



**FAPAC-FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS PORTO
LTDA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CUSTÓDIO COSTA TORRES
LARYSSA PIMENTA BARBOSA TORRES**

**AVALIAÇÃO DA PERDA DE CARGA LINEAR EM TUBULAÇÕES
RESIDENCIAIS LISA E RUGOSA DE $\frac{3}{4}$**

**PORTO NACIONAL - TO
2017**

CUSTÓDIO COSTA TORRES
LARYSSA PIMENTA BARBOSA TORRES

AVALIAÇÃO DA PERDA DE CARGA LINEAR EM TUBULAÇÕES RESIDENCIAIS
LISA E RUGOSA DE $\frac{3}{4}$

Monografia submetida ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto - ITPAC. Como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil, junto à faculdade de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Leonardo Alves Lopes

PORTO NACIONAL - TO

2017

CUSTÓDIO COSTA TORRES
LARYSSA PIMENTA BARBOSA TORRES

AVALIAÇÃO DA PERDA DE CARGA LINEAR EM TUBULAÇÕES
RESIDENCIAIS LISA E RUGOSA DE 3/4

Monografia submetida ao Curso de Engenharia Civil do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos Porto Ltda. Como requisito para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil, junto á faculdade de Engenharia Civil.

Monografia apresentada e defendida em ___ / ___ / ___ pela Banca Examinadora:

Orientador: Prof. Me. Leonardo Alves Lopes

Prof. Convidado

Prof. Ma. Silvia Barroso Gomes Souto

PORTO NACIONAL – TO

2017

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, que permitiu que tudo pudesse ser realizado mesmo em meio a tantas dificuldades. Aos nossos pais que sempre nos apoiaram durante todo o nosso trajeto. Ao nosso querido Orientador/Professor Me. Leonardo Lopes, que contribuiu de maneira impecável para que pudéssemos alcançar esta vitória. Agradecemos também a nossa Professora Ma. Silvia Souto, a qual podemos dizer que a nossa formação, inclusive pessoal, não teria sido a mesma sem a sua pessoa. E para finalizar dedicamos essa conquista a nossa querida filha Maria Fernanda, que é o principal motivo de termos chegado até aqui.

Custódio Costa Torres

Laryssa Pimenta Barbosa Torres

RESUMO

O presente trabalho teve como desígnio apresentar a perda de carga linear em tubulações residenciais lisa e rugosa de $\frac{3}{4}$, onde foram abordados conceitos básicos de um fluído como também suas propriedades. Um dos fatores observados que influenciam na perda de carga são a viscosidade e rugosidade dos dutos relatados no decorrer deste estudo. Para que houvesse um entendimento melhor sobre o assunto, foram estudados alguns tipos de perda de carga que podem ocorrer nas tubulações e suas principais causas, tendo como finalidade estudar formas onde possamos encontrar problemas nas tubulações, fazendo com que não haja desperdícios em futuras instalações, contudo trazendo resultados para uma melhor distribuição do mesmo, ajudando com parâmetros para futuras modificações do sistema. As perdas de cargas são divididas em dois principais grupos: contínua e localizada; nelas são apresentadas fórmulas que comprovem a perda de carga. Visando obter um circuito hidráulico eficiente e resultados positivos e também apontar as falhas de execução nos sistemas hidráulicos que venham gerar esta perda de carga nas tubulações. Este trabalho foi baseado em autores da área que relatam a respeito da perda de carga onde foram obtidos dados, figuras e citações de grande importância para o desenvolvimento do estudo aqui apresentado. Os resultados deste estudo visaram apresentar a perda de carga gerada devido ao tipo de tubulação utilizada e as pressões onde a perda de carga gerada é relativamente maior e demonstrar possíveis soluções para diminuir este problema nos circuitos hidráulicos, que são cada vez mais constantes atualmente. Com a conclusão deste estudo espera-se que possamos ter contribuído com uma solução deste problema em outros circuitos hidráulicos que venham a ser projetados futuramente, proporcionando soluções viáveis e econômicas para os usuários.

Palavras chaves: Perda de Carga. Tubulação. Circuitos Hidráulicos. Rugosidade.

ABSTRAC

The present work had as its goal to present the linear load loss in $\frac{3}{4}$ smooth and rugged residential pipes, where the basic concepts of a fluid as well as its properties were approached. One of the observed factors influencing the loss of load is the viscosity and roughness of the ducts reported during the course of this study. In order to have a better understanding of the subject, we studied some types of loss of load that can occur in the pipes and their main causes, with the purpose of studying ways in which we can find problems in the pipes, causing no waste in future installations, However bringing results for a better distribution of the same, helping with parameters for future modifications of the system. Load losses are divided into two main groups: continuous and localized; In them formulas that show the loss of load. In order to obtain an efficient hydraulic circuit and positive results and also to point out the execution failures in the hydraulic systems that will generate this loss of load in the pipes. This work was based on authors of the area who report on the loss of load where data, figures and citations of great importance for the development of the study presented here were obtained. The results of this study aimed to present the load loss generated due to the type of piping used and the pressures where the generated load loss is relatively higher and to demonstrate possible solutions to reduce this problem in the hydraulic circuits, which are increasingly constant nowadays. With the completion of this study it is hoped that we could have contributed to a solution of this problem in other hydraulic circuits that will be projected in the future, providing viable and economical solutions for the users.

Key words: Cargo loss. Tubing. Hydraulic Circuits. Roughness.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO..... | 12 |
| 2.1. CONCEITO DE FLUIDO | 12 |
| 2.2. PROPRIEDADES DOS FLUIDOS | 12 |
| 2.2.1. Massa específica | 12 |
| 2.2.2. Densidade | 13 |
| 2.2.3. Peso específico | 14 |
| 2.3. FATORES QUE INFLUENCIAM NA PERDA DE CARGA LINEAR | 15 |
| 2.3.1. Viscosidade | 15 |
| 2.3.2. Rugosidade..... | 16 |
| 2.3.3. Tipos de escoamentos..... | 17 |
| 2.3.3.1. Escoamento Laminar..... | 18 |
| 2.3.3.2. Escoamento Turbulento | 19 |
| 2.3.4. Tipos de condutos..... | 20 |
| 2.3.4.1. Condutos forçados | 20 |
| 2.3.4.2. Condutos livres..... | 20 |
| 2.4. PERDA DE CARGA LINEAR | 21 |
| 2.4.1. Perda de Carga Continua ou Distribuída | 24 |
| 2.4.2. Perda de Carga Localizada ou Singular..... | 26 |
| 2.4.3. Perda de Carga na Entrada de uma Canalização | 26 |
| 3. OBJETIVOS..... | 28 |
| 3.1. OBJETIVO GERAL | 28 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 28 |
| 4. METODOLOGIA | 29 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 31 |
| 6. CONCLUSÃO | 38 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 39 |
| ANEXO | 41 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1- Deformação de um elemento fluido..... | 15 |
| FIGURA 2- Rugosidade nas paredes internas dos condutos..... | 17 |
| FIGURA 3- Representação do experimento de Reynolds..... | 18 |
| FIGURA 4- escoamento laminar..... | 19 |
| FIGURA 5- escoamento turbulento..... | 19 |
| FIGURA 6- Conduto forçado..... | 20 |
| FIGURA 7- Tipos de condutos livres..... | 21 |
| FIGURA 8- Teorema de Bernoulli..... | 22 |
| FIGURA 9- Diagrama de Rouse..... | 25 |
| FIGURA 10- Diagrama de Moody..... | 25 |
| FIGURA 11- Bancada Labtrix MF - 03..... | 25 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| QUADRO 1- Propriedades físicas aproximadas de alguns líquidos..... | 13 |
| QUADRO 2-Densidades de diversas substâncias. | 14 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| GRÁFICO 1- Resultado da perda de carga..... | 32 |
| GRÁFICO 2- Resultado da perda de carga..... | 34 |
| GRÁFICO 3- Resultado da perda de carga..... | 35 |
| GRÁFICO 4- Resultado da perda de carga..... | 37 |

LISTA DE TABELA

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Dados obtidos através da realização do ensaio de perda de carga em tubulação lisa..... | 31 |
| Tabela 2 - Dados obtidos através da realização do ensaio de perda de carga em tubulação rugosa. | 33 |
| Tabela 3 - Dados obtidos através da realização do ensaio de perda de carga em tubulação rugosa. | 34 |
| Tabela 4 - Dados obtidos através da realização do ensaio de perda de carga em tubulação rugosa. | 36 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NB - Denominação de norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

ρ - Massa específica

SI - Sistema internacional de medidas

γ - Peso específico

hf - Perda de carga

L - Comprimento

D - Diâmetro

ϵ - Rugosidade

μ - Viscosidade

V - Velocidade

Re - Número de Reynolds

f - Coeficiente de atrito

1. INTRODUÇÃO

No meio científico existem diversos estudos que tem como objetivo medir a perda de carga (queda de pressão) em tubulações hidráulicas, que compõe um Circuito Hidráulico, comparando os resultados experimentais obtidos com outros já apresentados na literatura. Esses estudos são importantes na medida em que se constituem como opção complementar a determinação do fator de atrito de escoamento em dois tubos retos do mesmo material do Circuito. Já que no meio industrial os sistemas de canalização são constituídos por tubos retilíneos de vários diâmetros e de vários acessórios como conexões, válvulas, registros, medidores de vazão, restrições e expansões, além de muitos outros ascendentes.

Assim, o cálculo da perda de carga em tubulações é fundamental para a implementação de uma instalação hidráulica, seja ela de bombeamento, ou por gravidade. Deve-se ter em mente, que a perda de carga, ou seja, a dissipação de energia por unidade de peso acarreta uma diminuição da pressão estática do escoamento e, por sua vez, comprometendo a carga total de cada seção do escoamento.

Ao que se sabe e, cabe salientar, é que os estudos do escoamento de um fluido real são até hoje um tanto que empírico, já que nem sempre o cálculo teórico corresponde aos resultados observados na prática. Fato este observado principalmente para números do teórico Reynolds, que afirma que as variações de pressão em um sistema de escoamento resultam de variações em elevações ou de velocidade de escoamento (devido a variações em área) e devido à fricção. Pois o efeito da fricção age no sentido de diminuir a pressão, isto é, o de causar uma “perda” de pressão comparada com a do caso ideal de escoamento livre de fricção.

Desta forma, em termos gerais, este trabalho propôs abordar alguns fatores que possibilitam uma perda de carga em tubulações hidráulicas retilíneas e lisas, sendo este, feito numa analogia entre instalações em distintos tempos de uso. Pois, verificam-se diferentes perdas de pressão determinadas pelo tempo de uso contínuo das peças hidráulicas, acarretando em problemas com variação da eficácia da pressão no escoamento.

Segundo inúmeros estudos a perda de carga é dividida em perdas principais (devido à fricção no escoamento completamente desenvolvido em porções do sistema com área constante) e perdas secundárias (devido ao escoamento

através de válvulas, tês, curvas de 90° e a efeitos de fricção em outras porções do sistema de área variável). Nesse enfoque, podemos dizer que o presente estudo abordou as perdas principais. Já que nosso estudo se propõe sumariamente a apresentar possíveis perdas de cargas em um circuito hidráulico de uma residência em tubulações 3/4, causado pelas variações que ocorrem no decorrer dos cumprimentos das tubulações. Isto é, num escoamento livre de uma variedade de conexões, curvas ou variações abruptas de área, a fim de determinar a variação da perda de carga em distintos momentos de utilização da instalação hidráulica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. CONCEITO DE FLUIDO

Azevedo Netto et al. (1998), afirma que para uma substância ou um corpo ser considerado como fluido, as partículas ou moléculas destes devem conter propriedades de movimentos, umas em relação às outras, sob a ação de forças de mínima grandeza.

