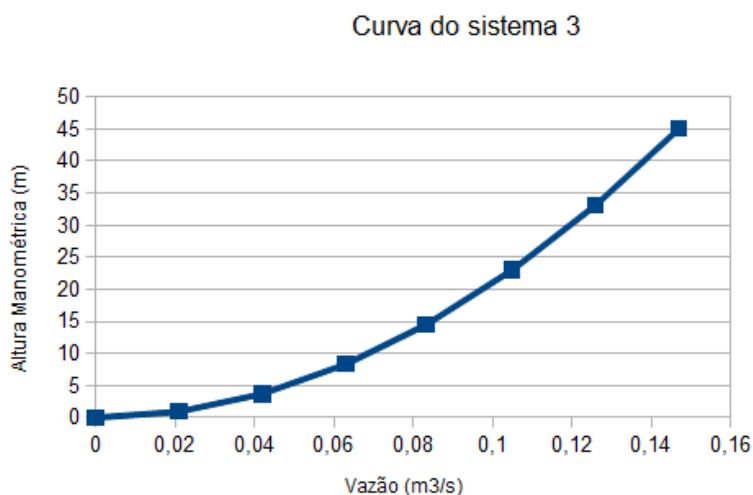


Figura 20: Curva do exemplo 3

Nos exemplos anteriores a esse eram problemas da literatura que já tinham valores testados com suas respectivas curvas de funcionamento os problemas a partir daqui foram criados e percebeu-se que necessitavam de uma curva de funcionamento do sistema para ser comprovado.

#### 4.4 ESTUDO DE CASO 4

Neste exemplo utilizou-se do mesmo formato de sistema, porém alterando diâmetros e comprimentos de cada trecho do sistema para testar com novos valores o mesmo método e validá-lo. Assim, alterando valores de vazões pode-se formar uma curva de funcionamento com valores diferentes provando, desta forma, que o método pode ser aplicado em outras vazões. Mudaram-se os valores de vazões ficando agora de

0,017 a 0,286 m<sup>3</sup>/s para curva de funcionamento. Bem como se alterou o valor de vazão para o sistema que se gostaria de atingir. As equações utilizadas serão as mesmas para todos os sistemas seguintes.

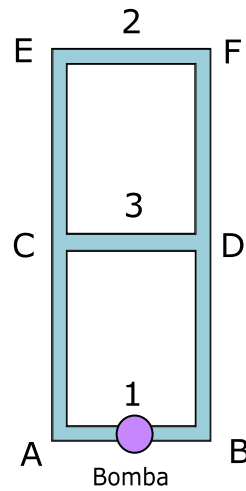


Figura 21: Representação do exemplo 4

#### 4.4.1 Libre Officer

Tabela 5 Resultado do libre Office do exemplo 4

Dados		
c	130	
D2	0,2	m
D3	0,1	m
L2	80	L3
ha	0	40
hr	0	m
Entrada		
Q2	0,2831308862	M3/s
Q3	0,0028691138	M3/s
Q	0,286	M3/s
Variáveis		
V1	0,14	m/s
V2	0,09	m/s
	m	
h2	0,0001508575	Mínimo
h3	0,0001508575	0



RESTRIÇÕES DO SOLVER
Q2 E Q3 >=0
Q= 0,0286M3/S

Tabela 6: Tabela da curva de funcionamento do Exemplo 4

Vazão (M <sup>3</sup> /s)	Diâmetro (mm)	J(m)	Velocidade (m/s)	$\Delta h$ (m)	Altura manométrica H(m)
0,01789188	0,3	0,0002709894	0,2531183238	0,0162593663	0,3305172515
0,035783775	0,3	0,000978173	0,5062368599	0,0586903782	1,3157229727
0,07156	0,3	0,0035301549	1,0123669091	0,211809295	5,2388788464
0,114	0,3	0,0083618454	1,61277009	0,5017107239	13,2597499403
0,143135	0,3	0,0127450342	2,0249460248	0,7647020531	20,8771954624
0,171	0,3	0,0177172804	2,419155135	1,0630368222	29,7686250592
0,228	0,3	0,0301831866	3,22554018	1,8109911956	52,8431480614
0,286	0,3	0,0459245662	4,046072331	2,7554739731	83,0537638891

