



**VALENTINA MENDES ÁLVARES**

**PRESSÃO DINÂMICA NOS PONTOS DE TOMADA DE ÁGUA EM  
INSTALAÇÃO HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE EM FUNÇÃO DA  
METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO DA PERDA DE CARGA**

**LAVRAS - MG**

**2019**

**VALENTINA MENDES ÁLVARES**

**PRESSÃO DINÂMICA NOS PONTOS DE TOMADA DE ÁGUA EM  
INSTALAÇÃO HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE EM FUNÇÃO DA  
METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO DA PERDA DE CARGA**

Monografia apresentada à Universidade  
Federal de Lavras, como parte das exigências do  
Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do  
título de Bacharel.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador

**LAVRAS - MG**

**2019**

**VALENTINA MENDES ÁLVARES**

**PRESSÃO DINÂMICA NOS PONTOS DE TOMADA DE ÁGUA EM  
INSTALAÇÃO HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE EM FUNÇÃO  
DA METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO DA PERDA DE CARGA**

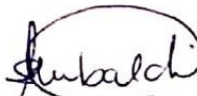
Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 05 de novembro de 2019

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi - UFLA

Karina Vilela Rodrigues - UFLA

Mateus Alexandre de Silva - UFLA

  
Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2019**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, agradeço por ter me proporcionado força e energia todos os dias para estudar e lutar pelos meus sonhos.

Aos meus pais agradeço por todo o apoio e incentivo que vocês me dão todos os dias.

Ao meu orientador Michael, obrigada por todo o suporte, pelos ensinamentos, e por me incentivar e acreditar na minha capacidade.

Aos meus amigos da UFLA e fora dela, obrigada por acreditarem em mim, e por sempre suportarem minhas reclamações.

Ao Lucas, agradeço por todo o auxílio e bons conselhos durante essa jornada.

## RESUMO

No âmbito das instalações hidráulicas prediais, as perdas de energia sofridas pela água ao longo do seu percurso em tubulações são determinadas por fórmulas como a de Darcy-Weisbach, que depende diretamente do fator de atrito, que por sua vez, dependem da viscosidade da água, e por outras empíricas, conhecidas como fórmulas práticas. Porém, a viscosidade é uma propriedade que varia com a temperatura, logo, para instalações hidráulicas que conduzem água quente faz-se necessário utilizar um valor diferente para esta. Diante disso, objetivou-se por meio do presente trabalho determinar a eficácia de diferentes métodos para determinação da perda de carga em instalações prediais de água quente, verificando também a segurança envolvida no uso de cada um, a partir da consideração das diferenças nas propriedades físicas da água. Para tal, foi realizado o dimensionamento de uma instalação predial de água quente por meio da equação de Darcy-Weisbach e as de Fair-Whipple-Hsiao para água fria e água quente e, posteriormente, uma comparação entre os resultados obtidos. Tais resultados mostraram que o uso da fórmula de Fair-Whipple-Hsiao com o coeficiente específico para água quente é adequada para ser usada em instalações hidráulicas de água quente de pequeno porte.

**Palavras-chave:** dimensionamento, hidráulica aplicada, viscosidade.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Comportamento da viscosidade de diversos líquidos em função da mudança de temperatura .....   | 17 |
| Figura 2. Água se movimentando de uma tubulação para um reservatório .....  | 18 |
| Figura 3. Comportamento das linhas de corrente nos escoamentos laminar (a) e turbulento (b) .....   | 19 |
| Figura 4. Representação das grandezas necessárias para a aplicação da equação da continuidade, em uma dada situação. ....                     | 20 |
| Figura 5. Representação de uma tubulação, um plano de referência e as respectivas variáveis que serão aplicadas na Equação de Bernoulli ..... | 22 |
| Figura 6. Desenho isométrico do banheiro localizado na suíte .....  | 31 |
| Figura 7. Desenho isométrico do banheiro social.....  | 32 |
| Figura 8. Desenho isométrico da cozinha.....  | 33 |
| Figura 9. Perda de carga acumulada nos pontos de tomada de água.....  | 40 |
| Figura 10. Pressões restantes nos pontos de tomada de água.....   | 43 |
| Figura 11. Perda de carga acumulada nos pontos de tomada de água.....   | 45 |
| Figura 12. Coeficiente da equação de Darcy-Weisbach em função dos diâmetros.....  | 47 |
| Figura 13. Perda de carga acumulada nos pontos de tomada de água.....   | 48 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Pesos relativos das peças sanitárias que serão utilizadas. ....  | 34 |
| Tabela 2 - Dimensionamento das instalações prediais de água quente da concepção de rede estudada. ....  | 38 |
| Tabela 3 - Trechos de tubulação, suas respectivas peças especiais, comprimentos equivalentes e virtuais obtidos. ....   | 39 |
| Tabela 4 - Resultado do cálculo da perda de carga em cada trecho, calculada pela equação de Darcy e pelas equações de Fair-Whipple-Hsiao utilizando o coeficiente de água fria e quente. .... | 40 |
| Tabela 5 - Coeficientes da equação de Darcy obtidos no 1º dimensionamento da instalação de água quente. ....  | 42 |
| Tabela 6 - Variação em porcentagem das equações de Fair-Whipple-Hsiao para água quente e fria com relação à fórmula de Darcy-Weisbach. ....   | 43 |
| Tabela 7 - Resultados obtidos no redimensionamento das instalações prediais de água quente. ....  | 44 |
| Tabela 8 - Variação em porcentagem das equações de Fair-Whipple-Hsiao para água quente e fria com relação à fórmula de Darcy. ....  | 45 |
| Tabela 9 - Coeficientes da equação de Darcy obtidos no 2º dimensionamento da instalação de água quente. ....  | 46 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|             |   |
|-------------|---|
| Re          | Número de Reynolds;   |
| v           | Velocidade [m/s];   |
| $\nu$       | Viscosidade cinemática [m <sup>2</sup> /s];                                 |
| V           | Volume [m <sup>3</sup> ];   |
| D           | Diâmetro [m];   |
| Q           | Vazão [m <sup>3</sup> /s];  |
| m           | Massa [kg];   |
| g           | Gravidade [m/s <sup>2</sup> ];  |
| z           | Cota piezométrica [m];  |
| p           | Pressão [N/m <sup>2</sup> ];  |
| $\rho$      | Massa específica [kg/m <sup>3</sup> ];                                      |
| $\gamma$    | Peso específico [N/m <sup>3</sup> ];  |
| f           | Coefficiente de atrito;   |
| S           | Área da seção transversal da tubulação [m <sup>2</sup> ];                   |
| K           | Coefficiente de perda de carga localizada do Método Direto;                 |
| h           | Perda de carga [mca];   |
| Le          | Comprimento equivalente [m];  |
| $P_r$       | Peso relativo de peças sanitárias;  |
| e           | Rugosidade absoluta do material da tubulação [m];                           |
| $P_{din}$   | Pressão dinâmica [mca];   |
| $\Delta NE$ | Diferença do nível estático da caixa d'água e do ponto de utilização [mca]; |
| $h_{acum}$  | Perda de carga acumulada [mca].   |



