



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS

BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JADSON EVERTON PEIXOTO DE ALBUQUERQUE

USO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL NO CÁLCULO DE PERDA DE CARGA

PAU DOS FERROS

2017

JADSON EVERTON PEIXOTO DE ALBUQUERQUE

USO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL NO CÁLCULO DE PERDA DE CARGA

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Ciência e tecnologia.

Orientador: Ricardo Paulo Fonseca Melo, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A345u Albuquerque, Jadson Everton Peixoto de .
USO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL NO CÁLCULO DE
PERDA DE CARGA / Jadson Everton Peixoto de
Albuquerque. - 2017.
30 f. : il.

Orientador: Ricardo Paulo Fonseca Melo.
Monografia (graduação) - Universidade
Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2017.

1. Colebrook-White. 2. HTML. 3. javascript.
I. Melo, Ricardo Paulo Fonseca , orient. II.
Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas

da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JADSON EVERTON PEIXOTO ALBUQUERQUE

USO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL NO CÁLCULO DE PERDA DE CARGA

Monografia apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Pau
dos Ferros para obtenção do título de Bacharel
Em Ciência e Tecnologia.

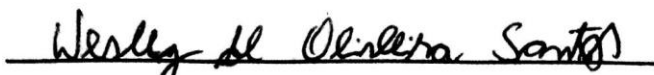
APROVADO EM: 24 / 05 / 2017



Prof. Dr. Ricardo Paulo Fonseca Melo
Orientador



Prof. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa
Membro 1



Prof. Dr. Wesley de Oliveira Santos
Membro 2

Pau dos Ferros
Maio 2017

Eu quero dizer agora o oposto do que eu disse antes

Eu prefiro ser essa metamorfose ambulante

Do que ter aquela velha opinião formada sobre

Tudo... (Raul Seixas)

RESUMO

A ferramenta computacional para solução de problemas em perda de carga possibilita obter resultados que se deseja saber a pressão ou velocidade em um determinado ponto e também o comprimento ou diâmetro da tubulação, aonde está em observação um trecho finito. A construção dessa ferramenta tem com intuito facilitar os cálculos sobre de perda de carga, tendo integridade dos dados, otimização no tempo para calcular e confiabilidade sobre o resultado final em comparação se fosse feito de forma manual com o auxílio da calculadora científica que é a ferramenta mais usual nesses casos. A criação dessa ferramenta computacional foi produzida a partir de página web usando as tecnologias javascript, HTML e CSS. Sendo utilizada a equação de Colebrook-White, que é a mais usual, para fazer o cálculo do fator de atrito. Os resultados obtidos usando a ferramenta mostrou eficiência e maior precisão quando comparadas se fossem feitas de forma manual que tem a limitação do número de dígitos significativos utilizados e a prática de arredondamento e truncamento, entretanto comprova sua credibilidade por aproximação do valor encontrado de forma manual.

Palavras-Chave: Colebrook-White, HTML, javascript

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus por ter me dado saúde para enfrentar os obstáculos que nesse ciclo que se fecha tive que enfrentar.

Agradecer aos meus pais João Matias de Albuquerque e Evânia Maria da Conceição Queiroz de Albuquerque que sempre me deram apoio quando necessitei independente das circunstâncias.

Agradeço a minha esposa Adriane Raíres Alves de Oliveira, que sempre esteve me apoiando nas minhas decisões e não deixou de ser amorosa e companheira nem nos meus momentos de estresse. Também quero agradecer aos meus filhos Iarley Pietro Oliveira de Albuquerque e Murilo de Oliveira Albuquerque, que são a felicidade da minha família e me deram forças pra chegar aonde cheguei e ser a pessoa que sou.

Agradeço muito ao meu orientador Ricardo Paulo Fonseca de Melo, que valorizou meus esforços e com humildade soube dar assistência quando foi necessário.

Por último, quero agradecer ao campus UFERSA-CMPF que tem uma comunidade muito acolhedora e o corpo do docente que é formada por pessoas brilhantes.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3 PERDA DE CARGA	11
3.1 Viscosidade.....	11
3.2 Escoamento interno	12
3.3 Fator de atrito	13
3.4 Perdas Primárias e Secundárias	15
4 METODOLOGIA.....	17
4.1 Tecnologia Aplicada.....	17
4.2 Base de dados e Equações	18
4.3 Método Iterativo	18
5 RESULTADOS	21
5 CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

A perda de carga é a perda de energia pelo fluido que está em escoamento por uma tubulação, canal ou outro tipo de meio para transportar fluidos. Isto ocorre devido à perda de energia dinâmica do fluido causado pela fricção das partículas do fluido com as paredes do meio em que está com contato e também entre si. Essa perda pode ser classificada como distribuídas (devida ao atrito em porções de área constante do sistema, ou seja, que ocorre ao longo do trecho de tubulação percorrido) ou localizada (ocorrida pelo atrito com válvulas, tês, cotovelos e outras porções do sistema de área não constante). (Azevedo Neto, 1998).

O estudo desse fenômeno é feito na mecânica dos fluidos que estuda as forças em fluidos e é de extrema importância para as áreas comerciais de hidráulica, como consequência, também sendo para estudantes de engenharia dado a influência dessa perda nos dimensionamentos dos projetos hidráulicos e de irrigação.

Para calcular a perda de carga há a equação de Darcy-Weisbach, proposta em 1845, que é considerada a fórmula universal de perda de carga:

$$h = f \cdot \frac{L}{D} \frac{V^2}{2} \quad (1)$$

- h é a perda de carga
- f o fator de atrito
- V a velocidade do escoamento na tubulação
- L o comprimento da tubulação
- D o diâmetro da tubulação

É perceptível que a equação (1) é usada para casos de percursos cilíndricos, mas pode ser adaptada para casos retangulares, assim como se deve adequar para perda localizada devido às dimensões dos acessórios, válvulas ou conexões em que tem atrito. Para este caso há valores tabelados dos comprimentos equivalente dos acessórios que é substituído na fração L/D da equação 1.