Já Oliveira e Mors (2009) definiram fluido de uma maneira simplificada e de fácil compreensão, como sendo tudo aquilo que possui a propriedade de escoar e cujo seu volume se apresenta na forma do recipiente que ocupa.

O fluido pode ser encontrado em dois estados, líquido ou gasoso. O que difere entre estes dois estados é a reação de cada um quando submetido a uma tensão, sendo esta tensão de cisalhamento ou tangencial. Por exemplo, o estado sólido tem a capacidade de resistir a uma tensão de cisalhamento por uma deflexão estática, já o fluido não possui esta capacidade de resistência. Por menor que seja esta tensão de cisalhamento exercida sobre o fluido, fará com que o fluido se movimente (WHITE, 2011).

Para Brunetti (2008) um fluido para ser considerado ideal, deve possuir sua viscosidade nula, gerando um escoamento sem perdas de energia por atrito. Mesmo sabendo que nenhum fluido possui essa propriedade, em alguns casos há uma necessidade de admitir essa hipótese, seja por razões didáticas, ou seja, pelo fato de a viscosidade ser de efeito secundário neste fenômeno.

2.2. PROPRIEDADES DOS FLUIDOS

2.2.1. Massa específica

Todos os elementos possuem massa específica, indicada por ρ , e determinada como a massa da substância presente por unidade de volume. O SI adota Kg/m^3 como sendo unidade de medida para a massa específica (BRUNETTI, 2008; BISTAFA, 2012).

Portanto:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1)$$

Onde:

M= massa

V =volume

Munson; Okiishi e Young (2013) concordaram que os diversos fluidos podem apresentar massas específicas bastante distintas, pois normalmente, a massa específica dos líquidos é pouco sensível às variações de pressão e de temperatura. No quadro 1 estão listadas propriedades físicas aproximadas de alguns líquidos.

| | Temperatura (°C) | Massa Específica (Kg/m ³) | Viscosidade Dinâmica (N.s/m ²) | Tensão Superficial (N/m) | Pressão de vapor [N/m ² (abs)] | Compressibilidade (N/m ²) |
|-----------------------|------------------|---------------------------------------|--|--------------------------|---|---------------------------------------|
| Tetracloro de Carbono | 20 | 1590 | 9,58 E-4 | 2,69 E-2 | 1,3 E+4 | 1,31 E+9 |
| Álcool Etilico | 20 | 789 | 1,19 E-3 | 2,28 E-2 | 5,9 E +3 | 1,06 E+9 |
| Gasolina | 15,6 | 680 | 3,1 E-4 | 2,2 E-2 | 5,5 E+4 | 1,3 E+9 |
| Glicerina | 20 | 1260 | 1,50 E+0 | 6,33 E-2 | 1,4 E-2 | 4,52 E+9 |
| Mercúrio | 20 | 13600 | 1,57 E-3 | 4,66 E-1 | 1,6 E-1 | 2,85 E+10 |
| Óleo SAE 30 | 15,6 | 912 | 3,8 E-1 | 3,6 E-2 | - | 1,5 E+9 |
| Água do mar | 15,6 | 1030 | 1,20 E-3 | 7,34 E-2 | 1,77 E+3 | 2,34 E+9 |
| Água | 15,6 | 999 | 1,12 E-3 | 7,34 E-2 | 1,77 E+3 | 2,15 E+9 |

QUADRO 1- Propriedades físicas aproximadas de alguns líquidos.

Fonte: Munson; Okiishi e Young (2013).

2.2.2. Densidade

Um corpo de massa m, independente de suas características, ocupa um volume V no espaço, de forma que se define a grandeza escalar densidade (ρ) como:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Onde:

m = massa

v = volume

Desta forma, quanto maior for a massa ocupando uma unidade de volume, maior será a densidade do corpo, ou seja, mais denso ele será. A densidade depende basicamente da massa dos átomos do corpo e do espaço entre eles. A unidade do sistema internacional de unidades (SI) para a densidade é o kg/m³, mas muitas vezes é conveniente expressarmos a densidade em g/cm³ (OLIVEIRA; MORS, 2009). No quadro 2 estão listadas as densidades de algumas substâncias.

| SUBSTÂNCIA | DENSIDADE (g/cm³) |
|-------------------|-------------------------------------|
| ÁGUA | 1 |
| GELO | 0,92 |
| ÁLCOOL | 0,8 |
| MERCÚRIO | 13,6 |
| ALUMÍNIO | 2,7 |
| FERRO | 7,9 |
| CHUMBO | 11,3 |
| PLATINA | 21,5 |

QUADRO 2- Densidades de diversas substâncias.

Fonte: Oliveira e Mors (2009).

2.2.3. Peso específico

O peso específico dos elementos é representado por γ , e determinado como sendo o peso da substância presente em uma unidade de volume. O peso específico está associado com a massa específica por meio da relação:

$$\gamma = \rho \times g \quad (3)$$

Onde:

γ = Peso específico do fluido

ρ = Massa específica

g = Aceleração da gravidade local

Munson; Young e Okiishi (2013) e Bistafa (2012) notaram que o peso específico é utilizado para caracterizar o peso do sistema fluido enquanto a massa

específica é utilizada para caracterizar a massa do sistema fluido. A unidade de medida do peso específico adotada pelo SI é N/m^3 .

2.3. FATORES QUE INFLUENCIAM NA PERDA DE CARGA LINEAR

Mediante a alguns conceitos apresentados, Cimbala e Çengel (2015), obtiveram o conhecimento que o ideal para evitar uma perda de carga seria a utilização de um fluido perfeito, pois assim a perda de carga seria quase que insignificativa em relação a fatores como a viscosidade do fluido, rugosidade da tubulação, tipo de escoamento, etc. A seguir serão apresentados os principais fatores que causam a perda de carga.

2.3.1. Viscosidade

O fluido perde a sua forma original quando é submetido a uma força constante (tensão de cisalhamento), mas não ausência da força mantém sua forma normal (FIGURA 1).

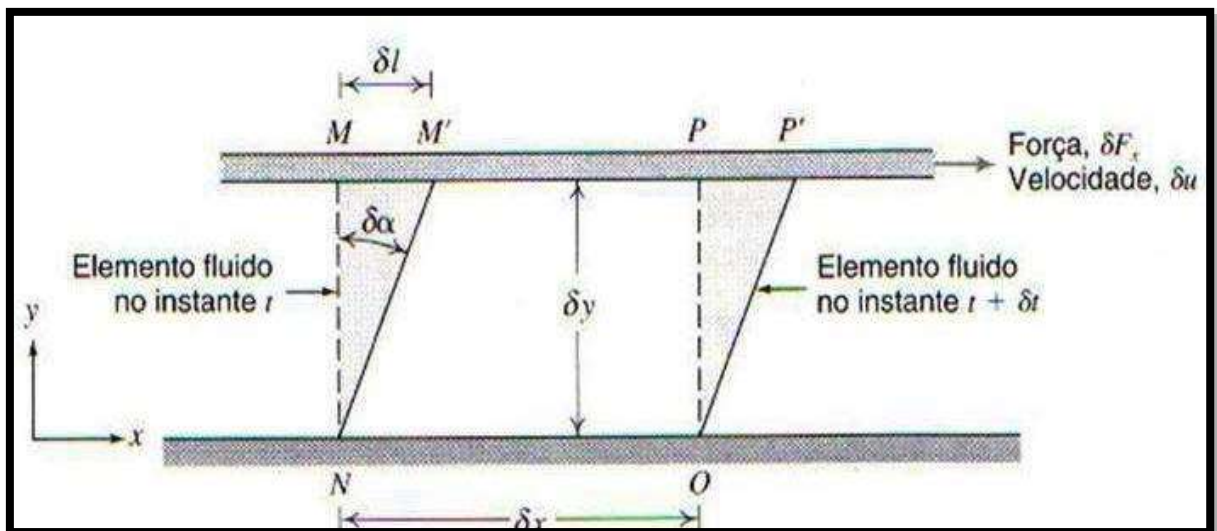


FIGURA 1- Deformação de um elemento fluido.
Fonte: FOX e McDONALD, (2006).

Os fluidos podem ser classificados, conforme exposto por FOX e MCDONALD (2006), através da relação entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Para a determinação da tensão de cisalhamento, o fluido pode ser

aplicado entre duas placas planas, sendo que a placa inferior deve ser fixa, enquanto a superior é submetida a uma força e velocidade constantes.

Os autores completam que para um intervalo de tempo, o fluido em contato com a placa superior sofrerá uma deformação em relação à região do fluido em contato com a placa fixa, formando um ângulo, o qual define a taxa de deformação.

Contudo, o fluido pode ser classificado como newtoniano quando a tensão de cisalhamento for diretamente proporcional à taxa de deformação (FOX; McDONALD, 2006).

Assim, afirma-se que as constantes de proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação é a viscosidade absoluta, representada pela letra (μ), sendo então aplicada à Lei de Newton da viscosidade para o escoamento unidimensional:

$$\tau_{yx} = \mu \frac{du}{dy} \quad (4)$$

Na equação as dimensões de μ podem ser expressas por:

$$\mu = F \frac{t}{l^2} \quad (5)$$

Onde:

F = Força

t = Tempo

L = Comprimento linear

A resolução de problemas de mecânica dos fluidos da razão entre viscosidade absoluta μ e a massa específica ρ define a viscosidade sistemática, representada pela letra grega ν .

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

2.3.2. Rugosidade

Todos os condutos apresentam asperezas em suas paredes internas, o que influencia bastante na perda de carga dos fluidos em escoamento. Em geral,

tais asperezas não são uniformes, mas apresentam uma distribuição aleatória tanto em altura como em disposição. No entanto, para efeito de estudo, Delmée (2003) supôs inicialmente que as asperezas tinham altura indicada por ϵ e distribuição uniformes, conforme exemplificado na Figura 2.

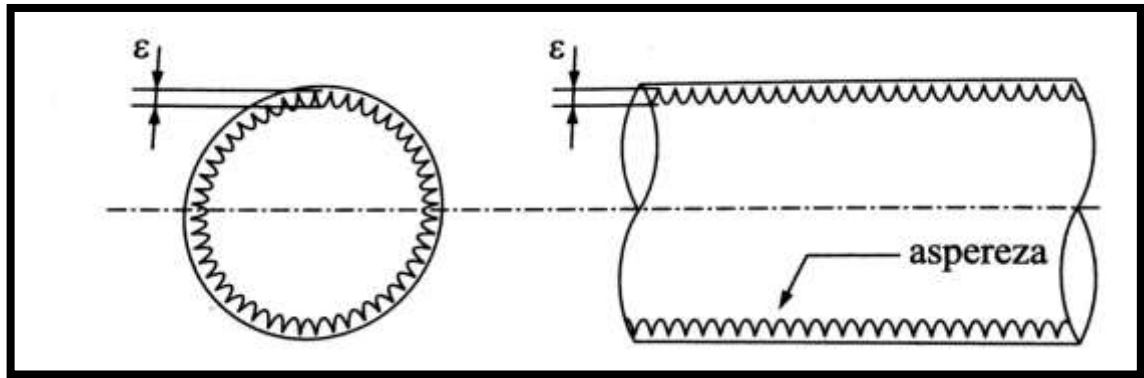


FIGURA 2- Rugosidade nas paredes internas dos condutos.
Fonte: Brunetti (2008).