## LISTA DE SIGLAS

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| RP   | Registro de Pressão               |
| RG   | Registro de Gaveta                |
| MLL  | Máquina de Lavar Louças           |
| MLR  | Máquina de Lavar Roupas           |
| PPR  | Polipropileno Copolímero Random   |
| PEX  | Polietileno Reticulado Monocamada |
| CPVC | Policloreto de Vinila Clorado     |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                       | <b>12</b> |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>2.1. Objetivo geral .....</b>                                 | <b>14</b> |
| <b>2.2. Objetivos específicos .....</b>                          | <b>14</b> |
| <b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                               | <b>15</b> |
| <b>3.2. Hidrodinâmica.....</b>                                   | <b>17</b> |
| <b>3.2.1. Equação da continuidade.....</b>                       | <b>19</b> |
| <b>3.2.2. Equação de Bernoulli .....</b>                         | <b>21</b> |
| <b>3.3. Cálculo das tubulações sobre pressão.....</b>            | <b>23</b> |
| <b>3.3.1. Perda de carga distribuída .....</b>                   | <b>23</b> |
| <b>3.3.2. Perdas de carga localizadas.....</b>                   | <b>25</b> |
| <b>3.4. Instalações Hidráulicas Prediais .....</b>               | <b>26</b> |
| <b>3.4.1. Instalações Hidráulicas Prediais de Água Fria.....</b> | <b>26</b> |
| <b>3.4.2. Componentes de um sistema predial .....</b>            | <b>27</b> |
| <b>3.4.3. Parâmetros de projeto .....</b>                        | <b>27</b> |
| <b>3.4.4. Instalações prediais de água quente .....</b>          | <b>28</b> |
| <b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>                                | <b>30</b> |
| <b>4.1. Especificações e parâmetros para o projeto .....</b>     | <b>30</b> |
| <b>4.2. Dimensionamento .....</b>                                | <b>33</b> |
| <b>4.3. Cálculo dos pontos de pressão.....</b>                   | <b>34</b> |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                           | <b>38</b> |
| <b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                             | <b>50</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>51</b> |
| <b>APÊNDICE A – Planta Baixa.....</b>                            | <b>53</b> |
| <b>APÊNDICE B – Corte .....</b>                                  | <b>54</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ANEXO A – Ábaco simplificado .....</b>  | <b>55</b> |
| <b>ANEXO B – Diâmetro interno em função dos dados do fabricante .....</b>        | <b>56</b> |
| <b>ANEXO C – Comprimentos equivalentes expressos em números de diâmetros ...</b> | <b>57</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Uma instalação predial de água quente têm como objetivo principal distribuir água continuamente, em quantidade suficiente e temperatura controlável aos pontos de tomada de água, como apresentado pela NBR 7198 (ABNT, 1993).

Para que este objetivo seja atendido é imprescindível a elaboração de um projeto correto e harmônico. Entretanto, está enraizado na cultura de diversos países, incluindo do Brasil, que construções de pequeno porte não necessitam da elaboração de um projeto hidrossanitário. Esse pensamento errôneo faz com que esse projeto, bem como outros, muitas vezes seja negligenciado, fazendo com que a obra esteja sujeita a inúmeras intercorrências futuras. Diante disso, sabe-se que diversas patologias estão ligadas à falta de adequado projeto hidrossanitário, ou à falta de sua existência.

Além disso, a opção de não contratar a elaboração de um projeto hidrossanitário, vem de uma falsa de ideia de economia. Porém, tal decisão pode ocasionar problemas como vazamentos, aquecimento ineficiente da água, pressões menores que a requerida nos aparelhos sanitários entre outros, que podem diminuir drasticamente as vazões que chegam até os pontos de tomada de água ou até mesmo o não funcionamento do abastecimento em alguns pontos de utilização, fazendo que os custos necessários para retificação de tais problemas sejam muito maiores que o do projeto.

As pressões que chegam até os pontos de utilização das peças sanitárias devem obedecer ao mínimo normativo para que o abastecimento de água seja efetivo. Quanto menores são os diâmetros das tubulações, maiores são as perdas de energia hidráulica – também conhecidas como perda de carga – ao longo de seu percurso até os pontos de utilização, e, conseqüentemente, menores se tornam as pressões nos pontos, aumentando as chances destas não serem suficientes para o bom funcionamento do sistema.

Nesse sentido, a falta de elaboração de um projeto, ou mesmo a elaboração do mesmo de forma errônea, podem levar ao superdimensionamento das tubulações. Esse dimensionamento superestimado pode até garantir as pressões mínimas, porém, geram gastos por vezes excessivos e desnecessários.

Quando se trata das instalações de água quente o problema pode se mostrar ainda pior. Ao contrário das instalações de água fria, em que o superdimensionamento não causa problemas no bom funcionamento do sistema, as instalações de água quente, quando superestimadas, fazem

com que as tubulações de grandes diâmetros passem a funcionar como reservatórios, devido a possíveis baixas velocidades. O atraso no transporte dessa água pode fazer com que ela esfrie, e não chegue ao ponto de utilização com a temperatura esperada.