“A maior dificuldade de cálculo na determinação da perda de carga com a equação de Darcy-Weisbach está na aferição do fator de atrito.” (Sousa, 2014). A definição de uma

expressão para o fator de atrito ocorreu apenas em 1939 e é conhecida por equação de Colebrook-White, porém se trata de uma equação implícita, logo vieram, por pesquisas, equações explícitas em que cada uma tem certo grau de erro referente àquela, desprezível dependendo da aplicação.

Entretanto, a praticidade da fórmula universal de perda de carga depende do uso de calculadoras eletrônicas, pois a complexidade matemática torna necessária uma grande quantidade de operações que são feitas num espaço de tempo pequeno pelo uso dessas tecnologias eletrônicas.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um simulador computacional do cálculo de perda de carga de escoamentos em tubulações cilíndricas, mais precisamente uma página web dinâmica, tendo o propósito de solucionar os problemas de calcular a pressão num ponto do trecho de tubulação, o comprimento da tubulação em análise, a velocidade do fluido que escoar internamente e o diâmetro da tubulação em que o fluido está escoando, tendo na página a coleta de dados e apresentado num formulário.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Construir um simulador computacional para solução de problemas de perda de carga, sendo mais uma ferramenta a auxiliar os estudantes e estimular a curiosidade dos mesmos sobre a temática por um processo de aprendizagem mais otimizado em comparação aos cálculos repetitivos e desgastantes feitos através de uma calculadora científica.

2.2 Objetivos Específicos

Os problemas que poderão ser solucionados na ferramenta computacional são aqueles em que diante dos dados obtidos num trecho em observação pretende-se encontrar a pressão num ponto, comprimento da tubulação, diâmetro da tubulação ou a velocidade média do fluido.

Portanto solucionar os problemas mais frequentes e de maior utilidade prática em perda de carga.

3 PERDA DE CARGA

3.1 Viscosidade

Ao pesquisar viscosidade nos dicionários, certamente, encontrará respostas como algo que é viscoso ou pegajoso. Para ter uma exemplificação a sanar a ideia de viscoso imagine que em uma das suas mãos tenha sido derramado um copo de óleo de cozinha e na outra um copo de água limpa, percebe-se que o óleo irá grudar de tal forma que até lavando-se com sabão e depois enxugando com um pano seco ainda vai sentir uma porção do conteúdo em sua mão, porém na mão em que foi derramada à água logo após a simples ação de enxugar com o pano seco não terá mais a sensação do fluido. Isso permite concluir que em líquidos diferentes há aqueles que têm uma tendência maior a grudar em objetos que outros. Também é importante saber que há os fluídos newtonianos que são aqueles com viscosidade constante para diferentes taxas de cisalhamento e não varia com o tempo.

Essa propriedade que os fluídos têm provoca uma força de arrasto quando estão sendo transportados ou em movimento, tanto pelo contato com as paredes do objeto que os transportam, a exemplo as paredes de um tubo, como pelas camadas que o próprio fluido provoca devido ao movimento. A viscosidade (μ) de um líquido pode ser medida e varia quando se altera a temperatura do mesmo, o quadro 1 apresenta os valores da viscosidade dinâmica da água de acordo com algumas temperaturas:

Quadro 1 – Viscosidade dinâmica da água

TEMPERATURA T (°C)	VISCOSIDADE DINÂMICA μ (N . s/m ²)
0	$1,75 \times 10^{-3}$
5	$1,50 \times 10^{-3}$
10	$1,30 \times 10^{-3}$
15	$1,14 \times 10^{-3}$

20	$1,00 \times 10^{-3}$
25	$8,90 \times 10^{-4}$
30	$7,97 \times 10^{-4}$
35	$7,18 \times 10^{-4}$
40	$6,51 \times 10^{-4}$

Fox, Pritchard e McDonald, 2010, edição 5, pag. 460

3.2 Escoamento interno

As principais características de escoamentos internos são:

- Escoamento confinado por superfícies;
- A camada limite se desenvolve com restrição;
- Existem regiões distintas: de entrada do escoamento (camada limite em desenvolvimento) e desenvolvida (camada limite desenvolvida);
- Efeito viscoso é sentido ao longo de todo o escoamento;
- Escoamento completamente desenvolvido.

Escoamento interno é aquele rodeado por uma superfície sólida são exemplos: dutos, tubos, bocais e válvulas. Há duas formas de escoamento que descobrimos através da análise quantitativa do número de Reynolds, equação (2), que permite identificar o regime de escoamento sobre uma superfície, classificando-o em laminar ou turbulento baseando-se na relação das forças de inércia com as forças viscosas. É utilizado, por exemplo, em projetos de tubulações industriais, carroceria de carros de fórmula 1 e asas de aviões. A transição de escoamento laminar para turbulento depende da geometria, rugosidade da superfície, velocidade do fluido, temperatura da superfície e tipo de fluido.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2)$$

O ρ é a massa específica do fluído em análise.

Se você abrir uma torneira (que não tem dispositivo de aeração ou outra derivação) para uma vazão muito pequena, a água escoará para fora suavemente – quase “vitrificada”. Se você aumentar a vazão, a água sairá de forma agitada, caótica. Estes são exemplos de como um escoamento viscoso

pode ser laminar ou turbulento, respectivamente. (Fox, Pritchard e McDonald, 2010, p. 38)

Pode ser previsto escoamento laminar quando o número de Reynolds for menor que 2300 ($Re < 2300$). É o escoamento em que o fluido escoa como lâminas ou camadas sobrepostas, as camadas não se misturam e são harmoniosas. E para o número de Reynolds maior que 4000 ($Re > 4000$), o escoamento turbulento apresenta flutuações da velocidade de alta frequência. A turbulência ocorre quando as forças viscosas não são capazes de conter o movimento aleatório do fluido. As soluções dos problemas de escoamento turbulento são baseadas em dados experimentais.