2.3.3. Tipos de escoamentos

O fato de existirem tipos distintos de escoamento foi demonstrado experimentalmente por Osborne Reynolds. Ele injetou uma pequena quantidade de fluido colorido na entrada de uma tubulação de vidro que conduzia água vinda de um tanque. Uma válvula no final da tubulação permitia variar a vazão do sistema. Quando a velocidade do líquido no tubo era pequena, o líquido colorido aparecia como uma linha reta ao longo do tubo (regime laminar). Quando a velocidade da água era gradualmente aumentada através de maior abertura na válvula, existiria um valor para o qual o regime mudava. Inicialmente a linha do líquido ficava ondulada e depois disto quebrava com formação de vórtices conforme mostra a Figura 3 difundindo-se na massa de água (regime turbulento) (MATOS; FALCO, 1992).

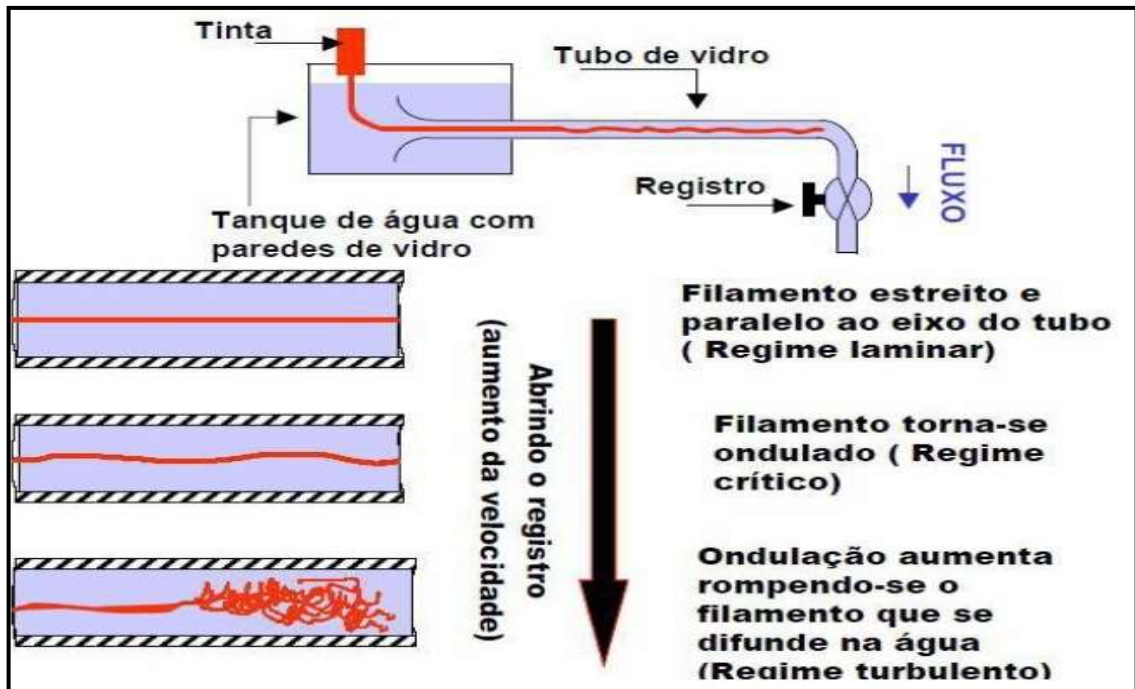


FIGURA 3- Representação do experimento de Reynolds.

Fonte: Evangelista, [s.d].

Reynolds generalizou os resultados do seu experimento com a introdução do termo adimensional Re , conforme equação abaixo:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (7)$$

Onde:

Re = número de Reynolds;

V = velocidade de escoamento do fluido;

D = diâmetro interno da tubulação;

ν = viscosidade cinemática do fluido na temperatura de bombeamento.

2.3.3.1. Escoamento Laminar

Brunetti (2008) definiu escoamento laminar como sendo aquele em que as partículas se deslocam em lâminas individualizadas, sem troca de massa entre elas.

O fluido escoar em blocos ou lâminas, de forma que o perfil de velocidades é parabólico conforme mostra a Figura 4. Os atritos que ocorrem são de origem viscosa ($Re < 2.000$) (EVANGELISTA, 2014).

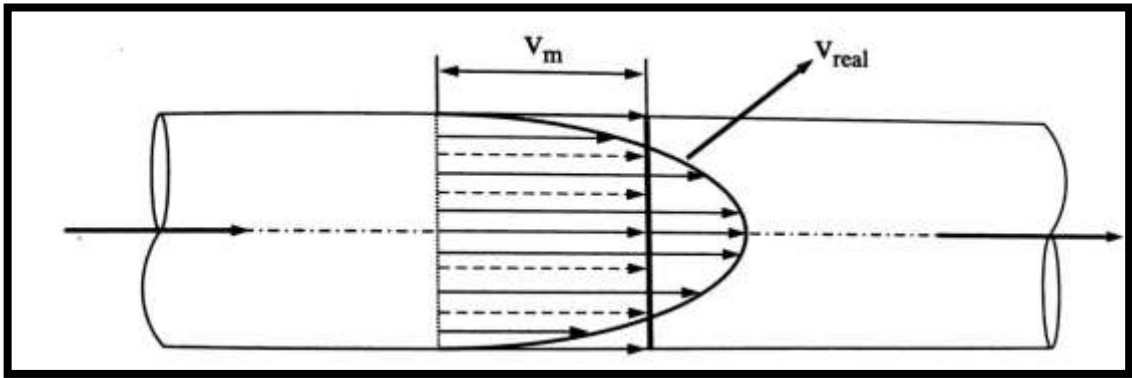


FIGURA 4- Escoamento laminar.
Fonte: Evangelista (2014).

2.3.3.2. Escoamento Turbulento

Colaço; Freire e Ilha (2006) afirmam que se trata de escoamento turbulento quando as partículas de um fluido não se movem ao longo de trajetórias bem definidas, ou seja, as partículas descrevem trajetórias irregulares, com movimento aleatório, produzindo uma transferência de quantidade de movimento entre regiões de massa líquida. Este escoamento é comum na água, cuja viscosidade é relativamente baixa.

De acordo com Olinto (2005), escoamentos turbulentos são caracterizados por números de Reynolds muito altos, assim, é razoável esperar que qualquer descrição da turbulência funcione adequadamente à medida que esse número tende ao infinito, a Figura 5 exemplifica o perfil de um escoamento turbulento.

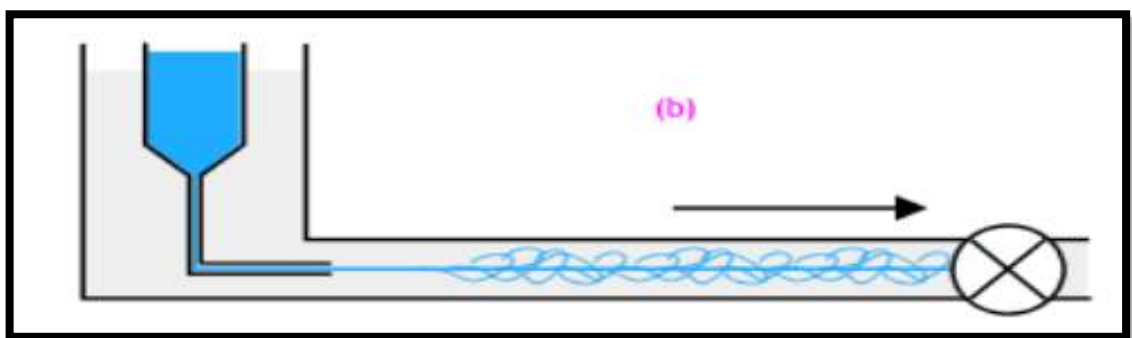


FIGURA 5- Escoamento turbulento.
Fonte: Azevedo Netto et al. (1998).

2.3.4. Tipos de condutos

Para Brunetti, (2008) conduto é definido como qualquer estrutura sólida, destinada ao transporte de fluidos. Sabe-se que o tipo de conduto utilizado durante a execução de um trabalho hídrico influencia muito em eventuais perdas de cargas, estes são classificados, quanto ao comportamento dos fluidos em seu interior, em forçados ou livres.

2.3.4.1. Condutos forçados

Bistafa, (2012) e Creder (2006) afirmam que para um conduto ser considerado forçado, este deverá possuir uma pressão interna diferente da pressão atmosférica, Azevedo Netto et al. (1998) complementa que nesse tipo de conduto, as seções transversais devem sempre serem fechadas e o fluido circulante obrigatoriamente deve encher completamente, e seu movimento pode se efetuar em qualquer sentido do conduto, conforme mostra a Figura 6.

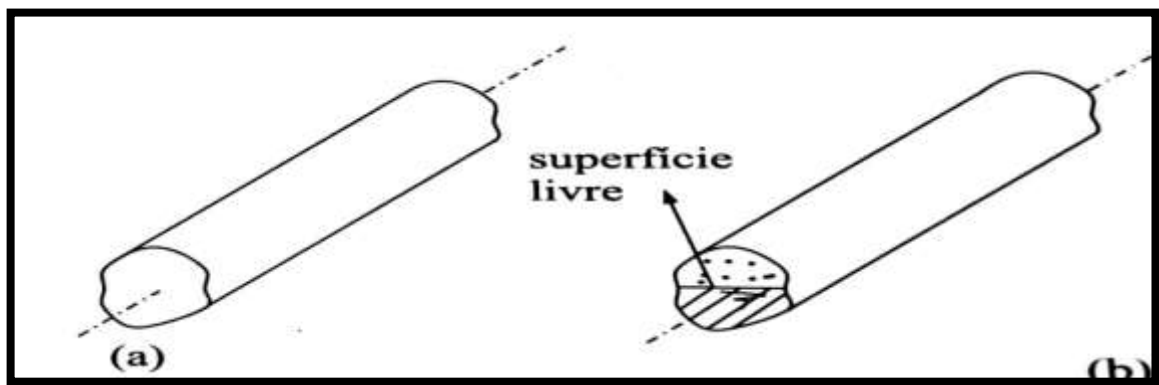


FIGURA 6- Conduto forçado.
Fonte: Brunetti, (2008).

2.3.4.2. Condutos livres

Condutos livres são aqueles nos quais estão sujeitos a pressão atmosférica, em pelo menos um ponto da sua seção do escoamento. São denominados canais e normalmente apresentam uma superfície livre de água em contato com a atmosfera, um bom exemplo de condutos livres são os cursos d'água naturais, além de rios e canais, entre outros. (AZEVEDO NETTO et al., 1998 p.361).

Na figura 7 são mostrados dois casos típicos de condutos livres (a e b); em (c) está indicado o caso limite de um conduto livre: embora o conduto funcione

completamente cheio, na sua geratriz interna superior atua uma pressão igual à atmosférica. Em (d) está representado um conduto no qual existe uma pressão maior do que a atmosférica.

