

Influência das Metodologias de Dimensionamento sobre os Sistemas Elevatórios

Jorge Trota Filho¹; Ramon de Souza Lecker²

^{1,2}FaCET – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas – Unig

¹Inmetro – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

0173038@professor.unig.edu.br, 190068517@aluno.unig.edu.br

Resumo - Os sistemas elevatórios fazem parte da realidade do funcionamento de plantas industriais e dos sistemas de alimentação de água potável de edificações residenciais mono e multifamiliares. Os projetos adequados dos sistemas de bombeamento são essenciais para que a quantidade de fluidos esteja prontamente disponível de acordo com a demanda do empreendimento. Esse trabalho englobará as diferenças das características dos sistemas elevatórios promovidos pelas utilizações das metodologias de dimensionamento disponíveis na literatura e em normas. Após a análise desses dados será possível verificar qual metodologia é mais adequada em termos econômicos e técnicos para garantir a durabilidade e maior eficiência do sistema elevatório.

(Palavras-chave: Metodologias de Dimensionamento, Sistemas elevatórios, Projetos Hidráulicos)

Abstract - Lifting systems are part of the reality of the operation of industrial plants and of the potable water supply systems of single and multifamily residential buildings. Proper designs of pumping systems are essential so that the number of fluids is readily available according to the demand of the enterprise. This work will encompass the differences in the characteristics of lifting systems promoted by the use of design methodologies available in the literature and in standards. After analyzing these data, it will be possible to verify which methodology is most appropriate in economic and technical terms to guarantee the durability and greater efficiency of the lifting system. (Keywords: Sizing Methodologies, Lifting Systems, Hydraulic Projects)

1 Introdução

1.1 A importância dos sistemas elevatórios de água

As estações elevatórias são utilizadas usualmente para abastecimento indireto de edificações com água potável. Esse tipo de abastecimento pode ser realizado quando uma bomba hidráulica é utilizada para elevar a água até o reservatório superior das edificações. Normalmente, a necessidade de bombeamento do fluido é devido à baixa pressão hidrodinâmica de água pressão da concessionária pública ou no caso de edificações com mais do que 9 m de altura (CARVALHO JR, 2019).

Um sistema elevatório é composto usualmente composto de reservatório inferior, tubulação de sucção, tubulação de recalque e reservatório superior. A Figura 1 abaixo mostra um sistema elevatório típico (ABNT NBR 5626, 2020; BAPTISTA E LARA, 2003).

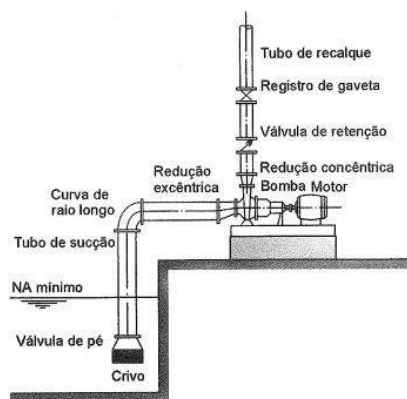


Figura 1 – Sistema Elevatório Típico (BAPTISTA E LARA, 2003)

A Figura 1 mostra as conexões típicas de um sistema elevatório, no caso de se utilizar uma bomba centrífuga é necessário que a tubulação permaneça escorvada mesmo com a bomba desligada. Os sistemas elevatórios são dimensionados utilizando como o critério as seguintes propriedades ou características, conforme a equação 1 abaixo (BAPTISTA E LARA, 2003; BRUNETTI, 2008).

$$H_m = H_g + \Delta h_{1-2} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

H_m – altura ou carga manométrica, em metros;

H_g – altura ou carga geométrica, em metros;

Δh_{1-2} = perda de carga no sistema elevatório, em metros.

A carga manométrica (H_m) está relacionada com a energia mecânica que a bomba hidráulica precisa fornecer à água de acordo com a vazão desejada. A altura geométrica (H_g) é o desnível que existe entre os níveis de água no reservatório inferior e superior e o Δh_{1-2} é a perda de carga (energia mecânica) no trecho entre a captação de água no reservatório inferior até a entrada de água no reservatório superior. A Figura 2 mostra os parâmetros da equação 1 associados ao sistema elevatório.

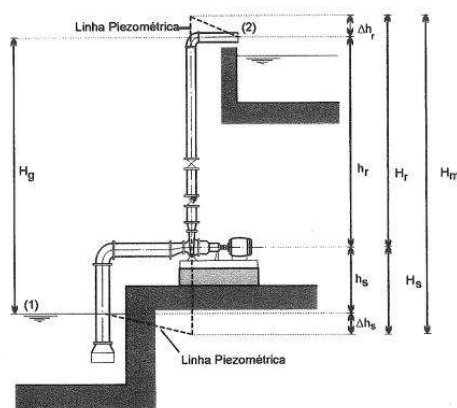


Figura 2 – Sistema elevatório e seus componentes
(BAPTISTA, E LARA, 2003).

Onde:

H_m – altura ou carga manométrica, em metros;

H_g – altura ou carga geométrica, em metros;

Δh_r – perda de carga no recalque, em metros;

Δh_s – perda de carga na sucção, em metros;

h_r – altura geométrica de recalque, em metros

h_s – altura geométrica de sucção, em metros;

H_r – altura de manométrica recalque, em metros

H_s – altura manométrica de sucção, em metros

1.2 Perdas de carga

A perda de carga é a diminuição de energia mecânica associada à viscosidade da água. Sendo água um fluido newtoniano, ou seja, a sua viscosidade é constante em uma determinada temperatura. A perda de energia está diretamente relacionada ao atrito entre as camadas do fluido e entre o fluido e as paredes da tubulação durante o seu escoamento (BAPTISTA E LARA, 2003; BRUNETTI, 2008; MACINTYRE, 1990).