3.3 Fator de atrito

O fator de atrito tem o seu valor definido em função da rugosidade (e) da parede do tubo, diâmetro do tubo e do número de Reynolds (Re). A rugosidade, irregularidades ou saliências, dos materiais que compõe os diversos tipos de tubos é definida para cada material, há vários valores para um tubo composto por determinado material dependendo das circunstâncias, como por exemplo, o tubo ser novo ou sob efeito de ações corrosivas. Já o número de Reynolds é um valor adimensional obtido através da equação (2).

No quadro 2 estão os valores de rugosidade absoluta para alguns tipos de materiais mais utilizados em tubulações. Vale ressaltar que é convencional para o tubo liso aproximar para zero em casos de escoamento turbulentos:

Tabela 2 – Rugosidade para tubos de materiais mais utilizados em engenharia

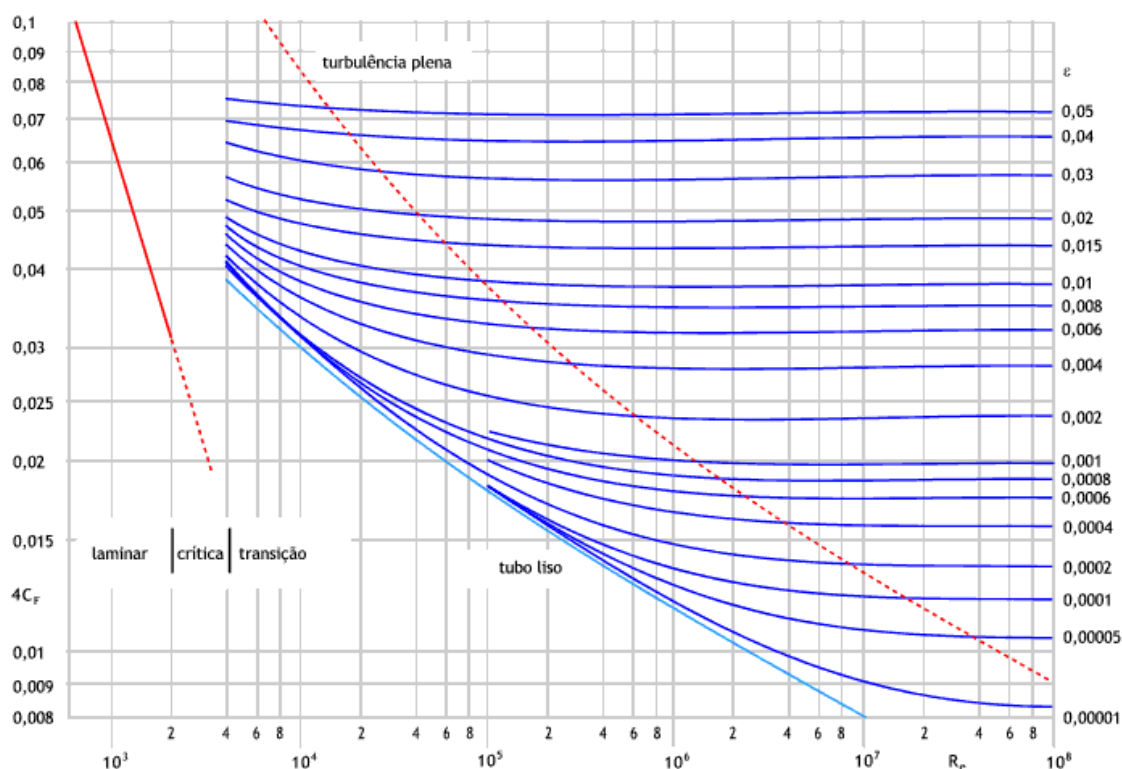
TUBO	RUGOSIDADE e (mm)
Aço Rebitado	0,9
Concreto	0,3
Madeira	0,2
Ferro Fundido	0,26
Ferro Galvanizado	0,15
Ferro Fundido Asfaltado	0,12
Aço Comercial	0,046
Trefilado	0,0015

Tubo Liso	0
-----------	---

Fox, Pritchard e McDonald, 2010, edição 7, pag. 314

Uma maneira prática para a obtenção do fator de atrito é o uso do diagrama de Moody (Figura 1). Este diagrama serve para obter o fator de atrito para qualquer tipo de escoamento e rugosidade da tubulação. Para a sua utilização são necessários o conhecimento do tipo de escoamento, o que pode ser feito pelo número de Reynolds, na escala horizontal, e da rugosidade relativa que é dada pela rugosidade absoluta (e) dividida pelo diâmetro (D), na escala vertical à direita. O valor do fator de atrito está na vertical à esquerda.

Figura 1 – Diagrama de Moody



Fonte: http://www.mspc.eng.br/fldetc/fluid_0550.shtml

Para escoamentos turbulentos podemos obter o valor do fator de atrito através de equações matemáticas como as de Colebrook, Haaland e Blasius. Sendo que a primeira é a

mais usual, porém é uma equação implícita como pode se ver na equação (3) e as demais, além das apresentadas aqui, foram desenvolvidas como soluções com um percentual de erro em relação à de Colebrook, entretanto explícitas. Na expressão de Haaland, equação (4), por exemplo, “para $Re > 3000$, ela dá resultados que diferem cerca de 2% da equação de Colebrook”.