Diante disso, buscou-se por meio do presente trabalho verificar as diferenças entre métodos utilizados para determinação da perda de carga em tubulações prediais para condução de água quente, utilizando como meio de estudo uma edificação de pequeno porte.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Estimar a perda de carga por diferentes métodos e determinar a carga de pressão dinâmica nos pontos de tomada de água de uma instalação predial de água quente.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Realizar o dimensionamento da instalação predial de água quente estudada;
- Calcular as perdas de carga utilizando a fórmula de Fair-Whipple-Hsiao com coeficiente de atrito ajustado para água fria e água quente e pela fórmula Universal de Darcy-Weisbach, considerando o aquecimento da água;
- Comparar as cargas de pressão obtidas nos aparelhos com as mínimas exigidas para cada situação estudada e entre estas.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Propriedades dos fluidos

Entende-se como fluido qualquer material que esteja nas fases líquida, gasosa ou em vapor. Quando uma tensão de cisalhamento é aplicada em um fluido, este se movimenta continuamente, diferentemente de um sólido, por exemplo. Além disso, eles não têm forma própria, e se moldam de acordo com o recipiente em que estão inseridos (GRIBBIN, 2014).

Ainda segundo Gribbin (2014), as propriedades dos fluidos, por sua vez, se dividem em intensivas e extensivas. As extensivas são propriedades que são influenciadas pela extensão do sistema. Já as intensivas, se inserem propriedades que dependem diretamente da massa do fluido.

Assim, tem-se que a massa específica de um fluido é uma razão obtida entre o valor da sua massa e uma unidade de volume. Para se obter o peso específico, multiplica-se o valor da massa específica pela gravidade, resultando assim em uma razão que demonstra o peso do fluido por unidade de volume. Essas propriedades são consideradas intensivas por dependerem – na maioria dos fluidos - diretamente da massa. Elas também são funções diretas da pressão e inversamente proporcionais à temperatura (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

Os líquidos são, geralmente, considerados aproximadamente incompressíveis. Por essa razão, a mudança que a temperatura causará em sua massa específica pode ser considerada desprezível, pois é uma mudança extremamente pequena (ÇENGEL; CIMBALA, 2015).

Já a compressibilidade é a capacidade que um líquido tem de provocar uma redução em seu volume em decorrência da ação de uma tensão aplicada nele. Como a massa específica é inversamente proporcional ao seu volume, a compressão de um fluido, resultará na redução do seu volume e conseqüentemente um aumento da sua massa específica (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Para a viscosidade têm-se que a mesma é a capacidade que um fluido tem de resistir a uma tensão de cisalhamento que estiver sendo aplicada a ele, ou seja, se refere a relativa facilidade que as moléculas de um fluido têm de escoar umas sobre as outras (GRIBBIN, 2014).

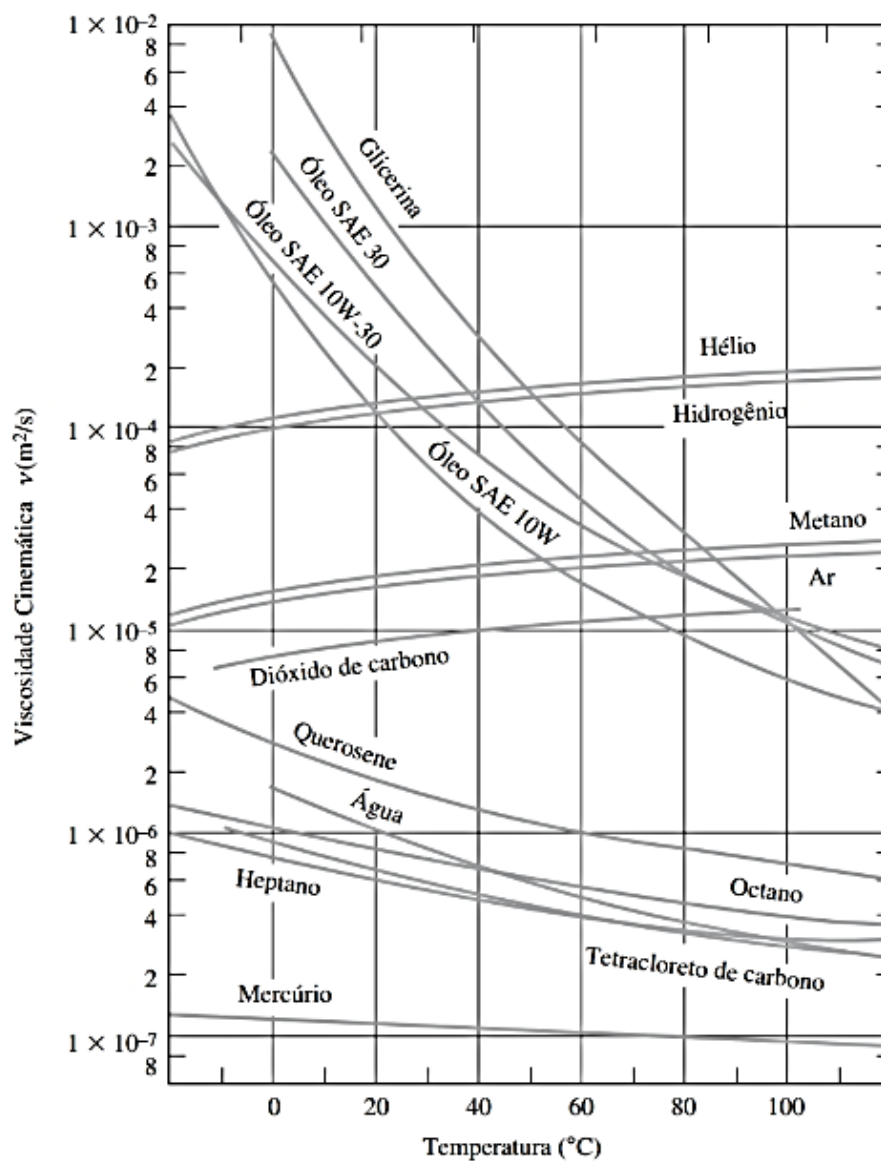
Ainda segundo Gribbin (2014), essa propriedade, quando tida de forma absoluta, é denominada de viscosidade dinâmica. Já a viscosidade cinemática é tida pela divisão da viscosidade dinâmica pela massa específica.

Como citado anteriormente, a temperatura é um fator que influencia a massa específica dos fluidos, e, conseqüentemente, também influencia no peso específico. O aumento na temperatura pode causar um aumento no volume do fluido, que por ter uma relação inversa com a massa específica, faz com que ela diminua. Porém, como os líquidos são considerados aproximadamente incompressíveis, essa variação é considerada desprezível. Por isso, a massa específica, bem como o peso específico de líquidos, sofrem variações muito pequenas com a temperatura, fazendo com que estas alterações sejam insignificantes (POTTER; WIGGERT; RAMADAN, 2014).