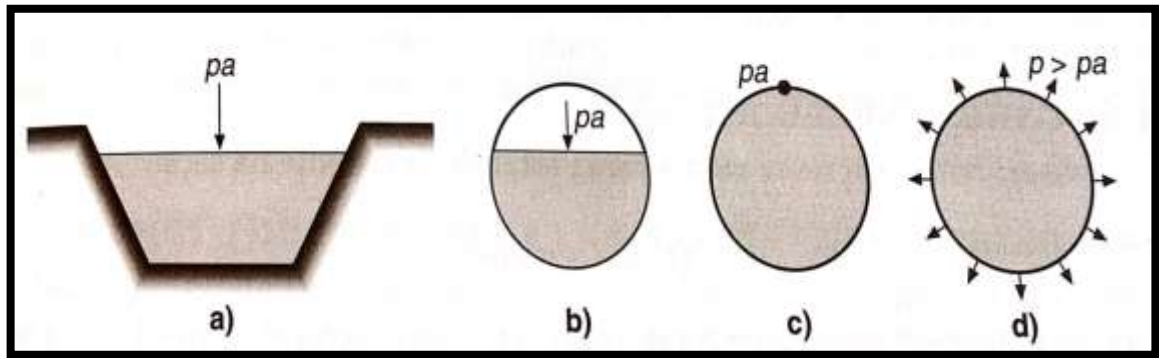


FIGURA 7- Tipos de condutos livres.
Fonte: Azevedo Netto et al. (1998).

2.4. PERDA DE CARGA LINEAR

A perda de carga é o resultado do atrito interno do líquido com as paredes dos dutos acarretando numa perda de energia, tendo como grande fator a viscosidade e rugosidade que em cada tipo de peças possa oferecer, isto é, alterando grande parte nas trajetórias das partículas líquidas imposta em determinada tubulação (MACINTYRE, 2012).

Tendo como uma forma de modelo que um líquido flui de uma posição (1) para (2) como no exemplo na canalização indicada a seguir, o segmento da energia inicial espalha-se conforme a condição de calor; somada as três cargas em (2) o (teorema de Bernoulli) não tendo sua igualdade na carga total em (1). A mudança h_f , que é chamada de perda de carga. É muito importante o estudo do mesmo em determinadas situações encontradas na engenharia, tendo assim diversas maneiras de estudos e investigações (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

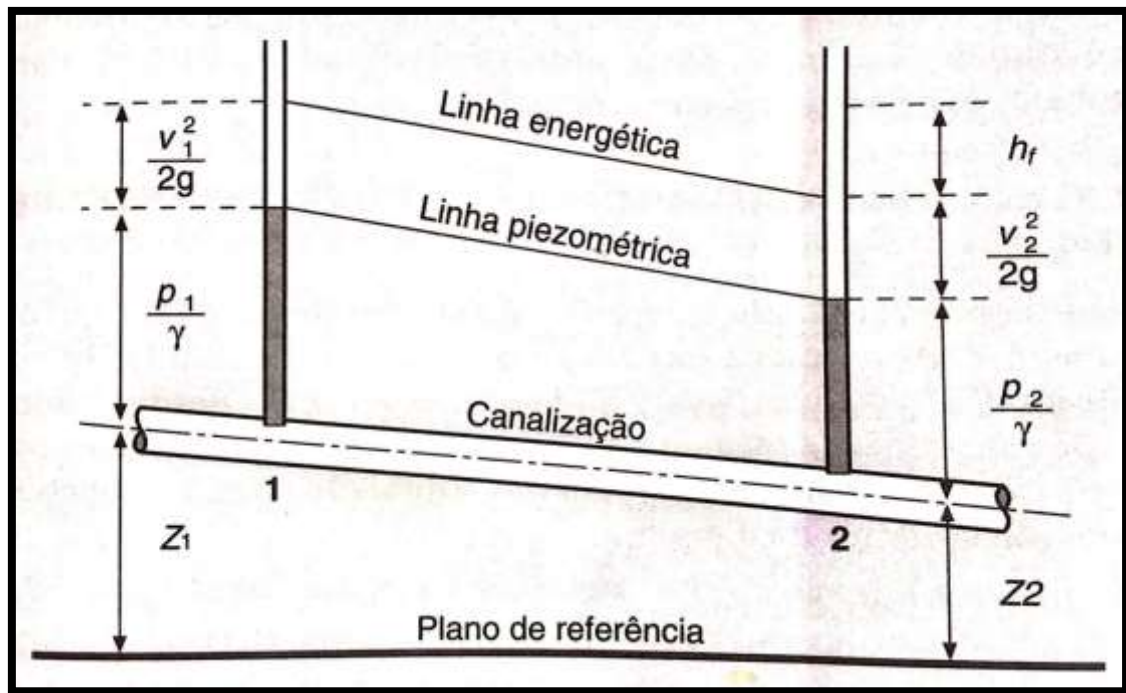


FIGURA 8- Teorema de Bernoulli.

Fonte: Azevedo Netto et al. (1998).

Segundo Azevedo Netto et al. (1998) a determinação ao escoamento em regime laminar é um compromisso inteiramente à viscosidade. Contudo com a perda de energia, seja ela frequente apontada como perda por fricção ou por atrito, não dizendo que ela deve ser por uma forma de atrito o que ocorre com os sólidos. Ligada as paredes dos dutos não existindo locomoção do fluido. Sendo assim, imagina-se uma forma de camada em movimento, com velocidade diferente e agindo pela dissipação de energia.

Já ao escoamento do regime turbulento determina-se com o efeito agregado das forças devidas à viscosidade e à inércia. Sendo assim Creder (2006) observou que a repartição de velocidades nos dutos decorrentes nas tubulações, máxima ou mínima, é manipulada pelas circunstâncias da parede, sendo os dutos com parede rugosa causas de maior turbulência.

Segundo MACINTYRE (2012) os estudiosos Darcy e Weisbach chegaram à expressão geral da perda de carga válida para qualquer líquido, que pode ser escrito sob a forma:

$$j = f \cdot \frac{i}{d} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (8)$$

Logo:

J = perda de carga;

l = comprimento da tubulação;

v = velocidade;

d = diâmetro;

g = gravidade;

f = coeficiente de atrito

O autor completa que o fator f varia, e o que denomina a distribuição é o “regime turbulento”, com a ajuda das velocidades de escoamento que cada seção terá. Informa também que o fator f do regime de escoamento depende relativamente da rugosidade das paredes do duto, que é, $\frac{\varepsilon}{d}$ e seus valores são tabelados em função de cada tipo de duto e seus respectivos diâmetros. Dos dados de Reynolds Re , onde se tem a equação:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (9)$$

Onde:

V = Velocidade média na seção em (m x s⁻¹);

d = diâmetro interno do tubo em (m);

ν = coeficiente de viscosidade cinemática.

A equação de Reynolds veio após o mesmo fazer verificação e estudo teórico e experimental, contudo trabalhados diversos diâmetros e temperaturas, tendo em vista um melhor critério para determinada situação de movimento em tubulação, não se prendendo ao valor da velocidade, e sim o valor de expressão sem tamanhos, sendo assim considerando a viscosidade do líquido. Para identificar o número de Reynolds é preciso ter parâmetros que levem em conta a velocidade entre o líquido que escoar e o determinado material que este líquido se envolver, sendo uma medida linear típica (diâmetro, profundidade, etc.) e também a viscosidade do líquido (AZEVEDO NETTO et al. 1998).

A perda de carga pode ser classificada em dois principais grupos. São elas: contínuas ou distribuídas e localizadas ou singulares. A distribuída é considerada pelo duto em si. Com isso as partículas dentro do duto entram em atrito umas com as outras (próximas à parede) que são sujeito da viscosidade, é o essencial fator podendo a influência em determinada queda de pressão. Já a

localizada é provocada em especial por acessórios da canalização: reduções, conexões, válvulas, curvas entre outros (McCABE, 2005).

2.4.1. Perda de Carga Continua ou Distribuída

São determinadas pela difração das partículas fluidas entre si, do mesmo modo que as partículas internas das paredes do tubo se choquem umas com as outras, na maioria das vezes em trechos retos de tubulação, onde é relacionado com o comprimento (L) da tubulação, o diâmetro (D), massa específica (ρ), rugosidade (ϵ) da parede, das propriedades do fluido, viscosidade (μ), portanto esta última tendo o papel mais importante das partículas do fluido na dispersão de energia e da velocidade (V) do fluxo. Secção circular de dutos, afirma que o número de Reynolds é permitido valor de 2100, como extrema transferência do escoamento laminar e o turbulento (SISSOM, 1988). A seguir as figuras 9 e 10 mostram os diagramas que são utilizados na equação que foi vista anteriormente, o primeiro é a relação do diagrama de Hunter Rouse.

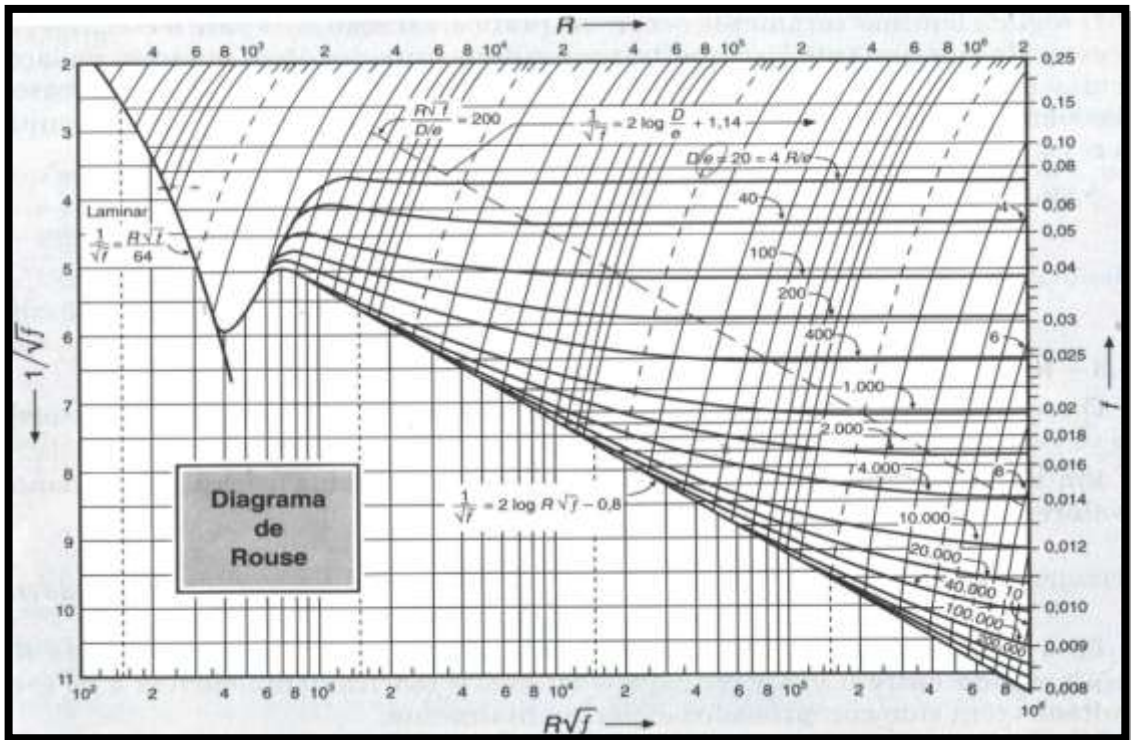


FIGURA 9- Diagrama de Rouse.
Fonte: Azevedo Netto et al. (1998).