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

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1,8 \log_{10} \left(\left(\frac{k}{3,7D} \right)^{1,11} + \frac{6,9}{Re} \right) \quad (4)$$

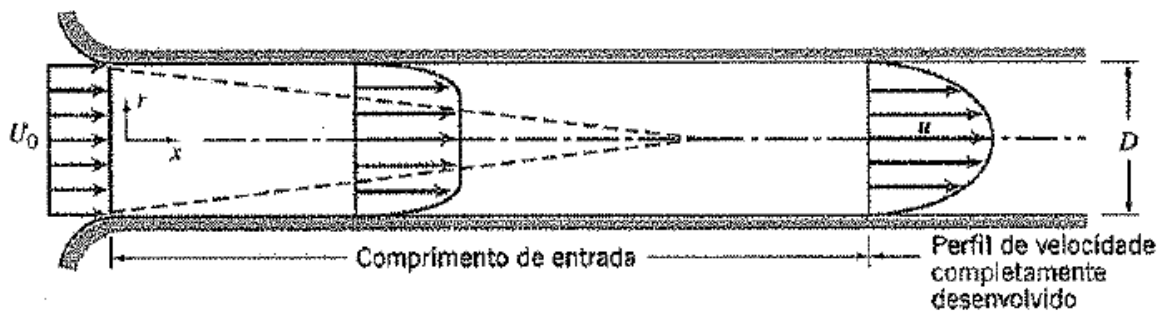
3.4 Perdas Primárias e Secundárias

A perda de carga é parte da energia potencial, de pressão e de velocidade que é transformada em outros tipos de energia, como o calor e energia interna para o fluido. A perda de energia ocorre devido ao atrito com as paredes do tubo e devido à viscosidade do líquido em escoamento. A rugosidade e asperezas da parede interna da tubulação é determinante na presença de turbulência no escoamento e quanto maior for a rugosidade maior será a perda de carga. Na maior parte dos casos as canalizações não são constituídas exclusivamente por tubos retilíneos e de mesmos diâmetros, mas por variações no percurso do fluido, que contribuem para turbulência e, por conseguinte, mais ainda para perda de carga.

Na figura 2 observa-se que na região de entrada do tubo (circular) o escoamento é laminar e de velocidade uniforme igual a U_0 . Devido à condição de não deslizamento a velocidade do escoamento nas paredes do tubo é igual a zero, e uma força de cisalhamento provocada pela superfície interna do tubo causa retardamento no escoamento, tornando a velocidade do fluido cada vez mais reduzida quanto mais próxima estiver das vizinhanças da superfície sólida e sendo ainda mais sentida nas seções sucessivas a região de entrada. Essa redução ocasionada nas proximidades das paredes é compensada com o aumento da velocidade nas proximidades da região central. Quando o escoamento está de certa forma

longe da entrada do tubo a camada limite em desenvolvimento atinge a linha de centro do mesmo e se torna inteiramente viscoso. Ao chegar a essa circunstância e o perfil de velocidade não mais mudar com o aumento da distância diz-se que o escoamento está completamente desenvolvido, e a distância da entrada do tubo até local onde se inicia o escoamento completamente desenvolvido chama-se comprimento de entrada.

Figura 2 – Região de entrada para um fluido escoando dentro de uma tubulação.



Fonte: Fox, Pritchard e McDonald, 2010, Ed. 7, p. 289

As perdas menores surgem em pontos do trecho da tubulação em que há válvulas, acessórios, redução e expansão. Para essas perdas usamos a equação (5), onde a fração L_e/D é chamada de comprimento equivalente e pode ser definida através de experimentos com os acessórios ou conexões. Outra expressão muito utilizada para o cálculo de perdas secundárias é a equação (6), em que K é o coeficiente de perda que é igual ao fator de atrito vezes o comprimento equivalente.

$$h_2 = \frac{f L_e V^2}{2D} \quad (5)$$

$$h_2 = \frac{K V^2}{2} \quad (6)$$

No quadro 3 há alguns valores de coeficiente de perda (K) para determinados acessórios que foram obtidos de forma experimental por alunos da instituição UFRSA na disciplina de Fenômenos do Transporte do curso de Ciência e Tecnologia.

Quadro 3 – Coeficiente de Perda para Acessórios Comuns na Engenharia

ACESSÓRIO OU CONEXÃO	COEFICIENTE DE PERDA (K)
Curva de 90°	7,38
Curva Lisa	3,87
Registro tipo Globo	0,70
Redução 25mm/20mm	2,00
Joelho 45°	3,03

Para determinação da perda de carga usando equações como, por exemplo, a de Colebrook estima-se inicialmente o fator de atrito e utiliza-se o coeficiente de perda para os acessórios ou conexões que compõe o sistema de tubulação em projeto ou observação, obtendo após os cálculos as perdas maiores e menores, e tendo a soma dos dois a perda de energia total.

Para o cálculo da perda de energia total temos a equação (7):

$$\left(\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{v_1^2}{2} \right) - \left(\frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{v_2^2}{2} \right) = h_1 + h_2 \quad (7)$$

- P_1 pressão no ponto 1;
- P_2 pressão no ponto 2;
- g aceleração da gravidade;
- v_1 velocidade no ponto 1;
- v_2 velocidade no ponto 2;
- z_1 altura no ponto 1;
- z_2 altura no ponto 2;
- h_1 perda de carga distribuída;
- h_2 perda de carga localizada;
- ρ massa específica;

4 METODOLOGIA

4.1 Tecnologia Aplicada

O simulador computacional de perda de carga foi construído através do desenvolvimento de uma página web dinâmica usando a linguagem de marcação HTML e a linguagem de folhas de estilo CSS para construção de um formulário agradável e de fácil uso, com a linguagem de programação javascript, que é uma das linguagens mais utilizadas para o desenvolvimento da interação dinâmica de um web-site. Javascript apesar de possibilitar a criação de objetos não contém características de uma linguagem orientada ao objeto, como Java ou PHP, mas é compatível com a maioria dos navegadores populares e tem uma menor incidência de erros, além de ser adequado para uma aplicação de pequeno porte como a que foi desenvolvida.