A viscosidade por sua vez, também sofre influência da temperatura. Tal influência pode se tornar até muito relevante em líquidos que possuam forças coesas consideráveis. A Figura 1 mostra a viscosidade de diversos líquidos e seu comportamento de acordo com a temperatura. Por meio de uma análise da Figura 1, é possível constatar que a viscosidade possui uma relação inversa com a temperatura, para a maioria dos fluidos líquidos. Nos gases entretanto, o efeito da temperatura na viscosidade se faz menos relevante, havendo comportamento inverso na relação observada para líquidos (POTTER; WIGGERT; RAMADAN, 2014).



Figura 1 - Comportamento da viscosidade de diversos líquidos em função da mudança de temperatura.



Fonte: Potter; Wiggert; Ramadan (2014).

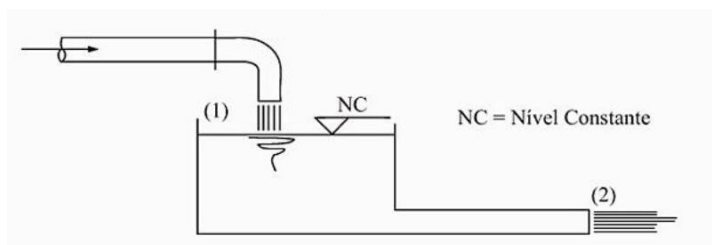
### 3.2. Hidrodinâmica

A hidrodinâmica tem como objetivo estudar o movimento dos fluidos, no caso desse estudo, o movimento da água. Esse movimento por sua vez, é caracterizado pela velocidade do fluido em todas as direções, em um dado tempo. A vazão ou descarga é outra grandeza utilizada para caracterizar o movimento dos fluidos, ela demonstra a variação do volume de água em um determinado tempo. Porém, como as partículas da água podem estar se movimentando com

módulos e direções diferentes, para determinar esse fluxo, usa-se a velocidade média entre as partículas do fluido (GRIBBIN, 2014).

Para relacionar os conceitos de propriedades dos fluidos com a hidrodinâmica, é necessário classificar o movimento dos fluidos em regimes (permanente ou variado). O regime permanente, é quando a propriedade ou propriedades do fluido em questão que sejam alvo de monitoramento – como pressão, massa específica e velocidade, são mantidas constantes ao longo do tempo. Já no regime variado, as propriedades se alteram com o tempo (BRUNETTI, 2008). Uma melhor compreensão destes conceitos pode ser vista com o auxílio da Figura 2.

Figura 2 - Água se movimentando de uma tubulação para um reservatório.



Fonte: Brunetti (2008).

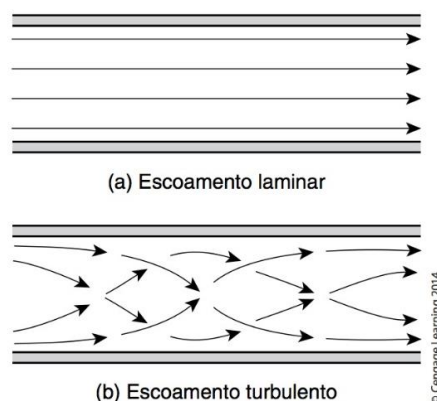
A partir da Figura 2 é possível analisar as seguintes situações: se no ponto (1) sai uma quantidade de água igual à que sai no ponto (2), fazendo com que o nível se mantenha constante, temos um exemplo de regime permanente, pois em qualquer ponto do reservatório, as propriedades irão permanecer as mesmas diante da variação do tempo. Porém, se o fornecimento de água a partir da tubulação que abastece o reservatório, for interrompido, esse regime será variado, pois as propriedades estarão em constante mudança com o tempo (BRUNETTI, 2008).

Além da classificação dos regimes, é necessário classificar os tipos de escoamentos que podem ocorrer dentro de uma tubulação. Há várias classificações, porém, para a resolução de problemas de engenharia, o foco é se conhecer o regime de escoamento em relação à trajetória, que pode ser laminar e o turbulento (MUNSON; YOUNG; OKIISHI, 2004).

O regime laminar possui menor velocidade, e um movimento regular entre as partículas de fluidos ao longo de uma tubulação. As linhas de corrente se movimentam de forma paralela, pois há poucas agitações transversais, e não há troca de massa entre as partículas. Já no regime turbulento, há velocidades transversais importantes, as linhas de corrente acabam por se cruzarem, e conseqüentemente o movimento se torna aleatório e agitado, além de haver uma considerável troca de massa e, conseqüentemente, quantidade de movimento entre as partículas

fluidas (BRUNETTI, 2008; GRIBBIN, 2014). A Figura 3 ilustra os escoamentos laminar e turbulento.

Figura 3 - Comportamento das linhas de corrente nos escoamentos laminar (a) e turbulento (b).



Fonte: Gribbin (2014).

Para se classificar esses escoamentos de forma prática, é utilizado o número de Reynolds, uma grandeza adimensional, que pode ser obtido pela Equação 1 (POTTER; WIGGERT; RAMADAN, 2014).

$$Re = \frac{v \times D}{\nu} \quad (1)$$

Por meio dessa equação é possível constatar que o número de Reynolds depende do conjunto das seguintes variáveis hidráulicas: velocidade, diâmetro da tubulação e viscosidade (POTTER; WIGGERT; RAMADAN, 2014).

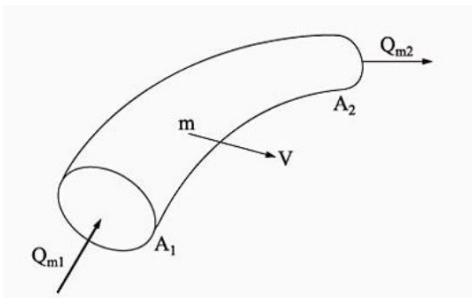
Após a obtenção do número de Reynolds é possível classificar o escoamento. Para valores menores que 2000, têm-se o escoamento laminar, enquanto que para valores maiores que 4000, escoamento processa-se como turbulento. Já valores intermediários são caracterizados como escoamento de transição (BRUNETTI, 2008).