E logo abaixo o Diagrama de L.F. Moody, sendo os dois de suma importância para solucionar problemas de escoamento das tubulações:

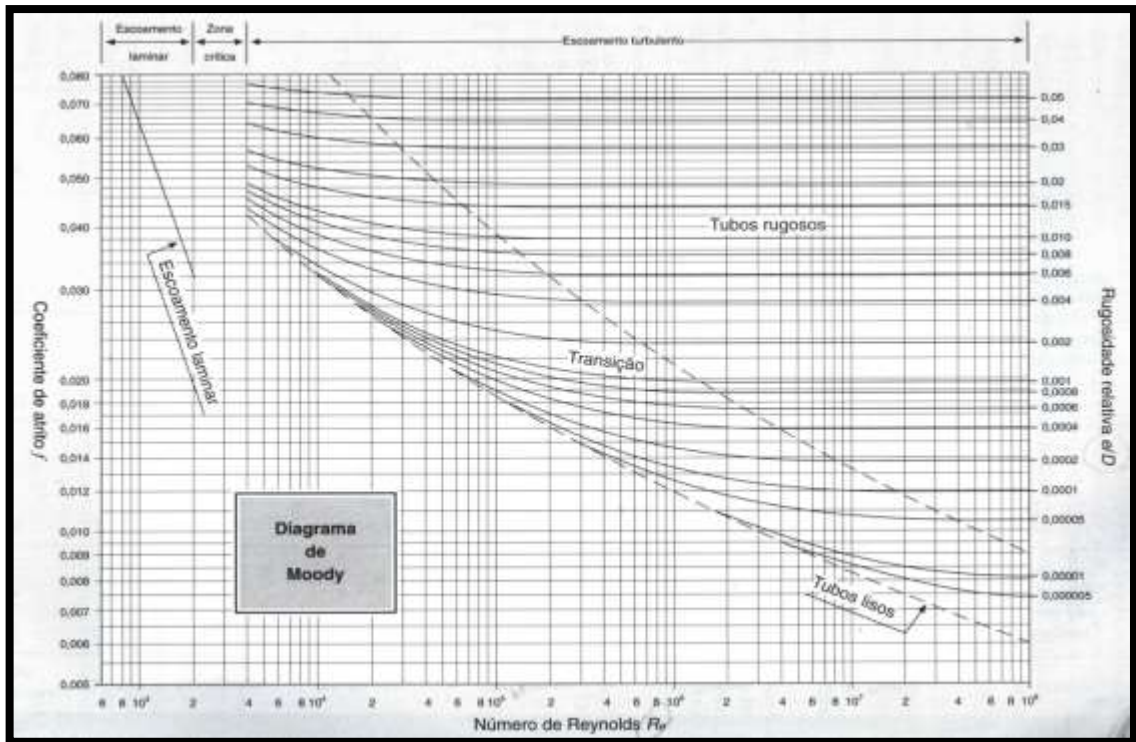


FIGURA 10- Diagrama de Moody.
Fonte: Azevedo Netto et al. (1998).

Método de Hazen-Williams, para dutos com diâmetros maiores de 50 mm , é o método mais utilizado.

$$J = 10,641 x + Q^{1,85} x C^{-1,85} x D^{-4,87} \quad (10)$$

Onde:

J = Perda de carga unitária (m/m);

CC = Constante que depende do material utilizado na fabricação e o tempo de uso;

Q = vazão (m³/s);

D = diâmetro, (m).

2.4.2. Perda de Carga Localizada ou Singular

A tubulação além de perder carga no decorrer do mesmo, tende a perder ainda mais com peças especiais, válvulas, conexões, curvas etc. Sendo responsáveis por perda de carga, por determinarem perda de velocidade, gerar turbulência, estimular atritos tendo um grande choque das partículas do líquido, desvia a direção dos filetes. Contudo essas energias que provocam tudo isso nas peças mencionadas, são denominadas de perda de carga local, localizada ou acidental (MACINTYRE, 2012).

Segundo Bistafa, (2012) e Macintyre (2012) existem vários tipos de perda de carga localizada. A mais usada é a fórmula geral onde na tabela acha-se o valor do fator K de perdas localizadas, para determinadas peças. A perda de carga localizada compatível a uma peça, sendo que o fator de perda de carga tem o valor K:

$$J = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (11)$$

2.4.3. Perda de Carga na Entrada de uma Canalização

Para conferir perda de carga em entrada de uma tubulação (saída de reservatório, caixas, tanques etc.) resulta muito das circunstâncias que distinguem o tipo de entrada. Um condicionamento mais normal poderá ser frequente, de que a

tubulação faz um ângulo de 90° com as paredes ou até mesmo com o fundo do reservatório, criando uma aresta viva. Com essa circunstância o valor de K é definido, sugerindo-se que poderá ser igual a 0,5. Em dutos côncavos, estabelecida à entrada tradicional de Borda (escolha dada em consideração ao enorme hidráulico do século XVII), a possibilidade do negativo admite-se K no valor igual 1. Caso as entradas dos dutos forem arredondadas o número de K diminuirá consideravelmente sendo igual a 0,05 acatando sempre que o mesmo seja ao formato de sino. O começo arredondado é perfeito para a forma de tratriz ($K=0,04$). Na realidade, sempre que a recomendação da obra justificar permitirá que sejam melhoradas as situações de entrada, colocando uma redução no começo da tubulação (AZEVEDO NETTO et al. 1998).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Apresentar possíveis perdas de cargas em um circuito hidráulico de uma residência em tubulações 3/4, causado pelas variações que ocorrem no decorrer dos comprimentos das tubulações.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar os principais fatores que influenciam na perda de carga;
- Obter uma perda de carga linear para estimar o quanto de perda ocorre em uma construção civil em canalização;
- Comparar a vazão no início da tubulação com a vazão final para quantificar em perda de carga;
- Estimar quando será necessária a substituição da tubulação velha por uma nova.

4. METODOLOGIA

Na execução deste estudo foi utilizada a bancada de experimentos da marca Labtrix modelo MF-03, localizada no laboratório de recursos hídricos do Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos – Porto Nacional (ITPAC-PORTO), onde a mesma é composta por reservatório com escala graduada em milímetros, bombas hidráulicas, manômetros medidores de pressão, piezômetro, tubulações.



FIGURA 11 - Bancada Labtrix MF – 03
FONTE: Torres e Torres , (2017).

Foram utilizados no ensaio, tubulações e conexões que são utilizadas frequentemente em sistemas hidráulicos residenciais para o abastecimento de água.

Os ensaios foram efetuados com tubulações com distintos tempos de uso de diâmetro 25 mm, onde foram serradas as tubulações na medida desejada com segueta. Após o corte de todas as tubulações utilizadas no ensaio, estas foram lixadas juntamente com as conexões ao qual foi feito a ligação com as demais

tubulações utilizando cola, a fim de aumentar a aderência entre tubulações. Feito isso, todos os resíduos provenientes da serragem das tubulações que poderiam vir a interferir nos resultados dos ensaios foram eliminados.

Em seguida, deu-se início a montagem dos circuitos usados nos ensaios posteriormente, onde foram coladas com cola araldite, abraçadeiras de PVC com orifício circular no centro, e feito um furo na tubulação com a furadeira com broca de 1,5 mm onde foram conectadas a mangueiras antes e depois de cada conexão e conectadas ao piezômetro para ser realizado o ensaio.

Foi fechada totalmente a válvula de entrada e ligou-se a bomba, abrindo somente a válvula de esfera da linha de singularidades.

Abriu-se a válvula de entrada vagarosamente acompanhando o piezômetro até que foi estabelecida a vazão máxima da instalação, ou seja, atingindo o limite do piezômetro. Pressurizou o piezômetro quando necessário.

Atuar na válvula de entrada varrendo toda a faixa e obtendo, os valores de P_a e P_b e calculou-se pelo método ΔP (STREETER, 1978).

Na realização do ensaio foram coletados e analisados os seguintes dados:

- Vazão inicial e vazão final;
- Volume;
- Altura do reservatório;
- Pressão inicial e pressão final;
- Perda de carga.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo a norma NBR 5626 de 1998, Instalação predial de água fria, diz que sistemas de tubulações devem ser dimensionados de maneira a assegurar uma melhor distribuição da água com vazão apropriada.

Nesse enfoque o ensaio teve como função simular alguns tipos de circuitos hidráulicos, onde foram analisados dois tipos de tubulações (Lisa e Rugosa) de diâmetro 25 mm com distintos tempos de uso, para avaliar como está ocorrendo à distribuição hidráulica nos mesmos.

A seguir, a tabela 01 demonstra os resultados obtidos através dos ensaios realizados no laboratório, onde foi analisada a perda de carga em um circuito hidráulico contendo tubos novos, que serviram de testemunha para os demais ensaios, visto que, as tubulações atualmente fabricadas no mercado possuem um fator de rugosidade muito baixo para evitar perdas de pressão muito altas.

Tabela 01: Dados obtidos através da realização do ensaio de perda de carga em tubulação lisa.

| RESERVATÓRIO DE MEDIDA | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------|---------------|-----------|-------------|--------------|-----------------|-----------|
| L1 (m) | | | 0,298 | | | | | |
| L2 (m) | | | 0,208 | | | | | |
| ÁREA (m ²) | | | 0,061984 | | | | | |
| Altura (mm) | Volume (litros) | Tempo (s) | Vazão (L/min) | Pa (mmca) | Pb (mmca) | DeltaP (mca) | Esperado (L/mm) | |
| 175 | 10,85 | 8,72 | 74,64 | 1325,00 | 695,00 | 0,63 | 0 | 0 |
| | | | | | | | 5 | 0,0028386 |
| 174 | 10,79 | 13,61 | 47,55 | 760,00 | 490,00 | 0,27 | 10 | 0,0113543 |
| | | | | | | | 15 | 0,0255473 |
| 175 | 10,85 | 20,93 | 31,10 | 505,00 | 375,00 | 0,13 | 20 | 0,0454173 |
| | | | | | | | 25 | 0,0709646 |
| 175 | 10,85 | 44,65 | 14,58 | 325,00 | 290,00 | 0,04 | 30 | 0,102189 |
| | | | | | | | 40 | 0,1816694 |
| 175 | 10,85 | 233,66 | 2,79 | 265,00 | 260,00 | 0,01 | 60 | 0,4087561 |
| | | | | | | | 80 | 0,7266775 |
| K | | | | | 0,000113543 | | 100 | 1,1354336 |

Fonte: Torres e Torres, (2017).

O gráfico 01 apresenta os resultados obtidos através dos dados informados na tabela 01 onde o mesmo demonstra duas perdas de carga sendo elas, Esperada e delta P que significa a real perda de carga ocorrida na tubulação utilizada para o ensaio. Observa-se que, a diferença entre elas é consideravelmente

proporcional, pois como foi mencionada anteriormente a tubulação utilizada para a realização dos ensaios possui uma rugosidade baixa de fábrica, fazendo com que a perda de carga seja praticamente igual ao que se espera para que um circuito residencial funcione de maneira plausível.