1.2.1 Tipos de Perda de Carga

1.2.1.1 Perda de Carga Contínua

A perda de carga contínua também denominada de perda de carga distribuída. Essa característica do sistema elevatório tem relação com o comprimento linear da tubulação, ou seja, quanto maior for o comprimento da tubulação maior é a perda de carga contínua de acordo com a equação genérica apresentada na equação 2 (BAPTISTA E LARA, 2003; BRUNETTI, 2008).

$$\Delta h' = k \cdot \frac{Q^n}{D^m} \cdot L \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

$\Delta h'$ – perda de carga contínua, em metros;

k – coeficiente associado ao material utilizado na tubulação;

Q – vazão escoando na tubulação, m^3/s ;

D – diâmetro da tubulação, em metros;

L – comprimento linear da tubulação, em metros;

n - índice associado a vazão;

m – índice associado a diâmetro;

Os índices n e m dependem da metodologia utilizada para a determinação da perda de carga contínua e isso causa uma variação na determinação da perda de carga (BAPTISTA E LARA, 2003; BRUNETTI, 2008).

1.2.1.2 Expressão Universal da Perda de Carga

A equação universal da perda de carga também conhecida como equação de Darcy-Weisbach que é mostrada na equação 3 (BAPTISTA E LARA, 2003; BRUNETTI, 2008).

$$\Delta h' = \frac{8f}{\pi^2 g} \frac{Q^2}{D^5} L \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

$\Delta h'$ – perda de carga contínua, em metros;

f – fator de atrito;

Q – vazão escoando na tubulação, m³/s;

D – diâmetro da tubulação, em metros;

L – comprimento linear da tubulação, em metros;

g – aceleração da gravidade local, em metros;

A equação da perda universal da perda de carga considera o fator de atrito presente no escoamento. Esse fator de atrito depende da rugosidade relativa e do número de Reynolds, conforme a Figura 3 (BRUNETTI, 2008; MACINTYRE, 1990).

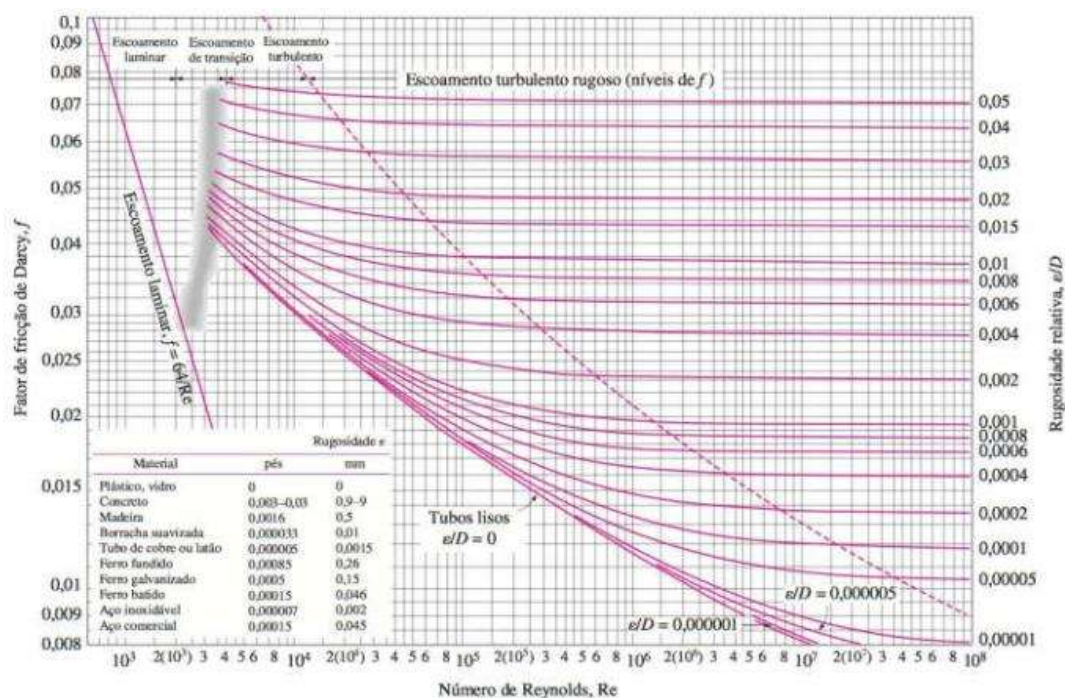


Figura 3 – Diagrama de Moody (BRUNETTI, 2008).

A Figura 3 mostra o diagrama de Moody, onde observa-se que o comportamento do fator de atrito está relacionado ao número de Reynolds que qualifica o tipo de escoamento do fluido. Os coeficientes n e m na equação 3 são iguais a 2 e 5, respectivamente. A equação 3 a princípio pode ser utilizada em quaisquer situações, podendo ser também utilizadas para dimensionar perdas de carga nas tubulações lineares do sistema elevatório (BAPTISTA E LARA, 2003; BRUNETTI, 2008).

1.2.1.3 Equação de Hazen-Williams

A Equação de Hazen-Williams depende do coeficiente de perda de carga que está relacionado com o material utilizado na tubulação linear do sistema elevatório. A equação de Hazen-Williams é evidenciada na equação 4.

$$\Delta h' = \frac{10,64 Q^{1,85}}{C^{1,85} D^{4,87}} L \quad \text{Eq. (4)}$$

Onde:

$\Delta h'$ – perda de carga contínua, em metros;

Q – vazão escoando na tubulação, m³/s;

D – diâmetro da tubulação, em metros;

L – comprimento linear da tubulação, em metros;

C – coeficiente de perda de carga.

A equação 4 é possível observar que o índice n e m são iguais a 1,85 e 4,87, respectivamente. O cálculo da perda de carga utilizando a equação de Hazen-Williams é recomendada para diâmetros acima de 50 mm (FOX E PRITCHARD, 2018).

1.3 Perda de Carga Localizada

A perda de carga localizada tem relação com as singularidades presentes em todas as partes dos sistemas elevatórios. A singularidade são quaisquer conexões presentes nas tubulações de sucção e de recalque como, por exemplo, registros, joelhos, curvas, uniões, luvas, entre outros, conforme mostrado na Figura 4 a seguir (BAPTISTA E LARA, 2003; BRUNETTI, 2008).



Figura 4 - Tipos de conexões mais comuns utilizadas nas tubulações (ultrasteel.com.br/conexoes-galvanizadas, 2022).