### 3.2.1. Equação da continuidade

Essa equação é uma das mais importantes dentro da hidrodinâmica, e tem como princípio a conservação da massa com o tempo quando se considera um regime permanente. Para se encontrar uma relação entre massa e tempo, multiplica-se a vazão pela massa específica, obtendo assim a vazão mássica. Com esses conceitos surge a equação da continuidade, que é simplesmente igualar a vazão mássica que entra em determinado momento em um tubo de

corrente, como uma tubulação, com a vazão mássica que sai. Uma situação em que a equação da continuidade pode ser aplicada é representada por meio da Figura 4 (BRUNETTI, 2008).

Figura 4 - Representação das grandezas necessárias para a aplicação da equação da continuidade, em uma dada situação.



Fonte: Brunetti (2008).

Desta forma, a Equação 2 representa a equação da continuidade aplicada a um fluido qualquer em regime permanente (LENCASTRE, 1972).

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 \quad (2)$$

Se o fluido for incompressível, haverá uma conservação de sua massa específica, dessa forma, é possível simplificar a equação. A Equação 3 representa a simplificação da equação da continuidade para um fluido incompressível (LENCASTRE, 1972).

$$Q_1 = Q_2 \quad (3)$$

Sabendo-se que a vazão é o resultado do produto da velocidade pela área, é possível chegar-se à Equação 4.

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad (4)$$

Ao analisar a Equação 4, é possível perceber uma relação inversa entre a velocidade e a área da seção transversal da tubulação onde ocorrerá o escoamento. Assim, diminuir a área da seção pode ser – em muitos casos – uma estratégia para aumentar a velocidade do fluido, quando necessário (BRUNETTI, 2008).

### 3.2.2. Equação de Bernoulli

Assim como a equação da continuidade, a equação de Bernoulli tem como princípio uma lei de conservação, mas desta vez, a lei da conservação de energia. Dessa forma, é necessário entender primeiro o conceito de energia (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2018).

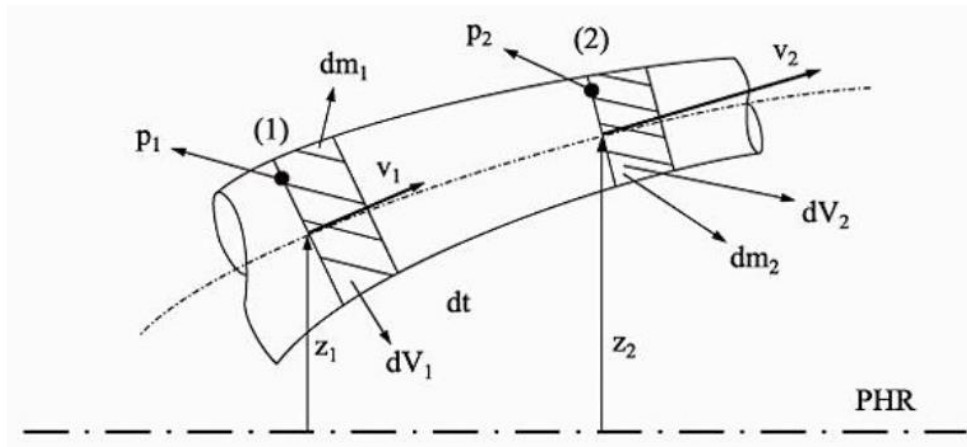
O conceito de energia é imprescindível na resolução de problemas hidráulicos. Diferentemente dos sólidos, a água em movimento não possui uma constância em sua massa, dessa forma fica muito difícil utilizar desse parâmetro para determinar sua energia. Assim, é comum na hidráulica utilizar o conceito de carga. Carga significa a relação entre a energia da água e o seu peso unitário. Utiliza-se esse conceito para descrever a energia mecânica - potencial e cinética.

Ainda segundo Gribbin (2014) o conceito de carga recebe várias classificações, sendo as mais comuns:

- Carga de posição: está relacionada com a energia potencial devido à elevação da água com relação a um plano de referência utilizado como parâmetro;
- Carga de pressão: relaciona-se com a energia potencial devida a uma pressão aplicada;
- Carga de velocidade ou taquicarga: está relacionada com a energia cinética devido a um deslocamento;
- Perda de carga: relaciona-se com a perda de energia, resultante de atrito e turbulência.

A Equação de Bernoulli têm como objetivo calcular as cargas de energia, citadas anteriormente. Porém, para a construção dessa equação de um modo mais simples e usual, é necessário considerar as seguintes hipóteses: o fluido em movimento está em regime permanente, não há ganhos ou perdas de energia no sistema, as propriedades nas seções da tubulação são uniformes, o fluido é incompressível e não há trocas de calor (BRUNETTI, 2008). Para facilitar a compreensão, na Figura 5 é mostrada uma tubulação que é usada como exemplo.

Figura 5 - Representação de uma tubulação, um plano de referência e as respectivas variáveis que serão aplicadas na Equação de Bernoulli.



Fonte: Brunetti (2008).

Considerando que para o fluido percorrer do ponto 1 (p1) até o ponto 2 (p2), em um determinado tempo, e que a energia irá se conservar, é possível começar a construção da equação da energia geral (BRUNETTI, 2008).

Em ambos os pontos deve-se definir o somatório das cargas (pressão, posição e velocidade). A carga de posição é a energia potencial, e é calculada pela multiplicação da massa, gravidade e cota (em relação ao plano de referência). A carga de velocidade é a energia cinética (massa multiplicada pelo quadrado da velocidade, dividido por dois), e, por fim, a carga de pressão é dada pela pressão multiplicada pelo volume. Considerando que o total da energia nos dois pontos permanecerá a mesma, chegamos à Equação 5.

$$m_1 \times g \times z_1 + \frac{m_1 \times v_1^2}{2} + p_1 \times V_1 = m_2 \times g \times z_2 + \frac{m_2 \times v_2^2}{2} + p_2 \times V_2 \quad (5)$$

A massa específica é a massa do fluido dividido pelo volume que ele ocupa. Dessa forma, isolando-se o volume, temos que este é igual à sua massa dividida pela massa específica. Substituindo o volume pela massa dividida pela massa específica, chega-se à Equação 6.

$$m_1 \times g \times z_1 + \frac{m_1 \times v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho_1} \times m_1 = m_2 \times g \times z_2 + \frac{m_2 \times v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho_2} \times m_2 \quad (6)$$

Como trata-se de fluido incompressível, sabe-se que a massa específica permanecerá a mesma ( $\rho_1 = \rho_2$ ). Além disso, assume-se a hipótese de que o regime é permanente, então haverá conservação das propriedades, logo:  $m_1 = m_2$ . Com isso, chega-se à Equação 7.

$$m \times g \times z_1 + \frac{m \times v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} \times m = m \times g \times z_2 + \frac{m \times v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} \times m \quad (7)$$

De forma a simplificar a Equação 7, divide-se toda a equação por  $m$  e  $g$ , e substitui-se o termo que multiplica a massa específica pela gravidade pelo peso específico ( $\gamma$ ). Assim, chega-se à equação de Bernoulli, representada pela Equação 8.