4.2 Base de dados e Equações

As bases de dados utilizadas na aplicação foram às presentes nas tabelas 1, 2 e 3. Sendo que para o caso do coeficiente de perda (K) há a possibilidade de usar os acessórios disponíveis na aplicação, correspondente à tabela 3, ou um campo que poderá digitar a soma dos valores de coeficiente de perda dos acessórios ou conexões presentes no trecho em análise.

Para os cálculos devidos as equações (1), (2), (3), (6) e (7) foram usadas, onde para os valores de aceleração da gravidade (g) e massa específica da água (ρ) consideraram-se constantes e iguais a $9,81 \text{ m/s}^2$ e 999 kg/m^3 .

Reorganizando a equação (7) e usando as equações (1) e (6) tem-se como expressões matemáticas para calcular a pressão no ponto 1, ou no ponto 2 fazendo apenas a troca de lados dos termos P_1 e P_2 , e o comprimento da tubulação em observação, respectivamente:

$$P_1 = P_2 - 999 * \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} - 999 * 9.81 * (z_1 - z_2) + 999 * (h_1 + h_2) \quad (8)$$

$$L = \frac{2 * D * (P_1 - P_2)}{999 * f * V^2} + \frac{D * (v_1^2 - v_2^2)}{f * V^2} + \frac{2 * 9.81 * D * (z_1 - z_2)}{f * V^2} - \frac{(D * K)}{f} \quad (9)$$

4.3 Método Iterativo

A equação de Colebrook (3) é uma expressão matemática implícita, logo não é possível colocar a variável f (fator de atrito) em evidência, sendo necessário o uso do método

iterativo para obter a solução. Entretanto, essa equação é fortemente convergente e com poucas interações converge para um valor que não irá variar nos números mais significativos e pouco mudaria nos números menos significativos caso tivesse mais interações.

Na figura 3 mostra o código utilizado no simulador para calcular o fator de atrito, uma função que recebe as variáveis velocidade do escoamento, viscosidade do fluido, diâmetro do tubo e rugosidade do material utilizado para confeccionar o tubo.

A função tem como primeiro passo calcular o número de Reynolds e guardar esse valor na variável local *rey*, depois são criadas as variáveis locais *fator1* e *erro_inicial*, sendo que primeira representa o fator de atrito no lado direito da equação (3) e que inicialmente é atribuído o valor de 0,025 e a segunda como o teste de parada para a interação, observe a linha 177 e que o *loop* irá parar quando o erro for menor que 0,01, ou seja, menor que 1% . À variável *erro* é definida como o módulo da diferença entre *f* e *fator1*, sendo que *f* é o fator de atrito calculado e o novo valor para *fator1* caso ocorra uma nova interação, veja as linhas 177 e 181, respectivamente. Saindo do laço “*do while*” a função irá retornar o último fator de atrito calculado, que será o utilizado para os cálculos de velocidade do escoamento, diâmetro do tubo, comprimento da tubulação ou a pressão num ponto.

Figura 3 – Código em javascript para calcular o fator de atrito pela equação de Colebrook

```

168 //Calcula o fator de atrito
169 var fator1 = 0.025;
170 function fatorAtrito (V,u,D,k,fator){
171     var rey = (999*V*D)/u;
172     var fator1 = fator;
173     var erro_inicial = 0.01;
174     var f,x,erro;
175     var K = k/D;
176     do {
177         f = 1 / ((-2) * Math.log10((K/3.7) + (2.51/(rey*Math.sqrt(fator1)))));
178         f = Math.pow(f,2);
179         x = (f-fator1);
180         erro = Math.sqrt(Math.pow(x,2));
181         fator1 = f;
182     } while (erro > erro_inicial)
183
184     return f;
185
186 }
```

Fonte: O autor, 2017.

No cálculo para achar a velocidade do fluido ou o diâmetro do tubo será também necessário o uso do método iterativo, pois o fator de atrito é calculado usando a velocidade e o diâmetro, na falta de um deles precisa definir um valor inicial (uma tentativa).

Ao analisar as figuras 4 e 5, percebeu-se que tem a mesma lógica usada no método iterativo da função `fatorAtrito` na figura 3. Entretanto, nas funções `velocidade` e `diâmetro` também é usado a função `fatorAtrito`, ou seja, são dois laços *do while* e há a necessidade de calcular a velocidade ou o diâmetro duas vezes a cada repetição para se ter o erro. Notou-se que há uma variável chamada `soma` do lado direito das equações para calcular a velocidade e o diâmetro, ela é igual à soma dos coeficientes de perda dos acessórios ou conexões presente no trecho de tubulação em análise.

Figura 4 – Código em javascript para calcular a velocidade do fluido

```

215 //Calcula a velocidade por interações
216 function velocidade(AI,AII,VI,PI,PII,L,D,k,u,soma) {
217     var fator1 = 0.025;
218     var erro_inicial = 0.01;
219     var v1,v2,x,erro;
220     do {
221         v1 = ((2*(PI-PII))/(999*((fator1*(L/D))+(soma)+1)) +
222             Math.pow(VI,2)/((fator1*(L/D)+soma+1)) +
223             (2*9.81*(AI-AII))/((fator1*(L/D))+(soma)+1));
224         v1 = Math.pow(v1,(0.5));
225         fator1 = fatorAtrito(v1,u,D,k,fator1);
226         v2 = ((2*(PI-PII))/(999*((fator1*(L/D))+(soma)+1)) +
227             Math.pow(VI,2)/((fator1*(L/D)+soma+1)) +
228             (2*9.81*(AI-AII))/((fator1*(L/D))+(soma)+1));
229         v2 = Math.pow(v2,(0.5));
230         x = (v2-v1);
231         erro = Math.sqrt(Math.pow(x,2));
232         fator1 = fatorAtrito(v2,u,D,k,fator1);
233     } while (erro > erro_inicial)
234
235     return v2;
236
237 }
```

Fonte: O autor, 2017.