1.3.1 Determinação da Perda de Carga Localizada utilizando os coeficientes de perda de carga

A perda de carga localizada através dos coeficientes de perda de carga localizada (K) é realizada utilizando-se a equação 5.

$$\Delta h'' = \frac{16 K Q^2}{\pi D^4} L \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde

$\Delta h''$ – perda de carga localizada, em metros;

Q – vazão escoando na tubulação, m³/s;

D – diâmetro da tubulação, em metros;

L – comprimento linear da tubulação, em metros;

K – coeficiente de perda de carga localizada.

A Tabela 1 mostra as principais conexões e seus respectivos coeficientes de perda de carga, esses coeficientes estão diretamente relacionados com os tipos de conexões. As turbulências associadas a mudança da direção e a variação da área da seção durante o escoamento que provocam as perdas de carga localizadas.

Tabela 1 – Conexões e seus respectivos coeficientes de perda de carga localizadas

Conexão	K	Conexão	K
Comporta aberta	1,00	Redução gradual	0,15
Controlador de vazão	2,50	Saída de Canalização	1,00
Cotovelo ou joelho de 45°	0,40	Tê de passagem direta	0,60
Cotovelo ou joelho de 90°	0,90	Tê de saída bilateral	1,80
Crivo	0,75	Tê de saída de lado	1,30
Curva 22,5°	0,10	Válvula borboleta aberta	0,30
Curva 45°	0,20	Válvula de ângulo aberta	5,00
Curva 90°	0,40	Válvula gaveta aberta	0,20
Entrada de borda	1,00	Válvula pé	1,75
Entrada normal	0,50	Válvula globo aberta	10,00
Junção	0,40	Válvula de retenção	2,50

Fonte: adaptado, (BAPTISTA E LARA, 2003).

Analisando a Tabela 1 é possível observar que a perda de carga localizada relacionadas aos coeficientes de perda carga não há informações sobre o tipo de material utilizado na tubulação.

1.3.2 Determinação da Perda de Carga Localizada utilizando o Comprimento Equivalente

As conexões podem ser convertidas em comprimentos lineares de tubulação. Esse comprimento é denominado de comprimento equivalente, sendo o seu respectivo valor de acordo com a perda de carga que aquele tipo de conexão provoca no escoamento do fluido. A Tabela 2 abaixo mostra o comprimento equivalente para conexões fabricadas de materiais rugosos.

Tabela 2 – Comprimento equivalente para materiais rugosos (BAPTISTA E LARA, 2003).

Dímetro Nominal		Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Tê 90° pas. direta	Tê 90° saída lateral	Tê 90° saída bilat.	Entrada Normal	Entrada Borda	Saída canal. e crivo	Válv. pé	Válv. reten. leve	Válv. reten. pesada	Reg. globo aberto	Reg. gaveta aberto	Reg. ângulo aberto
mm	pol.																
15	1/2"	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
20	3/4"	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
25	1"	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	6,4
32	1 1/4"	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
40	1 1/2"	3,2	1,0	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
50	2"	3,4	1,3	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
65	2 1/2"	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
80	3"	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
100	4"	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1
125	5"	4,9	2,4	1,9	1,1	3,3	10,0	10,0	2,5	5,0	4,9	27,4	17,5	19,2	50,9	1,1	25,2
150	6"	5,4	2,6	2,1	1,2	3,8	11,1	11,1	2,8	5,6	5,5	43,4	13,9	21,4	56,7	1,2	28,9

Ao analisar a Tabela 2 observa-se que o comprimento equivalente está relacionado com o diâmetro e com o tipo da conexão. Lembrando que os materiais rugosos são aqueles de elevada rugosidade superficial como por exemplo, aço, ferro fundido, concreto, entre outros. A Tabela 3 mostra os comprimentos equivalentes das conexões para materiais lisos, ou seja, com baixa rugosidade superficial.

Tabela 3 – Comprimento equivalente para materiais lisos (BAPTISTA E LARA, 2003).

Diâmetro Nominal		Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	Te 90° pas. direta	Te 90° saída lateral	Te 90° saída bilat.	Entrada Normal	Entrada Borda	Saída canal.	Válv. pé e crivo	Válv. reten. leve	Válv. reten. pesada	Reg. globo aberto	Reg. gaveta aberto	Reg. ângulo aberto
mm	pol.																
15	1/2"	0,5	0,2	0,3	0,2	0,1	0,7	0,8	0,2	0,4	0,4	3,6	1,1	1,6	4,9	0,1	2,6
20	3/4"	0,7	0,3	0,5	0,3	0,1	1,0	1,3	0,2	0,5	0,5	5,6	1,6	2,4	6,7	0,1	3,6
25	1"	0,9	0,4	0,7	0,4	0,2	1,4	1,7	0,3	0,7	0,7	7,3	2,1	3,2	8,2	0,2	4,6
32	1 1/4"	1,2	0,5	0,8	0,5	0,2	1,7	2,1	0,4	0,9	0,9	10,0	2,7	4,0	11,3	0,2	5,6
40	1 1/2"	1,4	0,7	1,0	0,6	0,3	2,1	2,5	0,5	1,0	1,0	11,6	3,2	4,8	13,4	0,3	6,7
50	2"	1,9	0,9	1,4	0,8	0,3	2,7	3,3	0,7	1,5	1,5	14,0	4,2	6,4	17,4	0,4	8,5
65	2 1/2"	2,4	1,1	1,7	1,0	0,4	3,4	4,2	0,9	1,9	1,9	17,0	5,2	8,1	21,0	0,4	10,0
80	3"	2,8	1,3	2,0	1,2	0,5	4,1	5,0	1,1	2,2	2,2	20,0	6,3	9,7	26,0	0,5	13,0
100	4"	3,8	1,7	2,7		0,7	5,5	6,7	1,6	3,2	3,2	23,0	8,4	12,9	34,0	0,7	17,0
125	5"	4,7	2,2			0,8	6,9	8,3	2,0	4,0	4,0	30,0	10,4	16,1	43,0	0,9	21,0
150	6"	5,6	2,6	4,0		1,0	8,2	10,0	2,5	5,0	5,0	39,0	12,5	19,3	51,0	1,1	26,0

Através da observação da Tabela 3 é possível constatar que o comprimento equivalente também tem relação com o diâmetro e com o tipo de conexão. Esta tabela poderá ser utilizada quando materiais como cobre, latão e plásticos forem utilizados na fabricação das conexões que são considerados materiais lisos.