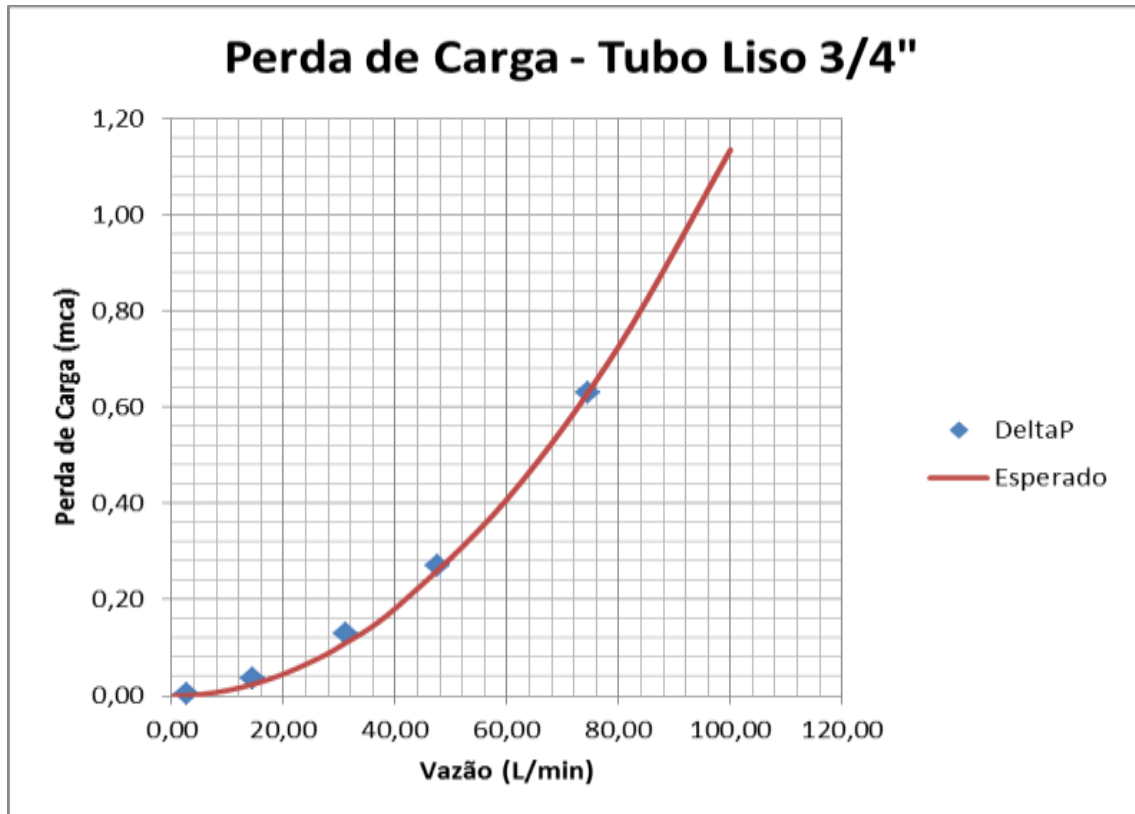


Gráfico 01 – Resultado da perda de carga.

Fonte: Torres e Torres, (2017).

Em seguida pode se observar os parâmetros da Tabela 02 onde os resultados de P_a e P_b são mensurados através do Piezômetro, logo após verifica-se a perda de carga real que é calculada em relação a subtração de P_a sobre P_b dividido por 1000 assim chegando no resultado real. Logo após, tem-se o Esperado onde o valor se dá através do volume sobre o tempo multiplicado por 60. A perda esperada se dá através do valor esperado, seu cálculo é realizado através do valor esperado elevado ao quadrado, multiplicado pela constante de K.

TABELA 02 :Dados obtidos através da realização do ensaio de perda de carga em tubulação rugosa.

| RESERVATÓRIO DE MEDIDAS | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|-----------|---------------|-------------|-----------|--------------|-----------------|-----------|
| L1 (m) | | | 0,298 | | | | | |
| L2 (m) | | | 0,208 | | | | | |
| Área (m ²) | | | 0,061984 | | | | | |
| Altura (mm) | Volume (litros) | Tempo (s) | Vazão (L/min) | Pa (mmca) | Pb (mmca) | DeltaP (mca) | Esperado (L/mm) | |
| 146 | 9,05 | 10,51 | 51,66 | 1295 | 610 | 0,69 | 0 | 0 |
| | | | | | | | 5 | 0,0054686 |
| 143 | 8,86 | 10,85 | 49,02 | 1195 | 600 | 0,60 | 10 | 0,0218746 |
| | | | | | | | 15 | 0,0492178 |
| 145 | 8,99 | 12,87 | 41,90 | 1060 | 585 | 0,48 | 20 | 0,0874982 |
| | | | | | | | 25 | 0,136716 |
| 146 | 9,05 | 21,30 | 25,49 | 745 | 540 | 0,21 | 30 | 0,196871 |
| | | | | | | | 40 | 0,3499929 |
| 146 | 9,05 | 83,18 | 6,53 | 540 | 515 | 0,03 | 50 | 0,546864 |
| | | | | | | | 60 | 0,7874841 |
| K | | | | 0,000218746 | | | 70 | 1,0718534 |

FONTE: Torres e Torres, (2017).

O gráfico 02 demonstra o que foi obtido na tabela 02 colocando em evidência os resultados das perdas de carga Real e Esperado. Nota-se que por se tratar de uma tubulação com uma vida útil em média de 10 anos os resultados obtidos não são tão discrepantes comparado ao gráfico 01, uma vez que a rugosidade interna dos tubos ainda não se encontra tão alteradas.

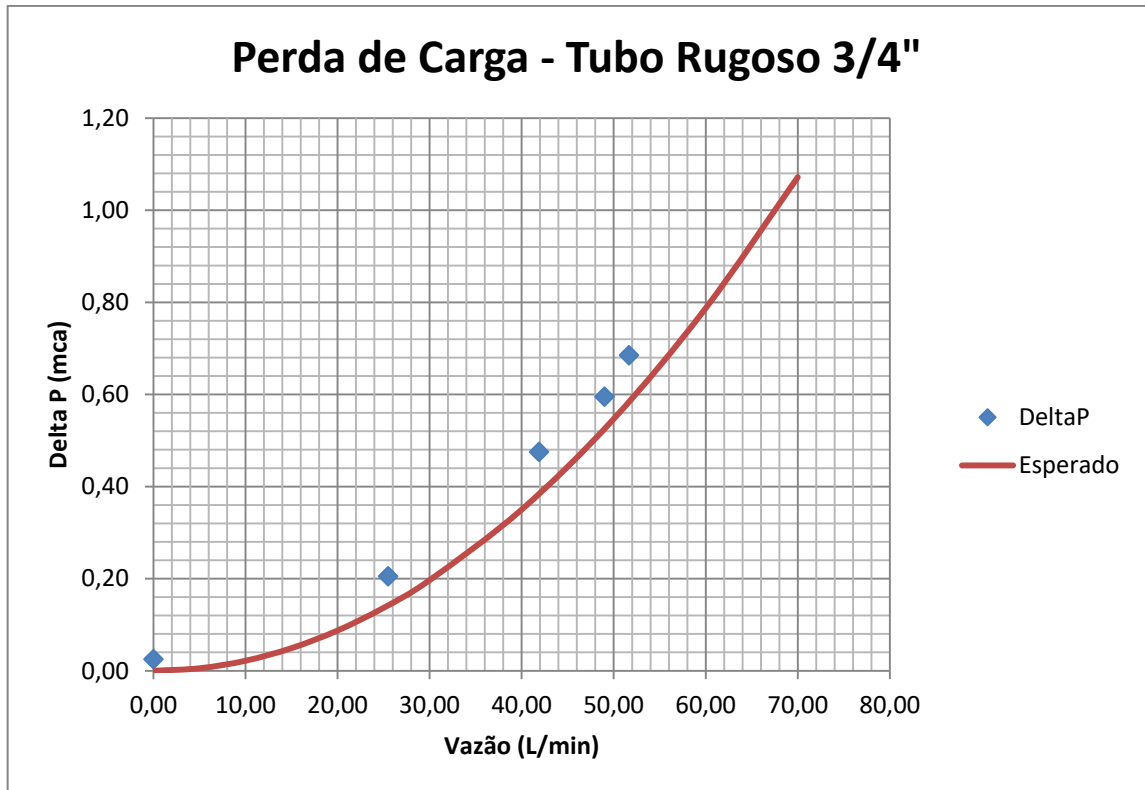


Gráfico 02 – Resultado da perda de carga.
Fonte: Torres e Torres, (2017).

A tabela 03 demonstra os parâmetros mencionados abaixo do mesmo modo que o ensaio anterior. O diferencial desta tabela é que foram modificados alguns valores, como a vazão e o tempo gasto para chegar à altura desejada.

TABELA 03: Dados obtidos através da realização do ensaio de perda de carga em tubulação rugosa.

| RESERVATÓRIO DE MEDIDA | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------|-------------|----------|
| | | | L1 (m) | | | | | | 0,298 |
| | | | L2 (m) | | | | | | 0,208 |
| | | | Área (m ²) | | | | | | 0,061984 |
| Altura (mm) | Volume (litros) | Tempo (s) | Vazão (L/min) | Pa (mmca) | Pb (mmca) | DeltaP (mca) | Esperado (L/mm) | | |
| 145 | 8,99 | 7,95 | 67,83 | 1000 | 370 | 0,63 | 0 | 0 | |
| | | | | | | | 5 | 0,005469 | |
| 145 | 8,99 | 10,54 | 51,16 | 635 | 240 | 0,40 | 10 | 0,021875 | |
| | | | | | | | 15 | 0,049218 | |
| | | | | | | | 20 | 0,087498 | |
| 145 | 8,99 | 12,67 | 42,56 | 505 | 220 | 0,29 | 25 | 0,136716 | |
| | | | | | | | 30 | 0,196871 | |
| | | | | | | | 40 | 0,349993 | |
| 145 | 8,99 | 18,34 | 29,40 | 345 | 190 | 0,16 | 50 | 0,546864 | |
| | | | | | | | 60 | 0,787484 | |
| 130 | 8,06 | 54,97 | 8,80 | 200 | 155 | 0,05 | 70 | 1,071853 | |
| | | | | | | | K | 0,000218746 | |

FONTE: Torres e Torres, (2017).

O gráfico 03 demonstra o que foi obtido na tabela 03 colocando em proeminência os resultados das perdas de carga Real e Esperado. Observa-se que no início do circuito hidráulico a perda de carga é relativamente plausível com o esperado, porém no decorrer da tubulação nota-se que essa perda aumenta fazendo com que a vazão diminua significativamente por se tratar de uma tubulação que possui uma vida útil média de 15 anos. A perda de carga aumenta devido a rugosidade interna do tubo crescer com o passar dos anos, gerando assim turbulências no líquido em escoamento e vazões cada vez menores. Portanto, o gráfico 03 comparado ao gráfico 01, obteve-se resultados bem distintos, deixando mais uma vez em evidência que a qualidade em termos de distribuição ao consumidor diminui bastante com o passar dos anos.