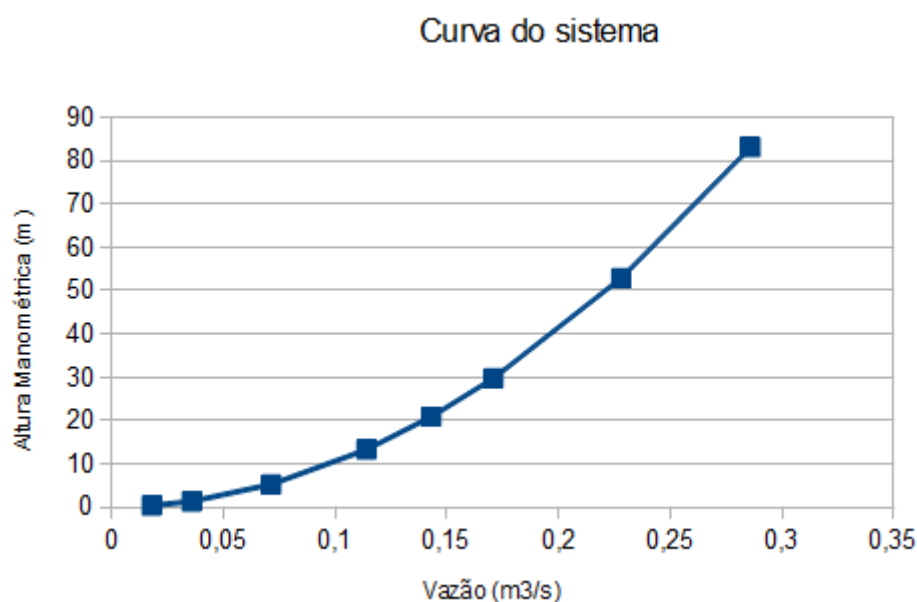


Figura 22: Curva de funcionamento do exemplo 4

Aqui se demonstra que mesmo mudando valores e faixa de vazão pode-se encontrar resultados satisfatórios para o método mostrando sua robustez do método.

#### 4.5 ESTUDO DE CASO 5

Este exemplo com sistema em serie foi dividido em dois anéis para encontrar os valores de vazões para diferentes tubulações o trecho 1 é dividido pela bomba ao meio inicia no fim do trecho 5 e 6 e termina no inicio do trecho 2 e 3 a vazão nesse trecho é de  $0,08333\text{m}^3/\text{s}$  ela se ramifica entre os trecho 2, 3, 5 e 6. Dividiu-se o problema em anéis para simplificar a forma e poder encontrar mais rápida suas vazões.

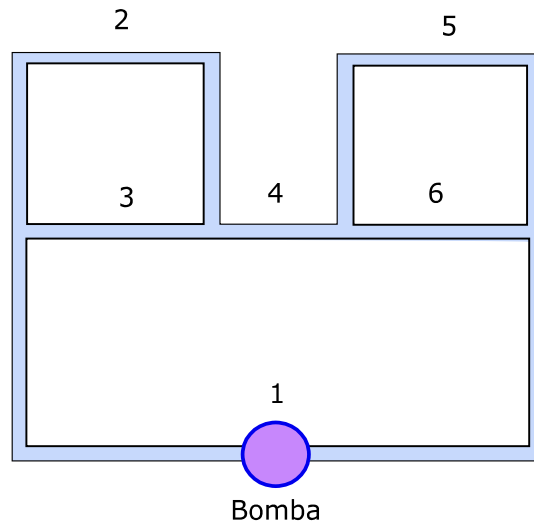


Figura 23: Representação do sistema

#### 4.5.1 Libre Office

Tabela 7 Resultados para o anel 1

Dados	Anel 1	
c	125	
D2	0,25	
D3	0,1	
L2	75	L3
ha	0	25
hr	0	
Entrada	m3/s	l/s
Q2	0,076461519	76,4615190359
Q3	0,006868481	6,8684809641
Q	0,083333333	83,33
Variáveis		
V2	1,557661	
V3	0,8745222	
H2	0,0101994937	Mínimo
H3	0,0101994937	0

RESTRIÇÕES DO  
SOLVER

$Q2 \text{ E } Q3 \geq 0$

$Q = 0,0833 \text{ M}^3/\text{S}$

Tabela 8 Resultados para o anel 2

Dados	Anel 2	
c	125	
D5	0,2	
D6	0,15	
L5	75	L6
Ha	0	25
hr	0	
Entrada		
Q5	0,0567678101	
Q6	0,0265621899	
Q	0,0833333333	
Variáveis		
V5	1,806976	
V6	1,503112	
H5	0,0179469311	Mínimo
H6	0,0179469311	0