O comprimento equivalente é uma metodologia que realiza a transformação da perda de localizada em perda de carga contínua. Desta forma, é possível considerar que no sistema elevatório não há conexões, apenas comprimento linear de tubulação.

1.4. Cálculo da Demanda de Água Potável da Edificação

A demanda de água potável da edificação é uma dos parâmetros mais importantes para o cálculo da potência da bomba a ser utilizada. Desta forma, para se determinar a demanda é imprescindível, por exemplo, em uma edificação multifamiliar a quantidade de pavimentos, de apartamentos, de dormitórios nos apartamentos e a taxa de ocupação e ser considerada. A Tabela 4 mostrada a seguir descreve a taxa de ocupação para diversos tipos de edificação (CARVALHO JR, 2019).

Tipo de edificação	Taxa de ocupação
Residências e apartamentos	Duas pessoas por dormitório

Bancos	Uma pessoa por 5,00 m ²
Escritórios	Uma pessoa por 6,00 m ²
Lojas no térreo	Uma pessoa por 2,50 m ²
Lojas em pavimentos superiores	Uma pessoa por 5,00 m ²
Shopping centers	Uma pessoa por 5,00 m ²
Museus e bibliotecas	Uma pessoa por 5,50 m ²
Restaurantes	Uma pessoa por 1,5 m ²
Teatros, cinemas e auditórios	Uma cadeira por 0,70 m ²

Tabela 4 – Taxa de ocupação de acordo com o tipo de edificação Fonte: adaptado, (CARVALHO JR, 2019).

Analizando a Tabela 4 é possível observar a taxa de ocupação de diversos tipos de edificação relacionada à área e ao número de dormitórios. A Tabela 5 são mostrados o consumo predial diário por pessoa que depende dos tipos de edificação.

Tabela 5 – Consumo predial diário

Tipo de edificação	Consumo (L/pessoa-dia)
Alojamento provisório	80
Ambulatórios	25
Apartamentos	200
Casas populares ou rurais	150
Creches	50
Edifícios públicos ou comerciais	50
Escolas internatos	150
Escolas	50
Escritórios	50

Fonte: adaptado, (CARVALHO JR, 2019).

Para se determinar o consumo diário da edificação é necessário multiplicar a taxa de ocupação pelo valor do consumo diário por pessoa, conforme, a equação 6, a seguir.

$$CD = TO \cdot CDP \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

CD – Consumo diário, em L;

TO – Taxa de ocupação, nº de pessoas;

CDP – Consumo diário por pessoa, L/pessoas·dia.

1.5. Determinação da Vazão de Água Potável da Edificação

As edificações de caráter residencial normalmente são projetadas para funcionamento intermitente no sentido de suprir o volume de água potável destinado ao consumo diário. O tempo de funcionamento da estação de elevatória é fundamental para o cálculo da vazão de água potável da edificação, conforme equação 7.

$$Q = \frac{CD}{t} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

CD – Consumo diário, em L;

t – tempo de funcionamento, em segundos por dia;

1.6. Cálculo do Diâmetro da Tubulação de Recalque

As edificações de caráter residencial normalmente são projetadas para funcionamento intermitente no sentido de suprir o volume de água potável destinado ao consumo diário. O cálculo do diâmetro da tubulação de recalque é dado pela equação 8.

$$D_r = 0,586X^{1/4} \sqrt{Q} \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde:

D_r – diâmetro da tubulação de recalque, em metros;

X – nº de horas de funcionamento da bomba da estação elevatória, em horas;

Q – vazão de água potável da edificação, em m³/s;

1.7. Cálculo da Potência Hidráulica Necessária e a Potência Nominal da Bomba

A potência hidráulica necessária para bombear o volume de água para abastecimento diário da edificação é determinada a partir da equação 9.

$$P_H = \gamma \cdot Q \cdot H_m \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde:

P_H – potência hidráulica necessária para o bombeamento, em whatts;

γ – peso específico do fluido a ser bombeado, em N/m³;

Q – vazão de água potável da edificação, em m³/s;

H_m – altura manométrica do sistema elevatório, em metros.

A partir da determinação da potência hidráulica para o bombeamento é possível determinar a potência nominal da bomba a ser adquirida para o funcionamento da estação elevatória, conforme equação 10.

$$P_N = \frac{P_H}{\eta} \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde:

P_N – potência nominal hidráulica da bomba, em whatts;

P_H – potência hidráulica necessária para o bombeamento, em whatts;

η - eficiência energética da bomba utilizada.

2 Metodologia

A metodologia desse trabalho será baseada na aplicabilidade das metodologias de dimensionamento da altura manométrica de uma sistema elevatório utilizando equações diferenciadas para se avaliar as perdas de carga durante o escoamento da água.

Serão utilizados softwares de prateleira para o desenvolvimento dos cálculos e das planilhas, considerando

a combinação das metodologias de cálculo das perdas de carga contínuas e localizadas. Além disso, será realizada a comparação entre as especificações das bombas centrífugas mais adequadas para cada um dos casos abordados.

3 Resultados

3.1. Tipo de Edificação a ser Estudada

Os resultados deste trabalho estão relacionados a um estudo do desenvolvimento de uma estação elevatória de um prédio de 11 pavimentos, com 8 apartamentos por andar (do 1º ao 9º andar). Entretanto, nos 10º e 11º andares, serão construídas de 4 coberturas duplex. Cada um dos apartamentos e cada uma das coberturas possui 3 e 4 dormitórios, respectivamente. Para atender a demanda de água potável serão dimensionados a seguir todos os componentes que compõem o sistema elevatório de água fria. Admite-se um consumo diário de 200 L por pessoa e a taxa de ocupação de 2 pessoas por dormitório, conforme os dados das Tabelas 4 e 5.

3.2. Cálculo do Consumo Diário da Edificação

O Cálculo da Taxa de Ocupação da Edificação a ser Estudada será realizada através da equação 11, a seguir.