Figura 5 - Código em javascript para calcular o diâmetro do tubo

```

239 //Calculo do diametro por interações
240 function diametro(AI,AII,VI,VII,PI,PII,V,L,k,u,soma) {
241     var fator1 = 0.025;
242     var erro_inicial = 0.01;
243     var d1,d2,x,erro;
244     do {
245         d1 = ((999*fator1*L*(Math.pow(V,2)))/(2*(PI-PII)));
246             ((fator1*L*(Math.pow(V,2)))/(Math.pow(VI,2)- Math.pow(VII,2))) +
247             (fator1*L*(Math.pow(V,2)))/(2*9.81*(AI-AII)) - (fator1*L/soma);
248         fator1 = fatorAtrito(V,u,d1,k,fator1);
249         d2 = ((999*fator1*L*(Math.pow(V,2)))/(2*(PI-PII)));
250             ((fator1*L*(Math.pow(V,2)))/(Math.pow(VI,2)- Math.pow(VII,2))) +
251             (fator1*L*(Math.pow(V,2)))/(2*9.81*(AI-AII)) - (fator1*L/soma);
252         x = (d2-d1);
253         erro = Math.sqrt(Math.pow(x,2));
254         fator1 = fatorAtrito(V,u,d2,k,fator1);
255     } while (erro > erro_inicial)
256
257     return d2;
258
259 }

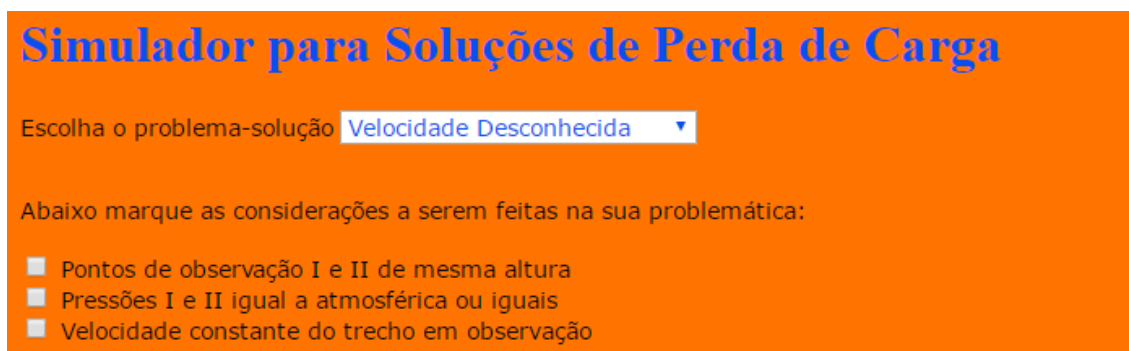
```

Fonte: O autor, 2017.

5 RESULTADOS

Para testar o simulador foram feitas simulações e comparados os resultados obtidos com os encontrados fazendo os cálculos de forma manual auxiliado por calculadora científica. Ao se abrir a ferramenta no navegador terá como primeiro passo a escolha do problema a ser solucionado e por seguinte serão feitas as considerações iniciais de acordo com a problemática. A figura 6, porém é importante frisar que para qualquer problema os cálculos são feitos para água que é um fluido incompressível e que está sendo considerado o regime permanente e turbulento. Depois é necessário apenas que preencha os dados fornecidos pela questão.

Figura 6 – Considerações iniciais a serem preenchidas na ferramenta



Simulador para Soluções de Perda de Carga

Escolha o problema-solução **Velocidade Desconhecida** ▼

Abaixo marque as considerações a serem feitas na sua problemática:

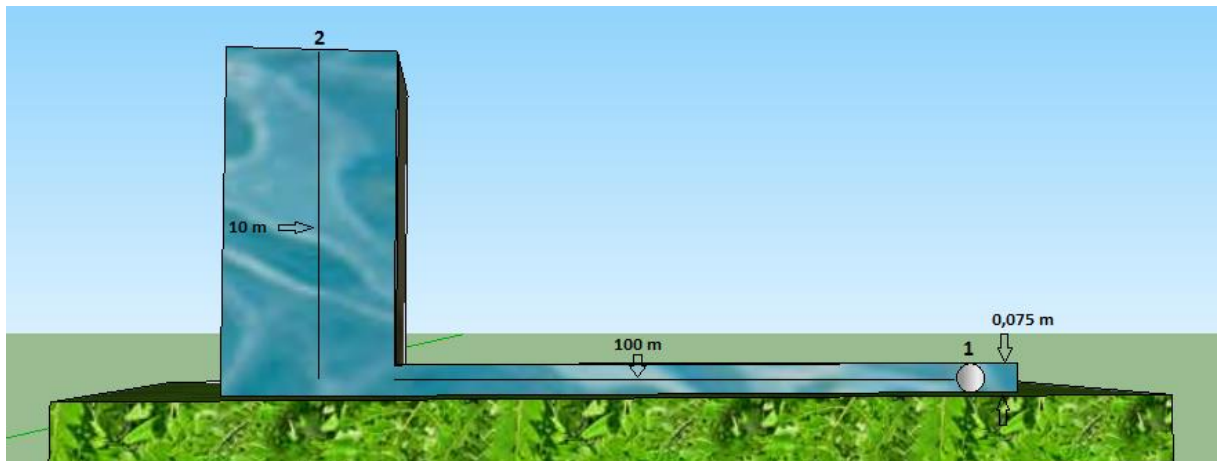
- ☐ Pontos de observação I e II de mesma altura
- ☐ Pressões I e II igual a atmosférica ou iguais
- ☐ Velocidade constante do trecho em observação

Fonte: O autor, 2017.