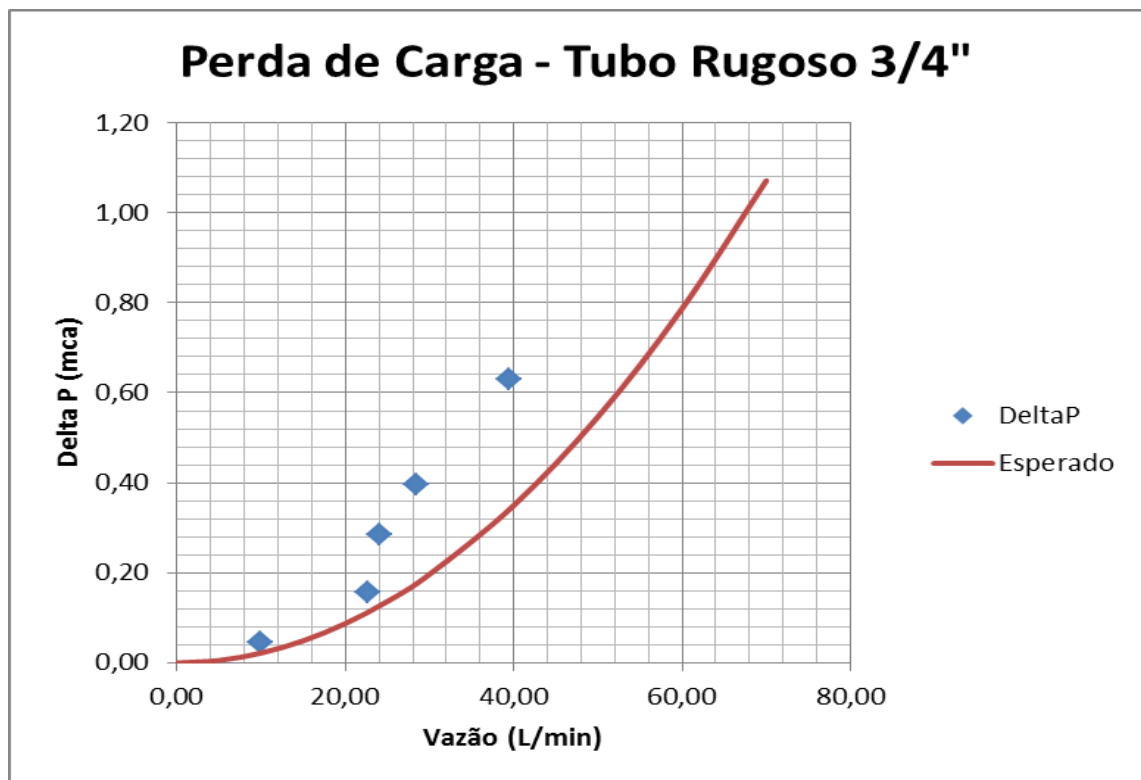


Gráfico 03 – Resultado da perda de carga.

Fonte: Torres e Torres, (2017).

A tabela 04 constitui um das últimas informações obtidas no ensaio de laboratório, sendo ele operado com outra tubulação um pouco mais velha, se tratando de uso, em relação às demais no qual foram ensaiadas. Portanto, foram obtidos mais resultados diferentes dos demais citados acima. Como mensurados abaixo, observa-

se que a vazão e o tempo gasto para chegar à marca determinada também mudaram com a diferença da pressão.

TABELA 04: Dados obtidos através da realização do ensaio de perda de carga em tubulação rugosa.

| RESERVATÓRIO DE MEDIDAS | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|-----------|---------------|-----------|-------------|--------------|-----------------|-----------|
| L1 (m) | | | 0,298 | | | | | |
| L2 (m) | | | 0,208 | | | | | |
| Área (m ²) | | | 0,061984 | | | | | |
| Altura (mm) | Volume (litros) | Tempo (s) | Vazão (L/min) | Pa (mmca) | Pb (mmca) | DeltaP (mca) | Esperado (L/mm) | |
| 162 | 10,04 | 10,41 | 57,88 | 1456 | 370 | 1,09 | 0 | 0 |
| | | | | | | | 5 | 0,0054686 |
| 163 | 10,10 | 14,48 | 41,86 | 783 | 240 | 0,54 | 10 | 0,0218746 |
| | | | | | | | 15 | 0,0492178 |
| 161 | 9,98 | 17,11 | 35,00 | 638 | 220 | 0,42 | 20 | 0,0874982 |
| | | | | | | | 25 | 0,136716 |
| 164 | 10,17 | 23,77 | 25,66 | 423 | 190 | 0,23 | 30 | 0,196871 |
| | | | | | | | 40 | 0,3499929 |
| 163 | 10,10 | 48,62 | 12,47 | 199 | 155 | 0,04 | 50 | 0,546864 |
| | | | | | | | 60 | 0,7874841 |
| K | | | | | 0,000218746 | | 70 | 1,0718534 |

FONTE: Torres e Torres, (2017).

O gráfico 04 apresenta as informações do ensaio obtido da mesma forma que os anteriores. No entanto este ensaio foi realizado sobre uma tubulação com vida útil em média de 20 anos, onde apresenta os resultados abaixo. Nota-se que a perda de carga encontra-se de acordo com o esperado apenas no primeiro ponto, enquanto que os demais já se encontram bem distantes de onde deveriam estar. Isso ocorreu devido ao atrito entre as partículas da água e a parede da tubulação, pois este atrito fez com que a água escoasse com mais dificuldade, reduzindo assim a sua energia, ou seja, fazendo o líquido perder pressão.

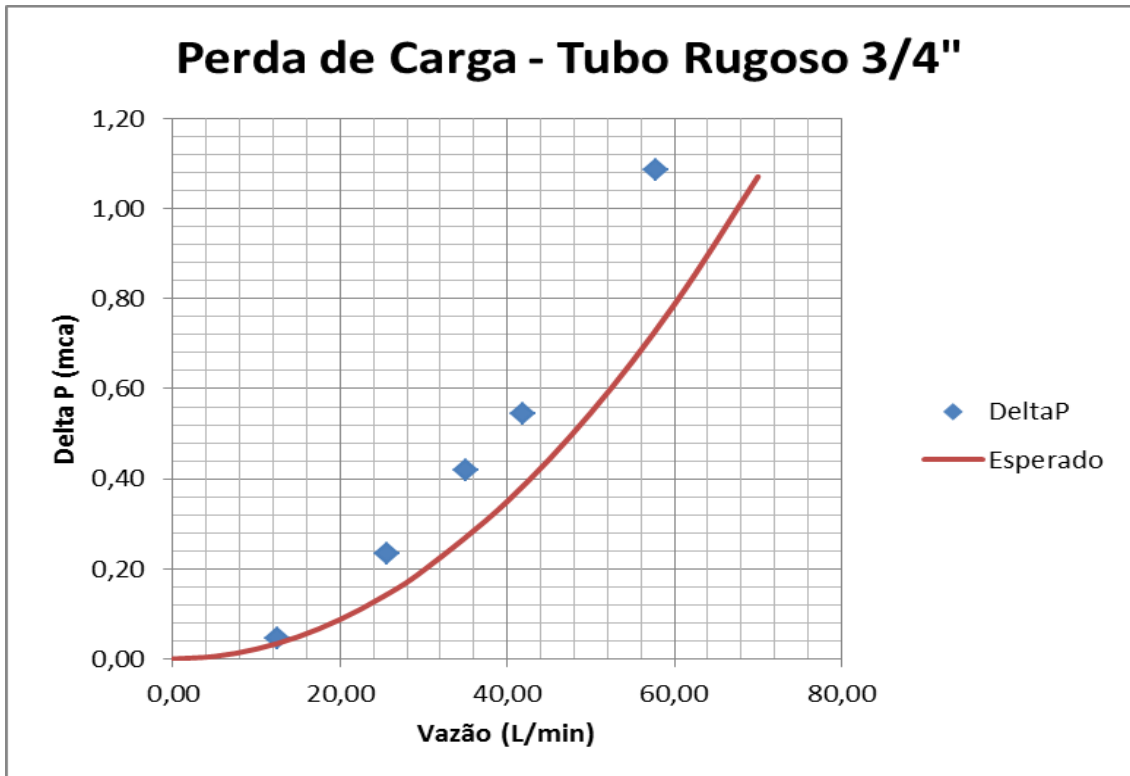


Gráfico 04 – Resultado da perda de carga.

Fonte: Torres e Torres, (2017).

6. CONCLUSÃO

Os resultados dos ensaios adquiridos em laboratório foram plausíveis uma vez que todos os circuitos utilizados nesse estudo comprovaram perda de carga ocorrida ao longo da tubulação, consumando a tese de que os circuitos hidráulicos que possuem tubulações muito longas comprometem a eficiência do abastecimento de água residencial, interferindo diretamente em todo o sistema de abastecimento de água de um circuito hidráulico, fazendo com que a água chegue até o ponto de utilização de forma ineficiente.

Conforme os resultados apresentados neste estudo é possível concluir que o ideal para que um circuito hidráulico com tubulações de $\frac{3}{4}$ " liso funcione corretamente conforme a NBR 5626 recomenda, é substituir tubulações com vida útil acima de 15 a 20 anos, já que as mesmas resultam em uma ampla perda de carga conforme foi exposto neste estudo.

Conclui-se que a realização de um projeto hidráulico de maneira correta evita tubulações muito velhas. Por sua vez, a substituição, quando possível, por tubulações que gerem menos perda de carga no circuito hidráulico torna-se essencial para que haja eficácia no sistema, fazendo com que a água a ser utilizada chegue de maneira que não venha a ocasionar transtorno aos usuários evitando também o desperdício, uma vez que se a água chegar com uma pressão insatisfatória nos pontos de utilização, o usuário passará mais tempo fazendo o uso da água e, conseqüentemente, gerando um gasto maior.

Segundo os resultados aqui apresentados podemos concluir também que a perda de carga nos circuitos hidráulicos é inevitável independentemente da sua pressão ou tubulação presente no mesmo. No entanto, é possível diminuir esta perda de carga dimensionando de maneira correta os circuitos hidráulicos, evitando vãos muito longos e substituindo as tubulações com maiores perdas de carga por outras com perda de carga menor. Então, o aconselhável é sempre que possível fazer a substituição destas tubulações mais velhas e conseqüentemente com maior rugosidade, uma vez que as duas têm a mesma finalidade em um circuito hidráulico de uma residência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 5626:**Instalação predial de água fria**. ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro – RJ, 1998.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. Et al. **Manual de Hidráulica**. 8^oed.São Paulo: EditoraEdgard BlücherLtda, 1998. 669p.

BISTAFA, S. R. **Mecânica dos Fluidos Noções e Aplicações**.São Paulo: EditoraEdgard BlucherLtda, 2012.

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**.2^a. Ed. rev. São Paulo: EditoraPearson Prentice Hall Ltda, 2008.

CAIXETA, A.V. **Perda de carga em tubos e conexões de PVC utilizados em sistemas de irrigação localizada**. 1991. 115f. Dissertação (Mestradoem Irrigação e Drenagem), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1991.

CIMBALA, J. M.; ÇENGEL, Y. A. **Mecânica dos Fluidos: fundamentos e aplicações**.3^a Ed.São Paulo: Editora AMGH, 2015.

COLAÇO, M. J; FREIRE, A. P. S. e Ilha, A.**Turbulência**.Rio de Janeiro: Editora Copyright, 2006.466p.

CREDER, H.; **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6^a Ed. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos S. A. (LTC), 2006. 423p.

DELMÉE; G. J. **MANUAL DE MEDIÇÃO DE VAZÃO**. 3^a Ed. São Paulo: Editora Edgard BlucherLtda, 2003.