Taxa de Ocupação = (*nº andares* · *nº de apartamentos* · *nº dormitórios* · 2 *pessoas*) + (*nº de coberturas* · *nº dormitórios* · 2 *pessoas*) Eq. (11)

$$Taxa\ de\ Ocupação\ Total = (9 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 2) + (4 \cdot 4 \cdot 2) = 432 + 32 = 464\ pessoas$$

O consumo diário da edificação é calculado a partir da equação 6, considerando que o consumo diário de água por pessoa é igual a 200 L.

$$CD = TO \cdot CDP = 464 \cdot 200 = 92800\ L = 92,8\ m^3$$

3.3. Cálculo do Diâmetro da Tubulação de Recalque

3.3.1 Para Funcionamento Intermitente da bomba

A tubulação de recalque será dimensionada de acordo com a equação 8. A partir da determinação da vazão Q a ser recalçada está associada ao consumo diário e ao tempo de em segundos de funcionamento da bomba que compõe a instalação elevatória, conforme equação 7. O tempo considerado neste estudo, será de 4 h.

$$Q = \frac{CD}{t} = \frac{92,8}{4 \cdot 3600} = \frac{92,8}{14400} = 0,0064\ \frac{m^3}{s}$$

$$D_r = 0,586 X^{1/4} \sqrt{Q}$$

$$D_r = 0,586 \cdot 4^{1/4} \sqrt{0,0064}$$

$$D_r = 0,0663\ m = 66,3\ mm$$

De acordo com a ABNT NBR 5648:2018 - Tubos e conexões de PVC-U com junta soldável para sistemas

prediais de água fria - requisitos, a Tabela 6 mostra as características dimensionais de PVC que podem ser empregados em instalações elevatórias (ABNT NBR 5648, 2018).

Diâmetro nominal (DN)	Diâmetro externo (DE)	Diâmetro externo médio (d_{em})/ mm		Espessura mínima de parede ($e_{min.}$)/ mm	
		d_{em}	Tolerância	$e_{min.}$	Tolerância
15	20	20,0	+0,2	1,5	+0,3
20	25	25,0		1,7	
25	32	32,0		2,1	+0,4
32	40	40,0		2,4	
40	50	50,0		3,0	
50	60	60,0	+0,3	3,3	+0,5
65	75	75,0		4,2	+0,6
75	85	85,0		4,7	
100	110	110,0		6,1	+0,8

NOTA: As espessuras mínimas dos tubos DN15 a DN25 (DE20 a DE32) foram dimensionadas levando-se em consideração as necessidades de transporte, manuseio e instalação. As espessuras mínimas de parede dos demais diâmetros foram dimensionadas com a tensão circunferencial admissível de 6,3 MPa.

Tabela 6 – Dimensões dos tubos de PVC-U

Desta forma, considera-se o diâmetro nominal a tubulação de 75 mm o mais adequado para atender a demanda de água potável da instalação elevatória.

3.4. Projeto básico da Instalação Elevatória

A Figura 5 abaixo ilustra um desenho esquemático simplificado da instalação elevatória. A reserva de água potável superior foi dividida em dois reservatórios de igual volume.

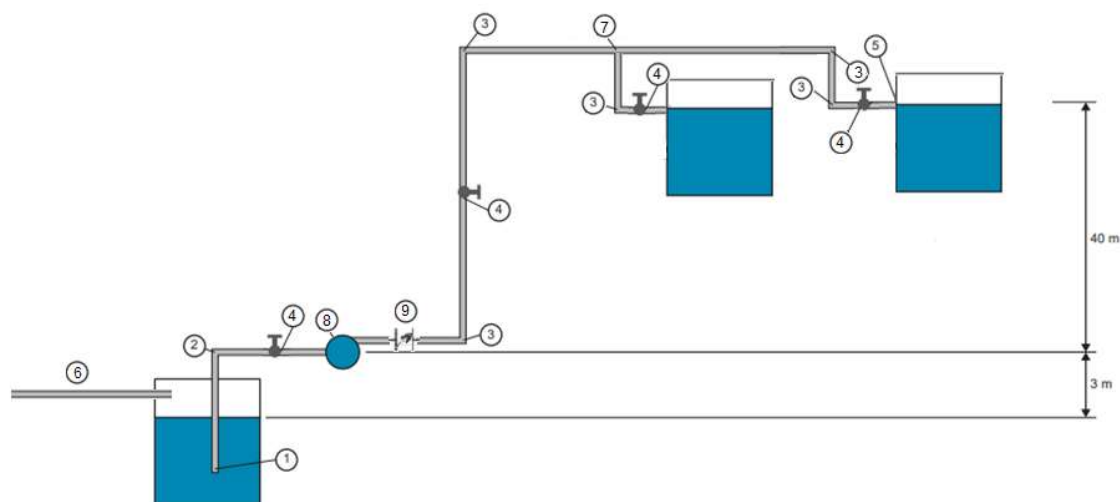


Figura 5 – Sistema elevatório com as tubulações de recalque e de sucção

A Figura 5 mostra o desenho esquemático para o sistema elevatório com as suas principais tubulações e conexões que serão alvo do estudo teórico sobre as metodologias de dimensionamento. A Tabela 7 fornece as descrições dos itens relacionados na Figura 5.

A partir da análise da Figura 5 é possível observar que alturas geométricas de sucção (h_s) e de recalque (h_r) são de 3 m e de 40 m, respectivamente. Além disso, os comprimentos das tubulações de sucção (L_s) e de recalque (L_r) são, respectivamente, 10 m e 90 m.

Tabela 7 – Elementos da instalação elevatória

Elementos da instalação	Descrição	Quantidade
1	Válvula pé com crivo	1
2	Cotovelo na sucção	1
3	Cotovelo no recalque	5
4	Registro de Gaveta	4
5	Saída de canalização	2
6	Ramal predial	1
7	Tê de 90º	1
8	Conjunto de Bombas	1
9	Válvula de retenção	1

3.5. Determinação da altura manométrica (H_m)

A equação 1 abaixo será utilizada para determinação da determinação da altura manométrica (carga manométrica) do sistema elevatória.

$$H_m = H_g + \Delta h_{1-2} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde:

H_m – é a altura manométrica do sistema elevatória, m;

H_g – é a altura geométrica do sistema elevatória que é desnível entre os reservatórios, m;

Δh_{1-2} – é a perda de carga total no trecho de sucção e de recalque, m.