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2 \times g} + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2 \times g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (8)$$

### 3.3. Cálculo das tubulações sobre pressão

Para se construir a equação geral da energia, no tópico anterior, considerou-se que o fluido não era viscoso e possuía uma conservação de sua energia enquanto ele se movimentava. Porém, em situações reais, os fluidos são viscosos, e fazem trocas de calor com o ambiente, devido ao atrito do fluido com o meio em que ele circula. Tais perdas de energia, são conhecidas como perdas de carga, e representam a quantidade de energia mecânica que foi transformada em energia térmica, devido ao atrito. As perdas totais de carga são resultante da soma entre a perda de carga distribuída – que ocorre ao longo da tubulação – com a perda de carga localizada – resultante das ligações existentes nas tubulações, como curvas, joelhos, entre outras (FOX; MCDONALD; PRITCHARD, 2018).

#### 3.3.1. Perda de carga distribuída

Ao se dimensionar uma tubulação de uma instalação predial, tem-se o objetivo de conhecer a energia mínima necessária para levar a água de um ponto ao outro. Dessa forma, é imprescindível saber a energia que a água irá perder nesse percurso – seja por atrito ou turbulência – chamada de perda de carga (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Para calcular essa perda de carga existem diversos métodos, dentre os mais conhecidos pode-se citar: fórmula universal, de Hazen-Williams, a equação de Flamant e as equações de

Fair-Whipple-Hsiao. As variáveis envolvidas geralmente são as mesmas (velocidade, diâmetro, comprimento e coeficientes). Esses coeficientes, por sua vez, são dados para condições normais em que a água está fria. Porém, o valor de tais coeficientes são afetados pela temperatura, pois dependem do número de Reynolds, e conseqüentemente da viscosidade, que, como citado anteriormente, é uma propriedade extensiva, que muda de acordo com a temperatura. Porém, por se tratarem de fórmulas empíricas – excetuando-se a de Darcy-Weisbach - elas foram concebidas através de experimentos, logo, para o cálculo da perda de carga em instalações de água quente, o uso dessas fórmulas se torna mais complexo, já que a maioria das tabelas de coeficientes são ajustadas para água fria, e, não se sabe a real eficiência de tais métodos para o seu uso em instalações de água quente (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Segundo Porto (2006), a fórmula de Darcy-Weisbach, também conhecida como fórmula Universal, foi pioneira na hidráulica, sendo válida para qualquer líquido e é dada pela Equação 9.

$$\Delta h = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad (9)$$

Como é possível observar, a perda de carga possui uma relação diretamente proporcional com a velocidade, o coeficiente de atrito e o comprimento da tubulação, e, uma relação inversa com o diâmetro da tubulação. Considerando um regime turbulento, também é proporcional também à rugosidade relativa do tubo e ao número de Reynolds (PORTO, 2006).

O coeficiente de atrito pode ser encontrado por meio de diagramas – como do Diagrama de Moody ou Hunter-Rouse – que dependem dos valores de rugosidade, diâmetro e número de Reynolds. Tais diagramas são universais, podendo ser aplicados a fluidos de qualquer viscosidade. Além disso, podem ser determinados por equações, algumas delas iterativas, que são divididas de acordo com o regime de escoamento (MACINTYRE, 2010).

Para o dimensionamento de tubulações a NBR 5626 (ABNT, 1998) recomenda a adoção das fórmulas de Flamant e Fair-Whipple-Hsiao. Esta última, possui uma fórmula específica para cada situação, sendo uma delas apropriada para ser utilizada em Instalações de Água Quente (MACINTYRE, 2010). A Equação 10 apresenta a fórmula de Fair-Whipple-Hsiao para situações em que a água esteja fria.

$$hf = 0,000869 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \times L \quad (10)$$



A Equação 11, apresenta a equação de Fair-Whipple-Hsiao, para o caso em que a água se encontra aquecida (BAPTISTA; COELHO, 2016)

$$hf = 0,000692 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \times L \quad (11)$$

### 3.3.2. Perdas de carga localizadas

Além da perda de energia sofrida pelo fluido enquanto ele se movimenta, as conexões entre tubulações também provocam uma certa perda de energia. Tais perdas são chamadas de secundárias. Porém, em alguns casos, essas perdas podem ser maiores até que as distribuídas. Essa perda de energia secundária se resulta da mistura em regime turbulento da água dentro da conexão. São produzidos vórtices no fluido dentro dessas conexões que são transportados ao longo da tubulação, causando a perda de carga (HIBBELER, 2016).

Apesar de serem conhecidas como perda de carga localizadas, tais perdas não ocorrem necessariamente apenas dentro da conexão, mas também à jusante e montante de onde a conexão está localizada (PORTO, 2006).

O cálculo das perdas de carga localizadas é feito por meio do uso de um coeficiente K, que depende das seguintes variáveis: número de Reynolds, rugosidade do tubo, geometria da conexão e condições do escoamento (HIBBELER, 2016). A Equação 12 apresenta como é feito tal cálculo.

$$\Delta h = K \times \frac{V^2}{2g} \quad (12)$$

Os valores do coeficiente K podem ser retirados de diversas tabelas, nas quais os valores geralmente são dados de acordo com cada tipo de conexão, separadas por materiais. Tais valores, encontrados nestas tabelas, são determinados de forma experimental. Porém, por serem valores experimentais, não são totalmente precisos, pois até mesmo a forma de acabamento do tubo, bem como a presença de rebarbas podem interferir nos valores encontrados (PORTO, 2006).