No primeiro teste um caso hipotético, figura 7, com tubo liso, em que a pressão no ponto 2 é igual a zero, na altura 1 é igual a zero e na altura 2 é 10 metros, a velocidade média é igual a velocidade no ponto 1 que é de 2.26 m/s e a velocidade no ponto 2 igual a zero, com comprimento de 100 metros e um diâmetro interno de 0.075 metros numa temperatura de 20 °C e que a soma dos coeficientes de perda seja igual a 1, foi obtido como resultado para a pressão no ponto 1, que era desconhecida, o valor de **150,415 kPa**, figura 6.

Usando o mesmo caso hipotético e considerando que a pressão no ponto 1 seja igual a 150,415 kPa foi obtido como comprimento do trecho **99,99 metros**, figura 7. Porém fazendo o mesmo cálculo manual para obter a pressão no ponto 1 e depois o comprimento novamente no simulador com a nova pressão os valores obtidos foram de **153,108 kPa** e **105,17 metros**, respectivamente. O fator de atrito utilizado no cálculo manual foi de 0,0162 e o valor obtido no simulador foi de 0,0154.

Figura 7- Ilustração de um problema que se pretende determinar a pressão no ponto 1



Fonte: O autor, 2017.

Figura 6 – Resultado da pressão no ponto 1 pelo simulador

Soma dos coeficientes de outros acessórios

Material da tubulação

A seguir preencha os dados que foram coletados em campo:

Temperatura : Diâmetro : Comprimento :

Os campos seguintes devem ou não serem preenchidos de acordo com as considerações feitas

Velocidade media : VelocidadeI : VelocidadeII :

Pressão no ponto I : Pressão no ponto II : Altura no ponto I : Altura no ponto II :

Resultado :

Fonte: O autor, 2017.

Figura 7 – Resultado do comprimento com a pressão obtida no simulador

Soma dos coeficientes de outros acessórios:

Material da tubulação:

A seguir preencha os dados que foram coletados em campo:

Temperatura : Diâmetro : Comprimento :

Os campos seguintes devem ou não serem preenchidos de acordo com as considerações feitas

Velocidade média : VelocidadeI : VelocidadeII :

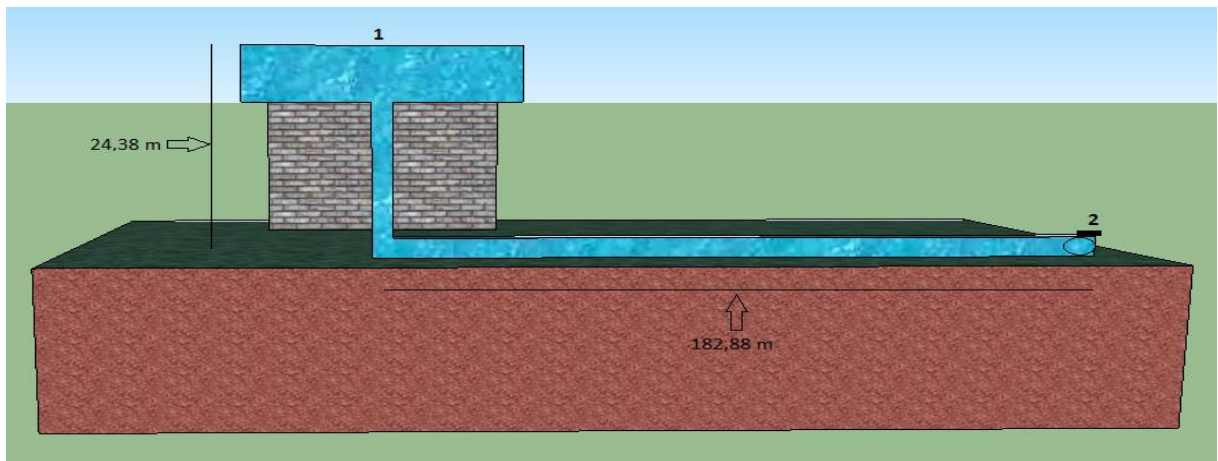
Pressão no ponto I : Pressão no ponto II : Altura no ponto I : Altura no ponto II :

Resultado :

Fonte: O autor, 2017.

Num segundo caso hipotético, figura 8, com tubo de ferro fundido, em que as pressões no ponto 1 e 2 são iguais à da atmosfera, a altura no ponto 1 é igual 24,38 metros e no ponto 2 igual a 0, o comprimento do tubo é de 182,88 metros, diâmetro do tubo 20mm, velocidade no ponto 1 é igual a 0 e um registro tipo globo no ponto 2. No simulador calcula-se a velocidade média do fluido no ponto 2 numa temperatura de 25°C, obtendo-se **1,094 m/s** (figura 9 e 10) e fazendo o mesmo cálculo manualmente resultou em **1.205 m/s**.

Figura 8 – Ilustração do problema que quer determinar a velocidade no ponto 2



Fonte: O autor, 2017.

Figura 9 – Considerações iniciais e coeficiente de perda

Simulador para Soluções de Perda de Carga

Escolha o problema-solução Velocidade Desconhecida

Abaixo marque as considerações a serem feitas na sua problemática:

- ☐ Pontos de observação I e II de mesma altura
- ☒ Pressões I e II igual a atmosférica ou iguais
- ☐ Velocidade constante do trecho em observação

Curva de 90° 0

Curva Lisa 0

Registro tipo Globo 1

Redução de 25mm para 20mm 0

Joelho de 45° 0

Soma dos coeficientes de outros acessórios 0

Fonte: O autor, 2017.