Abaixo é mostrado a determinação da altura geométrica do sistema elevatório mostrado na Figura 5, em que mede a altura geométrica entre os níveis dos reservatórios inferior e superior.

$$H_g = 40 + 3 = 43 \text{ m}$$

3.5.1. Determinação da perda de carga contínua funcionamento intermitente tubo de PVC

3.5.1.1. Determinação da perda de carga de acordo com a lei de Hazen-Williams

3.5.1.1.1. Perda de carga na tubulação de sucção

A equação Hazen-Williams é evidenciada a seguir, conforme equação 4 para tubulação de sucção:

$$\Delta h'_S = \frac{10,64}{C^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} \cdot L_S \quad \text{Eq. (4)}$$

O coeficiente de carga da equação para o material de aço galvanizado é igual a $C = 140$.

$$\Delta h'_S = \frac{10,64}{140^{1,85}} \cdot \frac{0,0064^{1,85}}{0,075^{4,87}} \cdot 10 = 0,3 \text{ m}$$

3.5.1.1.2. Perda de carga na tubulação de recalque

A equação Hazen-Williams é evidenciada a seguir, conforme equação 4 para tubulação de recalque:

$$\Delta h'_R = \frac{10,64}{C^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} \cdot L_R \quad \text{Eq. (4)}$$

O coeficiente de carga da equação para o material de PVC é igual a $C = 140$.

$$\Delta h'_R = \frac{10,64}{140^{1,85}} \cdot \frac{0,0064^{1,85}}{0,075^{4,87}} \cdot 90 = 2,7 \text{ m}$$

3.5.1.2. Determinação da perda de carga de acordo com a Lei de Universal da perda de carga

3.5.1.2.1. Perda de carga na tubulação de sucção

A equação da Lei de Universal da perda de carga é evidenciada a seguir, conforme equação 3 para tubulação de recalque:

$$\Delta h'_S = \left(\frac{8f}{\pi^2 g} \right) \frac{Q^2}{D^5} \cdot L_S \quad \text{Eq. (3)}$$

A equação 12 a seguir é utilizada para a determinação do número de Reynolds que é utilizado no diagrama de Moody. Para efeitos deste trabalho o valor da densidade e da viscosidade para o fluido serão considerados iguais a 1000 kg/m^3 e 10^{-3} kg/ms , respectivamente.

$$Re = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Eq. (12)}$$

Onde:

Re – nº de Reynolds;

D – diâmetro da tubulação, em metros;

V – velocidade do fluido, em m/s;

ρ – densidade do fluido, em kg/m^3 ;

μ - viscosidade dinâmica do fluido, em kg/ms.

A velocidade de escoamento do fluido na tubulação é dada pela equação 13.

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad \text{Eq. (13)}$$

Onde:

V – velocidade do fluido na tubulação, em m/s;

Q – vazão do fluido na tubulação, em m^3/s ;

D – diâmetro da tubulação, em metros.

Desta forma utilizando as equações 12 e 13 é possível determinar o valor do número de Reynolds.

$$V = \frac{4 \cdot 0,0064}{\pi (0,075)^2} = 1,45 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{0,075 \cdot 1,45 \cdot 1000}{1 \cdot 10^{-3}} = 108750 = 1,1 \cdot 10^5$$

A Figura 6 abaixo, mostra o diagrama de Moody para a determinação do fator de atrito que será utilizado na

equação Universal da perda de carga.

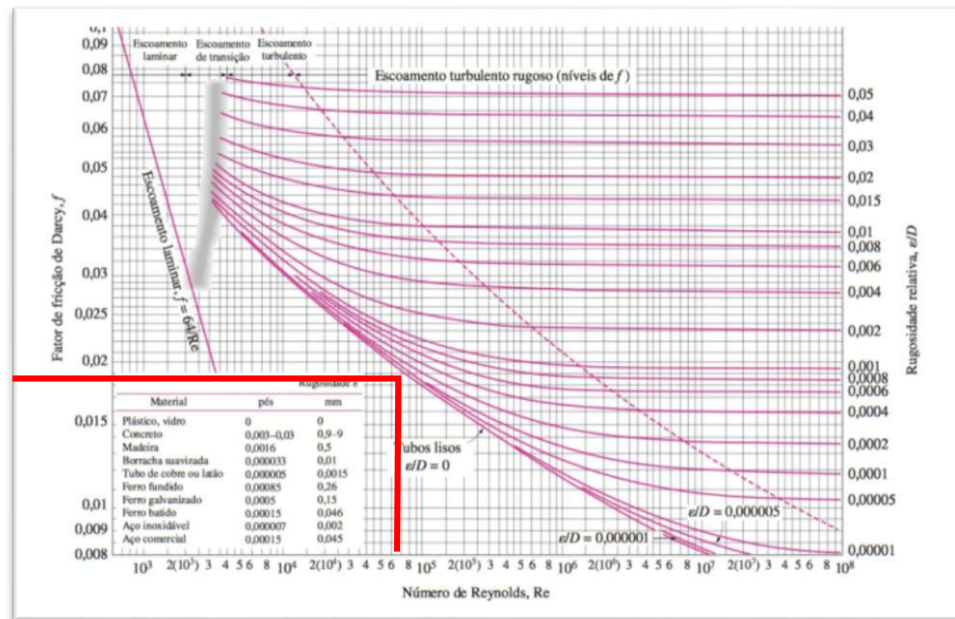


Figura 6 – Diagrama de Moody com a determinação gráfica do fator de atrito

A partir da análise dos parâmetros do escoamento em conjunto com o diagrama de Moody da Figura 6 é possível determinar que o fator de atrito associado ao escoamento do fluido é 0,018. Desta forma, substituindo os valores dos parâmetros na equação 3 a seguir, será obtido o valor da perda de carga contínua na tubulação da sucção.

$$\Delta h'_S = \left(\frac{8f}{\pi^2 g} \right) \frac{Q^2}{D^5} \cdot L_S \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\Delta h'_S = \left(\frac{8 \cdot 0,018}{\pi^2 \cdot 9,8} \right) \frac{0,0064^2}{0,075^5} \cdot 10 = 0,26 \text{ m}$$

3.5.1.2.2. Perda de carga na tubulação de recalque

Utilizando a equação 3 da perda universal da carga é possível determinar a perda de carga contínua na tubulação de recalque:

$$\Delta h'_R = \left(\frac{8f}{\pi^2 g} \right) \frac{Q^2}{D^5} \cdot L_R \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\Delta h'_R = \left(\frac{8 \cdot 0,018}{\pi^2 \cdot 9,8} \right) \frac{0,0064^2}{0,075^5} \cdot 90 = 2,3 \text{ m}$$

A Tabela 8 mostram os resultados para as perdas de carga contínua calculadas utilizando duas metodologias diferentes para funcionamento intermitente do sistema de bombeamento.