EVANGELISTA, Adão W. P. **Condução de água**. Disponível em: <<http://ebiblio.ufersa.edu.br/Download/20665.pdf>> Acesso em: 07 out. 2016.

FOX, R. W, MCDONALD, A. T, PRITCHARD, P. J. **Introdução á mecânica dos Fluidos**. 6^a. Ed. Rio de Janeiro: Editora LctLtda, 2006.

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. 4ª. Ed. Rio de Janeiro: Editora LctLtda, 2012.

MCCABE, Warren L. SMITH, Julian C. HARRIOTT, Peter. **Unit operations of chemical engineering**. 7th ed. New York (USA): McGraw-Hill, 2005. 1139 p.

MATOS E. E; FALCO, R. **BOMBAS INDUSTRIAIS**. Editora Mcklausen, S.I.1992.

MUNSON, B. R.; YOUNG, D. F.; OKIISHI, T. H. **Fundamentos da mecânica dos fluidos**. 4ª Ed. São Paulo: Editora EdgardBlucherLtda, 2013.

OLINTO, C. R. **Estudo experimental das características do escoamento turbulento nas primeiras fileiras de bancos de tubos**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.133p.

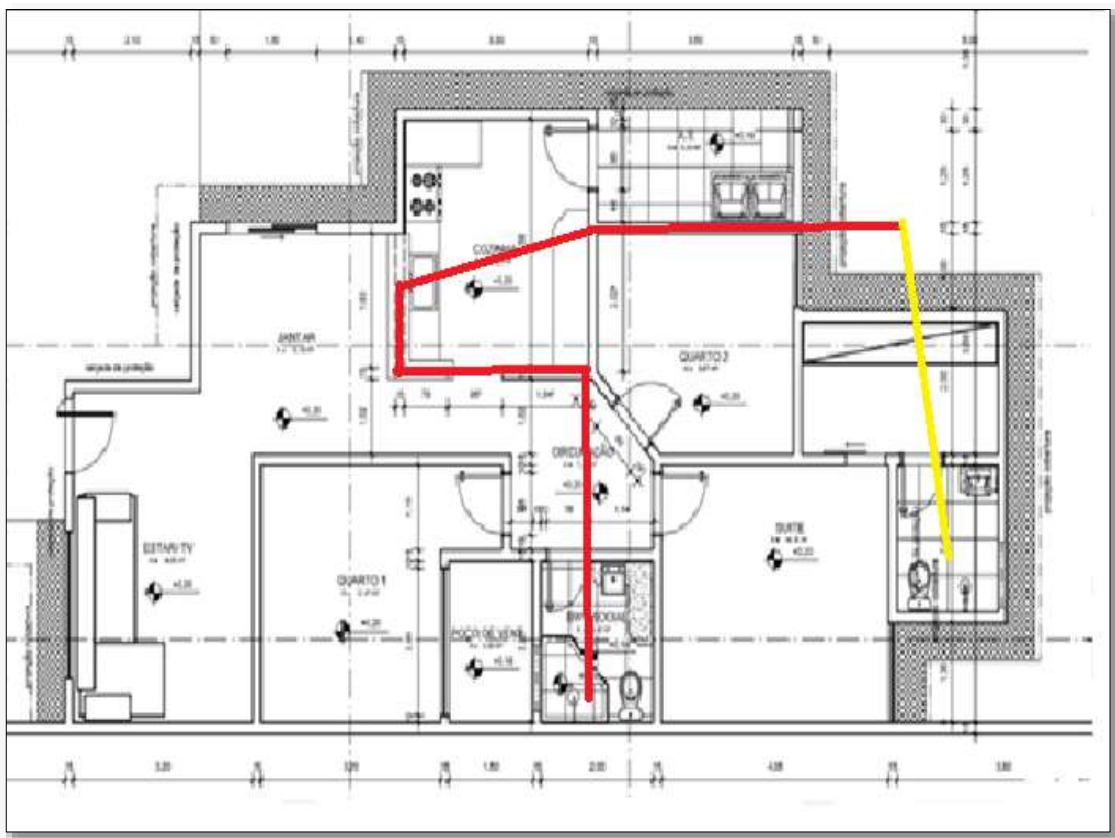
OLIVEIRA, L. D, MORS, P. M. **Mecânica dos fluidos**: uma abordagem histórica. 2009. Dissertação(Mestrado Profissional, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009. 101p.

SISSOM, LEIGHTON E.; PITTS, DONALD R. **Fenômenos de transporte**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 765 p.

WHITE, F.M. **Mecânica dos fluidos**. 6ª. Ed. Porto Alegre: Editora AMGH Ltda, 2011.

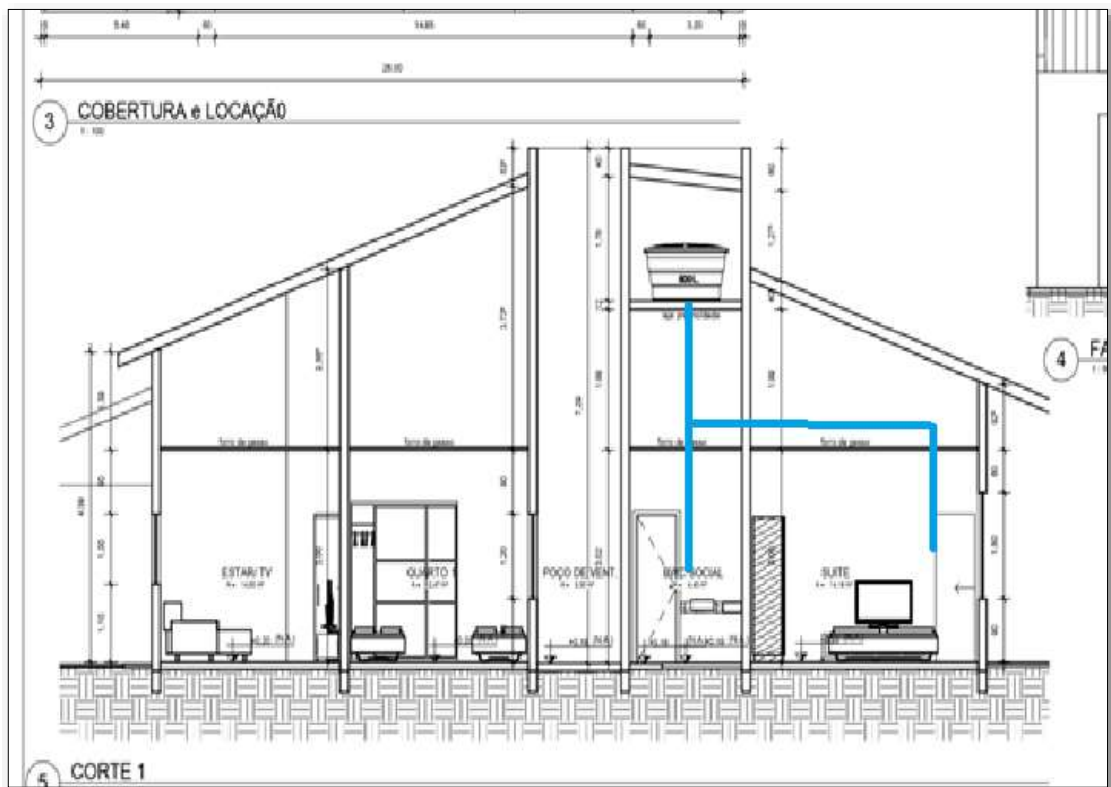
ANEXOS

A imagem abaixo demonstra um erro de execução ocorrido na residência do senhor Leonardo Alves Lopes, onde acima do banheiro social está localizada a caixa d'água que abastece a residência e a partir da mesma é feita a ligação das tubulações até os pontos de utilização onde na execução foi feita a ligação da caixa d'água para o banheiro social depois para a cozinha então para área de serviço e posteriormente foi isolada até ser executado o banheiro da suíte para então ser realizada a ligação. Ou seja, foi executado de maneira inadequada causando grande perda de carga devida este excesso de voltas e vão muito longo.

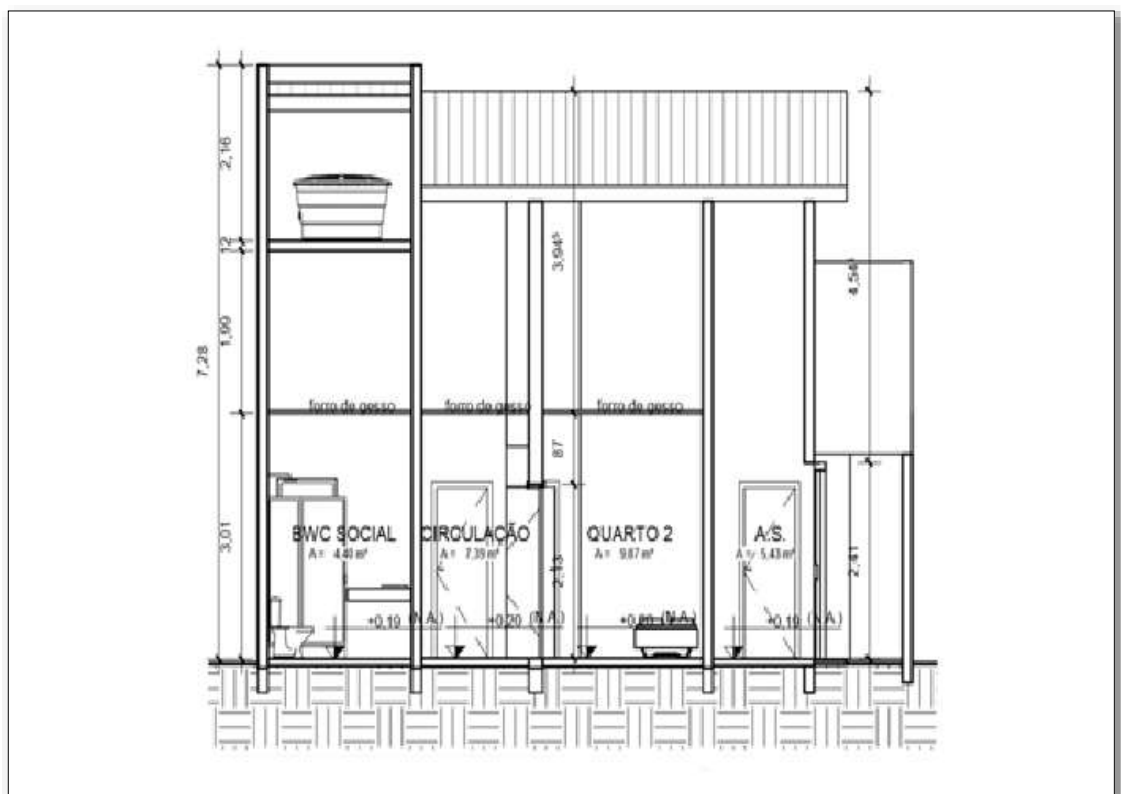


Fonte: Leonardo Alves Lopes, (2014).

Nesta segunda imagem demonstra um método mais eficaz para a realização destas ligações evitando este excesso de curvas e vãos muito longos que são os fatores preponderantes para causar a perda de carga nas tubulações de um circuito hidráulico residencial.



Fonte: Leonardo Alves Lopes, (2014).



Fonte: Leonardo Alves Lopes, (2014).