RESTRIÇÕES DO  
SOLVER

Q5 E Q6  $\geq 0$

Q = 0,0833 M<sup>3</sup>/S

Tabela 9 Valores para curva de funcionamento 5

Vazão (M <sup>3</sup> /s)	Diâmetro (mm)	J(m)	Velocidade (m/s)	Ah(m)	ALTURA(m)
0	0,35	0	0	0	12,145
0,021	0,35	0,0001845105	0,2182696362	0,0184510519	12,3971332672
0,042	0,35	0,0006660151	0,4365392725	0,0666015114	13,1463303726
0,063	0,35	0,0014111689	0,6548089087	0,141116894	14,3892568316
0,0833	0,35	0,0023671015	0,8658028904	0,2367101514	16,0585699854
0,105	0,35	0,0036342101	1,0913481812	0,3634210066	18,3504763887
0,126	0,35	0,0050938009	1,3096178174	0,509380088	21,0669398381
0,147	0,35	0,0067766881	1,5278874537	0,6776688146	24,2730973634

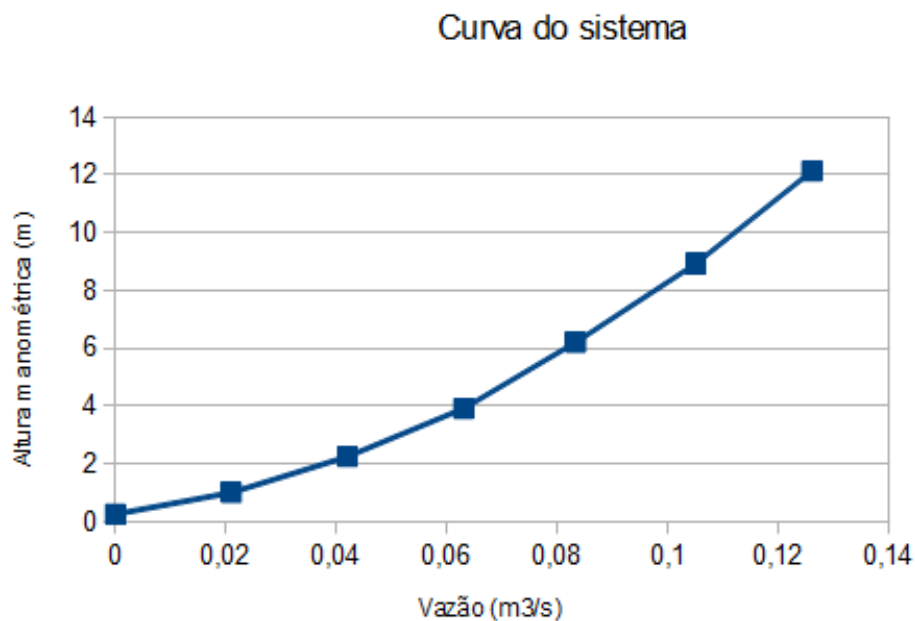


Figura 24: Curva do exemplo 5

Neste exemplo a divisão do programa para dois anéis facilitaria o encontro das vazões, aplicando sempre a mesma configuração os dados de entrada as vazões velocidades as perdas de carga e utilizando-se das mesmas restrições chegou-se a um resultado que satisfaz as restrições.

#### 4.6 ESTUDO CASO 6

Um sistema em paralelo com tubos de diferentes diâmetros este caso onde há três perdas de cargas deve-se ter em mente que a célula objetivo é só uma então se pensa em algo que simplifique isso para obtenção de resultados. o trecho um leva a vazão que se ramifica em três tubos gerando os trechos 2, 3 e 4.