Metodologia	Perda de carga contínua na sucção/m	Perda de carga contínua no recalque/m	Total/m
Hazen-Williams	0,29	2,7	2,99
Universal	0,26	2,3	2,56

Tabela 8 – Valores para perdas de carga contínua para funcionamento intermitente do sistema elevatório.

Observa-se que a metodologia Universal produz valores da perda de carga contínua inferiores aqueles apresentados através da equação de Hazen-Williams.

3.5.2. Determinação da perda de carga localizada funcionamento intermitente tubo de PVC

3.5.2.1. Determinação da perda de carga localizada pelo coeficiente de perda de carga na sucção

A equação 14 a seguir mostra a metodologia de cálculo a ser realizada para perda de carga localizada em uma determinada tubulação.

$$\Delta h_s'' = \frac{8KQ^2}{g\pi^2 D^4} \quad \text{Eq. (14)}$$

Onde:

$\Delta h_s''$ – Perda de carga localizada na tubulação de sucção, em metros;

K – Coeficiente de perda de carga;

Q – Vazão de fluido na tubulação, em m³/s;

g – Aceleração da gravidade, em m/s²;

D – diâmetro da tubulação, em metros.

O coeficiente de perda de carga localizada do trecho da tubulação é dado pelo somatório dos coeficientes de perda de carga individuais multiplicado pelo número das respectivas conexões, conforme a equação 15.

$$K = \sum K_i \quad \text{Eq. (15)}$$

As conexões das tubulações são respectivamente:

K₁ – válvula pé com crivo;

K₂ – joelho de 90°;

K₄ – registro de gaveta

$$K = \sum K_i = K_1 + K_2 + K_4 = 2,5 + 0,90 + 0,20 = 3,6$$

$$\Delta h_s'' = \frac{8 \cdot 3,6 \cdot 0,0064^2}{9,8 \cdot \pi^2 \cdot 0,075^4} = 0,4 \text{ m}$$

3.5.2.2. Determinação da perda de carga localizada pelo coeficiente de perda de carga na recalque

A partir da utilização das equações 14 e 15 é possível determinar a perda de carga localizada na tubulação de recalque.

$$\Delta h_R'' = \frac{8KQ^2}{g\pi^2 D^4} \quad \text{Eq. (14)}$$

$$K = \sum K_i \quad \text{Eq. (15)}$$

$$K = \sum K_i = 5 \cdot K_3 + 3 \cdot K_4 + 2 \cdot K_5 + K_7 + K_9 = 5 \cdot 0,9 + 3 \cdot 0,20 + 2 \cdot 1,00 + 0,6 + 2,50$$

$$K = 10,20$$

$$h_R'' = \frac{8 \cdot 10,2 \cdot 0,0064^2}{9,8 \cdot \pi^2 \cdot 0,075^4} = 1,1 \text{ m}$$

9.2.5.2 Determinação da perda de carga localizada pelo comprimento equivalente ou virtual para funcionamento intermitente

O comprimento equivalente é a forma de se converter as singularidades da tubulação em comprimento linear da tubulação. Esse comprimento tem relação com o tipo de conexão, com seu diâmetro e com o material de fabricação. A Tabela 2 e Tabela 3 mostram os comprimentos equivalentes das principais conexões utilizadas nas tubulações.

3.5.3. Determinação comprimento equivalente ou virtual do tubo liso

3.5.3.1 Determinação comprimento equivalente ou virtual do tubo liso de acordo com a lei de Hazen-Williams e a lei Universal da perda de carga da tubulação de sucção

A equação Hazen-Williams é evidenciada a seguir, conforme equação 4 para o comprimento equivalente da tubulação de sucção:

$$\Delta h_S' = \frac{10,64}{C^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} \cdot L_{eqS} \quad \text{Eq. (4)}$$

Leq₁ – válvula pé com crivo = 23,0 m;

Leq₂ – joelho de 90° = 3,8 m;

Leq₄ – registro de gaveta = 0,7 m;

$$L_{eqS} = 23 + 3,8 + 0,7 = 27,5 \text{ m}$$

O coeficiente de carga da equação para o material de PVC é igual a C = 140.

$$\Delta h_S' = \frac{10,64}{140^{1,85}} \cdot \frac{0,0064^{1,85}}{0,075^{4,87}} \cdot 27,5 = 0,82 \text{ m}$$

De acordo com a Lei de Universal da perda de carga, conforme equação 3 para o comprimento equivalente da tubulação de sucção:

$$\Delta h'_S = \left(\frac{8f}{\pi^2 g} \right) \frac{Q^2}{D^5} \cdot L_{eqS} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\Delta h'_S = \left(\frac{8 \cdot 0,018}{\pi^2 \cdot 9,8} \right) \frac{0,0064^2}{0,075^5} \cdot 27,5 = 0,71 \text{ m}$$

3.5.3.2 Determinação comprimento equivalente ou virtual do tubo liso de acordo com a lei de Hazen-Williams e a lei Universal da perda de carga da tubulação de recalque

A equação Hazen-Williams é evidenciada a seguir, conforme equação 4 para o comprimento equivalente da tubulação de recalque :

$$\Delta h'_R = \frac{10,64}{C^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} \cdot L_{eqR} \quad \text{Eq. (4)}$$

5 Leq₁ – joelho de 90° = 5 x 3,8 m = 19 m;

3 Leq₂ – registro de gaveta = 3 x 0,7 m = 2,1 m;

2 Leq₃ – saída de canalização = 2 x 3,2 m = 6,4 m;

Leq₄ – tê de 90° bilateral = 6,7 m

Leq₅ – válvula de retenção leve = 8,4 m

$$L_{eqR} = 19 + 2,1 + 6,4 + 6,7 + 8,4 = 42,6 \text{ m}$$

O coeficiente de carga da equação para o material de aço galvanizado é igual a C = 140.