#### 3.3.2.1. Método dos comprimentos equivalentes

A fórmula universal, bem como a fórmula geral para o cálculo da perda de carga localizada, possuem como variáveis comuns, a carga cinética e o diâmetro. Dessa forma, se a Equação 9 for igualada à Equação 12, é possível cancelar as variáveis comuns, chegando à

expressão representada pela Equação 13. Isolando a variável  $L_e$ , é possível se chegar ao comprimento equivalente de tubulação, que representa a mesma perda de carga que a conexão proporcional. Dessa forma, fica muito mais simples o cálculo da perda de carga total, pois é possível lidar com o problema de tal forma como se ele abrangesse apenas perdas de carga distribuídas. (PORTO, 2006)

$$\frac{L_e}{D} = \frac{K}{f} \quad (13)$$

### **3.4. Instalações Hidráulicas Prediais**

#### **3.4.1. Instalações Hidráulicas Prediais de Água Fria**

As instalações hidráulicas prediais representam o conjunto de todos os dispositivos que têm como objetivo levar água potável em condições de temperatura ambiente até os pontos de utilização. Esse sistema deve ser construído de modo a promover economia, praticidade, higiene e conforto aos usuários. Além disso, esses sistemas devem ser projetados de tal forma a terem harmonia com os demais projetos envolvidos, como o projeto elétrico e o arquitetônico (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Ainda segundo Carvalho Júnior (2013), a instalação predial deve ser alimentada pelo sistema público de fornecimento de água. Porém, em localidades que não permitem acesso a esse sistema, a água pode ser retirada de poços pouco profundos, poços artesianos, dentre outras fontes privadas. A desvantagem desse tipo de fornecimento, é a falta de garantia da potabilidade da água.

Há três formas de distribuição da água até os pontos de utilização. Quando a água vai da rede pública até o ponto de utilização, sem passar por reservatórios, tem-se o chamado sistema direto. Tal sistema, apesar de ser conhecido por ser mais econômico, está sujeito às variações de pressão da rede pública, e também à uma possível falta de água que pode acontecer. O sistema indireto por sua vez, é aquele que passa por pelo menos um reservatório, e por isso, está mais seguro à possíveis interrupções no abastecimento pela rede pública, por possuir uma reserva de água, além de ter suas vazões nos pontos de utilização sempre constantes (BOTELHO; RIBEIRO, 2010).

O sistema misto de distribuição de água, mescla o sistema indireto ao direto, e é o mais utilizado nas residências. Geralmente, torneiras externas como as de jardim, filtros e tanques são ligadas de forma direta. Já o resto dos pontos de utilização são abastecidos de forma indireta.

Esse sistema misto propicia uma maior economia, facilidade técnica e atende melhor às necessidades dos usuários (BOTELHO; RIBEIRO, 2010).

### **3.4.2. Componentes de um sistema predial**

O primeiro componente de uma instalação predial é o ramal predial, que compreende o trecho entre a distribuição pública até o aparelho medidor. Já o ramal interno, representa o trecho entre o aparelho medidor até a entrada do reservatório da instalação predial (MACINTYRE, 2010).

Após o ramal interno, chega-se ao reservatório. O reservatório geralmente é abastecido diretamente pelo ramal interno. Para edifícios pequenos de até três pavimentos, um reservatório, na parte superior, é suficiente. Para edifícios maiores, é necessário se ter um segundo reservatório. Quando há a necessidade de dois reservatórios, um deles usualmente fica na cobertura, enquanto o outro fica localizado em uma altura intermediária. O tamanho de tais reservatórios é dimensionado de modo a atender o dobro do consumo diário de água previsto (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

A tubulação que sai dos reservatórios é chamada de barrilete. Este dispositivo é essencial para que não haja perfurações excessivas no reservatório, o que poderia comprometer sua permeabilidade. Os barriletes podem ser instalados de maneira ramificada ou concentrada (BOTELHO; RIBEIRO, 2010).

Por fim, têm-se as colunas, os ramais e os sub-ramais. As colunas são dispositivos de distribuição que descem verticalmente diretamente dos barriletes, de maneira a abastecer os ramais, que são tubulações horizontais que levam a água aos sub ramais, que são os dispositivos que abastecem diretamente os pontos de utilização (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

### **3.4.3. Parâmetros de projeto**

Para se fazer o dimensionamento de uma instalação hidráulica predial, é necessário ter algumas informações como base para a construção de um projeto correto e que, conseqüentemente, propicie o bom funcionamento da instalação. Com relação aos diâmetros, deve-se adotar um diâmetro mínimo de 15 milímetros. Obviamente, há muitas exceções, por isso recomenda-se que seja feita uma consulta aos diâmetros mais usuais para cada tipo de utilização (BOTELHO; RIBEIRO, 2010).

Com relação às velocidades da água nas tubulações, não há exigência para a velocidade mínima, porém, ela não deve ultrapassar 3 m/s. Tal limite, é feito para que sejam evitados ruídos, que possam perturbar o conforto dos usuários (BOTELHO; RIBEIRO, 2010).

As perdas de carga por sua vez, nos barriletes e outras tubulações que estejam localizadas no último pavimento, não devem ultrapassar 8%. Nos outros pavimentos, as próprias restrições relacionadas à velocidade, condicionam as perdas de carga à valores que sejam admissíveis (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Para que cheguem vazões aos pontos de utilização, de modo que permita o bom funcionamento dos aparelhos, deve-se atender a uma pressão mínima de 10 kPa, excetuando a caixa de descarga que demanda apenas 5 kPa e a válvula de descarga que necessita de uma pressão mínima de 15 kPa. A pressão máxima estática recomendada é de 400 kPa (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

#### **3.4.4. Instalações prediais de água quente**

As instalações prediais de água quente é o nome que se dá ao conjunto de dispositivos que têm como objetivo levar água aquecida à determinados pontos de utilização. A temperatura da água nessas instalações se mantém em torno de 50 °C, mas podem chegar até a 80 °C. Para se atingir essas temperaturas, são usados aquecedores. Estes equipamentos quando não têm a função de estocar água, são chamados de aquecedores de passagem. Já quando possuem a função de aquecer e também reservar, são conhecidos como aquecedores de acumulação ou boilers (BOTELHO; RIBEIRO, 2010).

Para as tubulações e peças, geralmente se usa aço, cobre ou plástico do tipo PPR, PEX, CPVC ou polibutileno. O aço possui muitos problemas relacionados à corrosão, por isso deve-se haver um cuidado especial se for utilizá-lo. Já o cobre, é um material muito eficiente, porém de alto custo (BOTELHO; RIBEIRO, 2010).