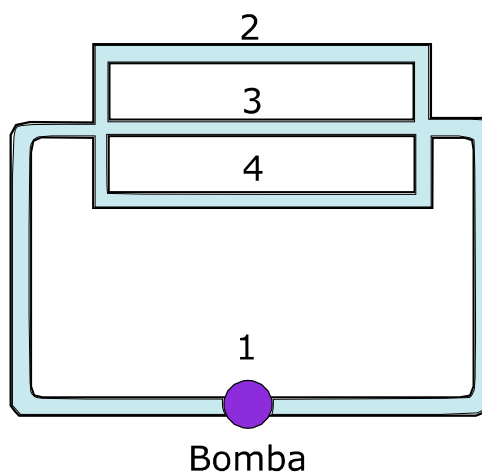


Figura 25: Representação do sistema 6

## 4.6.1 Libre Office

Tabela 10 Resultados no Libre Office do exemplo 6

Dados	Anel 1	D4	
c	125	0,14	
D2	0,075	L4	
D3	0,085	80	
L2	80	L3	
ha	0	40	
hr	0		
Entrada	m3/s	l/s	
Q2	0,010170842	10,1708420156	
Q3	0,0205668935	20,5668934557	
Q4	0,0525922645	52,5922645287	
Q	0,08333	83,33	
Variáveis			
V2	2,3022076902	M/S	(H2-H4) <sup>2</sup>
V3	3,6244404236	M/S	
V4	3,4164566809	M/S	
h2	6,9651817427	0	0
h3	6,9651817427	0	
h4	6,9651817427		

RESTRICÇÕES DO SOLVER

Q2 E Q3 e Q4 >= 0

Q = 0,0833 M3/S

Célula objetivo

(H2-H4)<sup>2</sup> + (H3-H4)<sup>2</sup>

(H3-H4)<sup>2</sup>

Com uma vazão a mais a configuração é a mesma a disposição de algumas células morem tem que se ter em mente que ainda precisamos de uma célula objetivo então aqui de acordo com a rede estudada a perda de carga nos três tubos foram iguais então para facilitar na hora de resolver utilizou-se  $(h_2-h_4)^2$  e  $(h_3-h_4)^2$  assim na célula de soma a restrição entenderia que objetivo é que as perdas de carga sejam as mesmas além é claro das restrições de vazão, que são as mesmas dos exemplos anteriores vazões maiores do que zero e a soma das vazões precisariam chegar a um valor antes requerido pois aqui considerou-se um sistema que já pedia uma vazão no ponto 1 e que assim queria saber as vazões nos demais pontos de sua tubulação.

Tabela 11 Tabela da curva do sistema 6

Vazão (M3/s)	Diâmetro (mm)	J(m)	Velocidade (m/s)	Ah(m)	ALTURA(H)(m)
0	0,3	0	0	0	0
0,021	0,3	0,0003920275	0,2970892271	0,0627244019	0,4956495553
0,042	0,3	0,0014150751	0,5941784542	0,2264120222	1,9581126361
0,063	0,3	0,0029982954	0,8912676813	0,4797272714	4,3760536526
0,0833	0,3	0,0050293551	1,1784539342	0,8046968138	7,6165335897
0,105	0,3	0,007721567	1,4854461355	1,2354507165	12,0585795531
0,126	0,3	0,0108227439	1,7825353626	1,731639017	17,3169445418
0,147	0,3	0,0143983563	2,0796245897	2,3037370082	23,5170695281

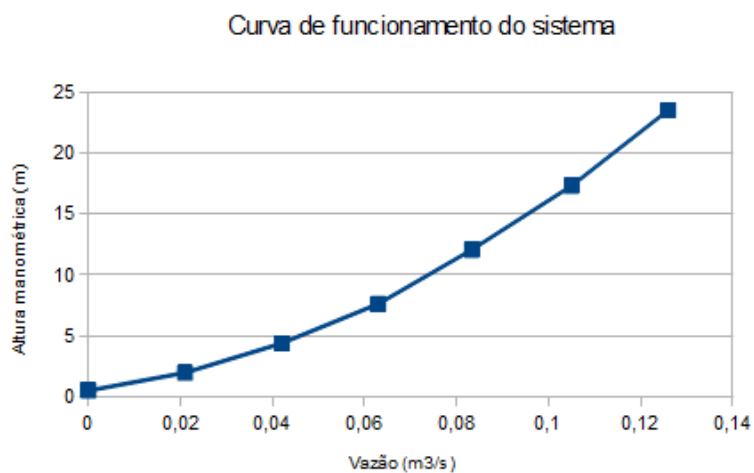


Figura 26: Curva do Sistema 6

## 5 CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida demonstrou ser apropriada para o projeto de redes de tubulação e os algoritmos genéticos mostrou-se uma ferramenta eficaz na obtenção do projeto otimizado. Seis redes exemplos foram estudadas. Para testar a eficiência do modelo proposto em projetos de redes e com critérios de dimensionamento utilizados na prática, foram utilizadas redes já estudadas para saber se obteria valores satisfatórios, sendo possível resolve-los de forma eficiente.