$$\Delta h'_R = \frac{10,64}{140^{1,85}} \cdot \frac{0,0064^{1,85}}{0,075^{4,87}} \cdot 42,6 = 1,28 \text{ m}$$

De acordo com a Lei de Universal da perda de carga, conforme equação 3 para o comprimento equivalente da tubulação de recalque:

$$\Delta h'_R = \left(\frac{8f}{\pi^2 g} \right) \frac{Q^2}{D^5} \cdot L_{eqR} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$\Delta h'_R = \left(\frac{8 \cdot 0,018}{\pi^2 \cdot 9,8} \right) \frac{0,0064^2}{0,075^5} \cdot 42,6 = 1,1 \text{ m}$$

3.5.3.3 Resumo das perdas de carga localizadas associadas as metodologias

A Tabela 9 mostra os valores obtidos para perda de carga localizada de acordo com as diversas metodologias abordadas no trabalho. A metodologia de Hazen-Williams é aquela que fornece o maior valor de perda de carga localizada enquanto que o método utilizando os coeficientes de perda de carga de acordo com as conexões presentes na tubulação da estação elevatória apresenta o menor valor de perda de carga.

Metodologia	Perda de carga localizada na sucção/m	Perda de carga localizada no recalque/m	Total/m
Coefficientes de perda	0,40	1,10	1,50
Hazen-Williams	0,82	1,28	2,10
Universal	0,71	1,10	1,81

Tabela 9 – Valores para perdas de carga localizada para funcionamento intermitente do sistema elevatório.

3.5.4. Resumo das perdas de carga totais em relação as metodologias aplicadas

A Tabela 10 mostra o cálculo da perdas de carga totais envolvendo o transporte de fluido na estação elevatória. Absorve uma variação significativa entre as metodologias aplicadas neste trabalho.

Metodologia	Perda de carga contínua /m	Perda de carga localizada/m	Total/m
Coefficientes de perda	2,56	1,50	4,06
Hazen-Williams	2,99	2,10	5,09
Universal	2,56	1,81	4,37

Tabela 10 – Valores para perdas de carga total para funcionamento intermitente do sistema elevatório

A metodologia que envolve os coeficientes de perda da carga na determinação da perda de carga contínua toma como base a equação Universal da perda de carga, por isso na Tabela 9 os valores são idênticos. Em relação ao valor total da perda de carga, observa-se que o metodologia baseada na equação de Hazen-Williams é aquela em que se obtém o maior valor, tendo a ser a mais utilizada, pois atua com maior segurança ao dimensionar a bomba para atender a demanda da estação elevatória.

3.5.5. Cálculo da altura manométrica e da potência da bomba

De acordo com as equações 1 e 9, foi possível calcular os valores apresentados na Tabela 11 que mostra os valores das perdas de carga total (Δh_{1-2}), a altura geométrica (H_g), a altura manométrica (H_m) e a potência necessária (P_H) para que a demanda da sistema elevatório possa ser atendida.

Metodologia	$\Delta h_{1-2}/m$	H_g/m	H_m/m	P_H/W
Coefficientes de perda	4,06	43	47,06	3011,8
Hazen-Williams	5,09	43	48,09	3077,8
Universal	4,37	43	47,37	3031,68

Tabela 11 – Valores das perdas de carga totais, das alturas manométricas e das potências das bombas.

Observa-se a maior potência calculada é a aquela que deve ser utilizada para a segurança do funcionamento do sistema elevatório. Desta forma é imprescindível saber a eficiência energética da bomba, para que de acordo com a equação 10 seja possível estabelecer a potência nominal da bomba a ser instalada no sistema. A Tabela 12 a seguir mostra o percentual de contribuição das perdas de carga sobre a altura manométrica do sistema elevatório.

Metodologia	$\Delta h_{1-2}/\%$	$H_g/\%$
Coeficientes de perda	8,63	91,37
Hazen-Williams	10,58	89,42
Universal	9,10	90,9

Tabela 12 – Percentual de contribuição da perda de carga e da altura geométrica sobre a carga manométrica

A Tabela 12 revela que as perdas de carga no sistema em estudo precisam ser consideradas, já que as mesmas equivalem em torno de 10% da carga manométrica do sistema elevatório. Fazer o cálculo de especificação da bomba levando-se em conta apenas o valor da altura geométrica pode comprometer o funcionamento adequado do sistema elevatório.

4 Conclusão

O trabalho evidenciou a aplicação das três principais metodologias dimensionamento do sistema elevatório e da potência necessária para que a sua respectiva demanda seja atingida.

A metodologia de Hazen-Williams se mostrou a melhor escolha, pois apresentou o maior valor de altura manométrica do sistema levando o mesmo a maior segurança do seu funcionamento adequado;

As metodologias evidenciaram que as perdas de carga do sistema elevatório não devem ser descartadas sobre pena de colaborar para o funcionamento inadequado do sistema elevatório já que os valores das contribuição das perdas de carga estão em torno de 10% do valor da altura manométrica do sistema elevatório.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica da Unig pelo apoio a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

BAPTISTA, M. e LARA, M. Fundamentos de Engenharia hidráulica. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003;

BRUNETTI, FRANCO, Mecânica dos Fluidos, 2ª Edição, Editora Pearson Prentice Hall, 2008.

CARVALHO JR, Roberto, Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura, 2019, 12ª Edição, São Paulo: Blücher;

FOX, MCDONALD, PRITCHARD, MITCHELL, Introdução à Mecânica dos Fluidos, 9ª Edição, Editora LTC, 2018;

<https://www.ultrasteel.com.br/conexoes-galvanizadas>, acessado em 06/09/2022.

MACINTYRE, Joseph A. Manual de Instalações Hidráulicas e Sanitárias, 1990, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan;

NORMA ABNT NBR 5626:2020 – Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução,

operação e manutenção;

NORMA ABNT NBR 5648:2018 – Tubos e conexões de PVC-U com junta soldável para sistemas prediais de água fria – Requisitos;