Figura 9 – Resultado obtido para velocidade no ponto 2 pelo simulador

Material da tubulação: Ferro Fundido

A seguir preencha os dados que foram coletados em campo:

Temperatura : 25 Diâmetro : 0.02 Comprimento : 182,88

Os campos seguintes devem ou não serem preenchidos de acordo com as considerações feitas

Velocidade média : VelocidadeI : 0 VelocidadeII :

Pressão no ponto I : 0 Pressão no ponto II : 0 Altura no ponto I : 24,38 Altura no ponto II : 0

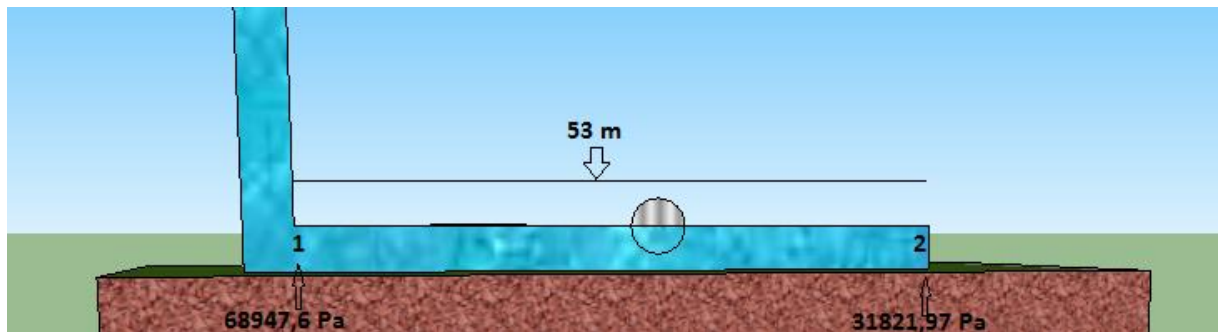
Resultado : 1,094393281821617

Calcular

Fonte: O autor, 2017.

Para testar a aplicação do diâmetro no simulador foi utilizada a seguinte situação: uma caixa d'água é utilizada para suprimento de água em uma comunidade e onde foram executado medidas nos pontos 1 e 2, figura 10, sendo que no ponto 1 a medida de pressão é igual a 68947,6 Pa e no ponto 2 a pressão é de 31821,97 Pa, considerando as alturas e as velocidades iguais nos dois pontos, uma ventosa que tem como coeficiente de perda o valor de 8,6, o comprimento igual 53 metros, a velocidade média de 1.9 m/s e que o material do tubo é de aço comercial com temperatura do fluido igual 20 °C. O valor apresentado foi de **0,055 mm** (figura 11 e 12) que é o diâmetro interno e para os cálculos feitos manuais foi de **0,056 mm**.

Figura 10- Ilustração do problema que quer determinar o diâmetro da tubulação



Fonte: O autor, 2017.

Fonte 11: Considerações iniciais e coeficiente de perda

Simulador para Soluções de Perda de Carga

Escolha o problema-solução Pressão no ponto 1 ▼

Abaixo marque as considerações a serem feitas na sua problemática:

- ☒ Pontos de observação I e II de mesma altura
- ☐ Pressões I e II igual a atmosférica ou iguais
- ☒ Velocidade constante do trecho em observação

Curva de 90° 0

Curva Lisa 0

Registro tipo Globo 0

Redução de 25mm para 20mm 0

Joelho de 45° 0

Soma dos coeficientes de outros acessórios 8.6

Fonte: O autor, 2017.

Figura 12 – Diâmetro calculado pelo simulador

Material da tubulação: Aço Comercial

A seguir preencha os dados que foram coletados em campo:

Temperatura : Diâmetro : Comprimento :

Os campos seguintes devem ou não serem preenchidos de acordo com as considerações feitas

Velocidade média : Velocidade I : Velocidade II :

Pressão no ponto I : Pressão no ponto II : Altura no ponto I : Altura no ponto II :

Resultado :

Fonte: O autor, 2017.

5 CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos pelo simulador, calculando-se com o auxílio de uma calculadora científica provou a eficiência da ferramenta de ter resultados satisfatórios, no qual os erros referentes ao fator de atrito, velocidade média do fluido e o diâmetro interno da tubulação são menores que 1%, onde na maioria das aplicações em perda de carga é aceitável, como pode se ver pelos códigos apresentados na metodologia. Além disso, a diferença entre os valores obtidos é reflexo pelos os arredondamentos e truncamentos feitos tanto pelo usuário para facilitar nos cálculos como pela capacidade da calculadora utilizada, de no máximo 10 dígitos mais significativos, nas operações manuais. Isso mostra a credibilidade ao simulador pela sua precisão. É necessário também alertar pela confiabilidade e integridade das aplicações computacionais, não permitindo erros de cálculos e perda de dados, que é comum aos humanos.

Portanto essa ferramenta tornou-se um auxílio os estudantes e pesquisadores, possibilitando maior absorção do conteúdo com a otimização dos cálculos e precisão dos dados.

REFERÊNCIAS

SOUSA, José Sebastião Costa de. **EQUAÇÃO EXPLÍCITA PARA CÁLCULO DO FATOR DE ATRITO DE DARCY-WEISBACH EM PROJETOS DE IRRIGAÇÃO PRESSURIZADA**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande-PB, 2014.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J. **INTRODUÇÃO À MECÂNICA DOS FLUIDOS**. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T.; PRITCHARD, Philip J. **INTRODUÇÃO À MECÂNICA DOS FLUIDOS**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

AZEVEDO NETTO, J. M. **MANUAL DE HIDRÁULICA**, Ed. Edgard Blucher Ltda, 8ª Edição, São Paulo, 1998