A técnica dos algoritmos genéticos permitiu obter, resultados de equações que tem certo grau de dificuldade para solução, de uma forma de forma simples e intuitiva. Com isso considera-se o inicio desse estudo satisfatório para este trabalho, pois pode facilitar cálculos complicados e através de uma análise de dados e disposição de valores. Não é algo que é só apertar um botão e lhe traz o resultado necessita de um estudo sobre o assunto, porém para fins de pesquisa esta pode ser uma ótima ferramenta que faz o usuário poder otimizar e simplificar seu problema. Por fim como esta é uma primeira tentativa espera-se que no futuro com o uso desta ferramenta possa ser aperfeiçoado e mudar a forma de análise do sistema.

## 6 REFERÊNCIAS

YUNUS A. ÇENGEL, JOHN M CIMBALA, *Mecânica dos fluidos fundamentos e aplicações*. 3º Ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.

BRUNETTI, F. *Mecânica dos fluidos* -. 2. ed. rev. - São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2008.

MACINTYRE, A. J. - Bombas e Instalações de Bombeamento - LTC; Edição: 2ª (1987).

TELLES, P. C. S, Tubulações industriais, cálculos. 8ed., rev , Rio de Janeiro: LTC 1994.

TELLES, P. C. S, Tubulações industriais: materiais, projetos e montagem. 9ed., rev. E am-pl Rio de Janeiro: LTC 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – *NBR12218*: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro/RJ, 1994.

SOUZA, R.S. – Aspectos computacionais da análise de redes de distribuição de água com componentes hidráulicos em regime permanente. Dissertação de Mestrado, EESC/USP. 1994

GOLDBERG, D., KUO, C.H. – Genetic algorithms in pipeline optimization. Journal of Computing in Civil Engineering, Vol.1, nº 2. Abril 1987

GOLDBERG, D. - Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.

GREFENSTETTE, J.J.; BAKER, J.E. – How genetic algorithms work: a critical look at implicit parallelism. The proceedings of the third international conference on genetic algorithms. Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, California. 1989.

GREFENSTETTE, J.J. - Optimization of control parameters for genetic algorithm. IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Transactions on Systems, Man and Cybernetic, Vol.16, nº 1, p.122-128. 1986.

GAMEIRO, R.C.P.G (2003). *Dimensionamento otimizado de redes de distribuição de água com a utilização de algoritmos genéticos*. Campo Grande, 2003. 60 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

CHEUNG, P.B. Curso de introdução aos algoritmos genéticos. Março 2002.

GAMBALE, S.R. - Aplicação de algoritmo genético na calibração de redes de água. Dissertação de Mestrado POLI/USP. 2000.

AMARAL, P. S., Otimização de redes de Distribuição de Água - Análise e Implementação da Metodologia de Morgan, Dissertação (Mestrado em Eng. Civil) UFC, Fortaleza, 1998

PASCHOAL, S., - Hidráulica Geral- Livros Técnicos e Científicos, 1979.

OBITKO. M. - ALGORITMOS GENÉTICOS- 1998 na Universidade de Ciências Aplicadas de Dresden <<https://www.obitko.com/tutorials/genetic-algorithms/portuguese/index.php>> Acesso em 16 de setembro de 2019 as 00:14.

Secretaria do Planejamento e Gestão – SEPLAG -Curso Modular de LibreOffice - 2014 <<https://wiki.documentfoundation.org/images/b/b9/LibreOffice.org.Modular.Apostila.Hist.Calc.Writer.2014.r06.pdf>> Acesso em 15 de setembro de 2019 as 16:50.

<<http://www.omel.com.br/artigos-tecnicos/escola-de-bombas/centrifugas/curvas-de-desempenho/>> Acesso em 21 de setembro de 2019 as 00:037.

<<https://support.office.com/pt-br/article/definir-e-resolver-um-problema-usando-o-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>> Acesso em 6 de setembro de 2019 as 00:11

<<http://aplicacioneslibreuso.blogspot.com/2017/12/libreoffice-calc-solver.html>> Acesso em 6 de setembro de 2019 as 00:15