Com relação aos parâmetros de projeto, recomenda-se uma pressão mínima de 5 kPa para torneiras e de 10 kPa para chuveiros. Além disso, o diâmetro mínimo recomendado é de 20 milímetros. A pressão máxima segue o critério geral, citado no tópico 3.4.1. Para a velocidade máxima permitida, também se segue valor máximo citado também no tópico 3.4.1 (CARVALHO JÚNIOR, 2013; AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015).

Além disso, o dimensionamento dos reservatórios de água quente, seguem as mesmas linhas de raciocínio das instalações prediais de água quente. Primeiramente estima-se o consumo

diário de água quente na residência, e então sabe-se a capacidade do boiler. Porém, nesse caso, se faz um reservatório que atenda apenas um consumo diário (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Especificações e parâmetros para o projeto**

A metodologia do trabalho seguiu basicamente as etapas de elaboração de um projeto hidrossanitário de água quente. Como o objetivo geral era medir as pressões nos pontos de tomada de água, inicialmente foi selecionada uma planta de uma edificação qualquer, na qual, posteriormente, seria introduzida uma instalação hidráulica de água quente.

A edificação selecionada é composta por uma cozinha conjugada com a copa, dois quartos, uma suíte, um banheiro social e uma garagem. A planta baixa da residência escolhida se encontra no Apêndice A.

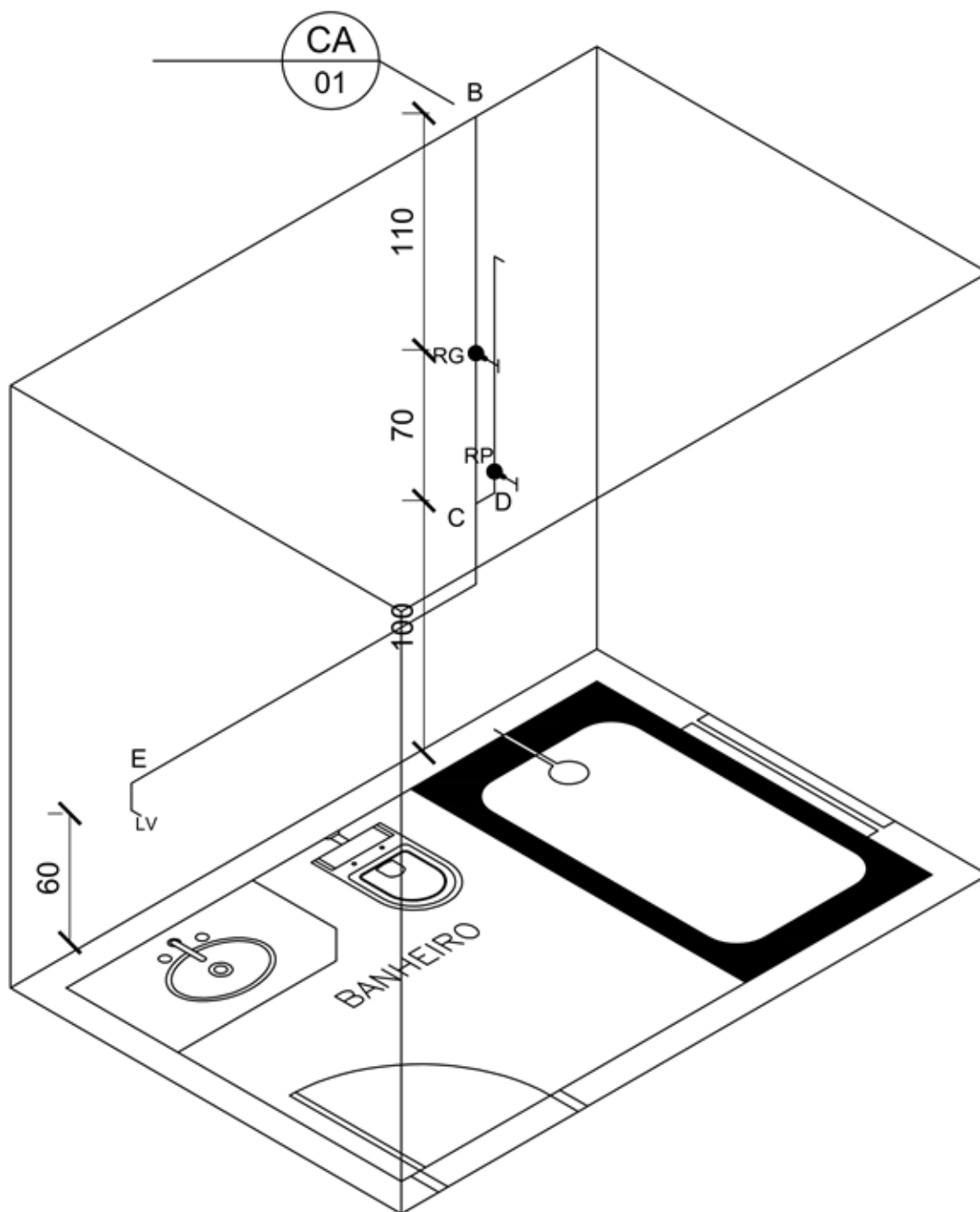
A instalação de água quente englobou a cozinha e dois banheiros. A cozinha é composta por uma pia e uma máquina de lavar louças, sendo que, ambas irão receber água quente. O banheiro social, por sua vez, é composto por um lavatório, uma bacia sanitária e um chuveiro. O lavatório e o chuveiro serão abastecidos por água quente. Por fim, a suíte é composta pelos mesmos itens, acrescida de uma banheira. Porém, a banheira é abastecida pelo próprio chuveiro. Assim como no banheiro social, o banheiro da suíte teve a pia e o chuveiro contemplados pela instalação de água quente.

Com relação ao material utilizado, foi escolhida uma tubulação lisa feita com o material CPVC, para ser utilizada na instalação predial.

Antes de se iniciar o dimensionamento, com o auxílio do software AutoCAD®, foram feitos os desenhos isométricos dos ambientes contemplados com a instalação de água quente, anteriormente citados. Tais desenhos facilitaram a visualização do projeto. Posteriormente, foi feita a divisão das tubulações por trechos, no qual cada nó foi nomeado por uma letra, facilitando o dimensionamento de cada um. Além disso, as colunas foram numeradas, para que posteriormente, facilitasse a visualização dos cálculos referentes a cada uma delas.

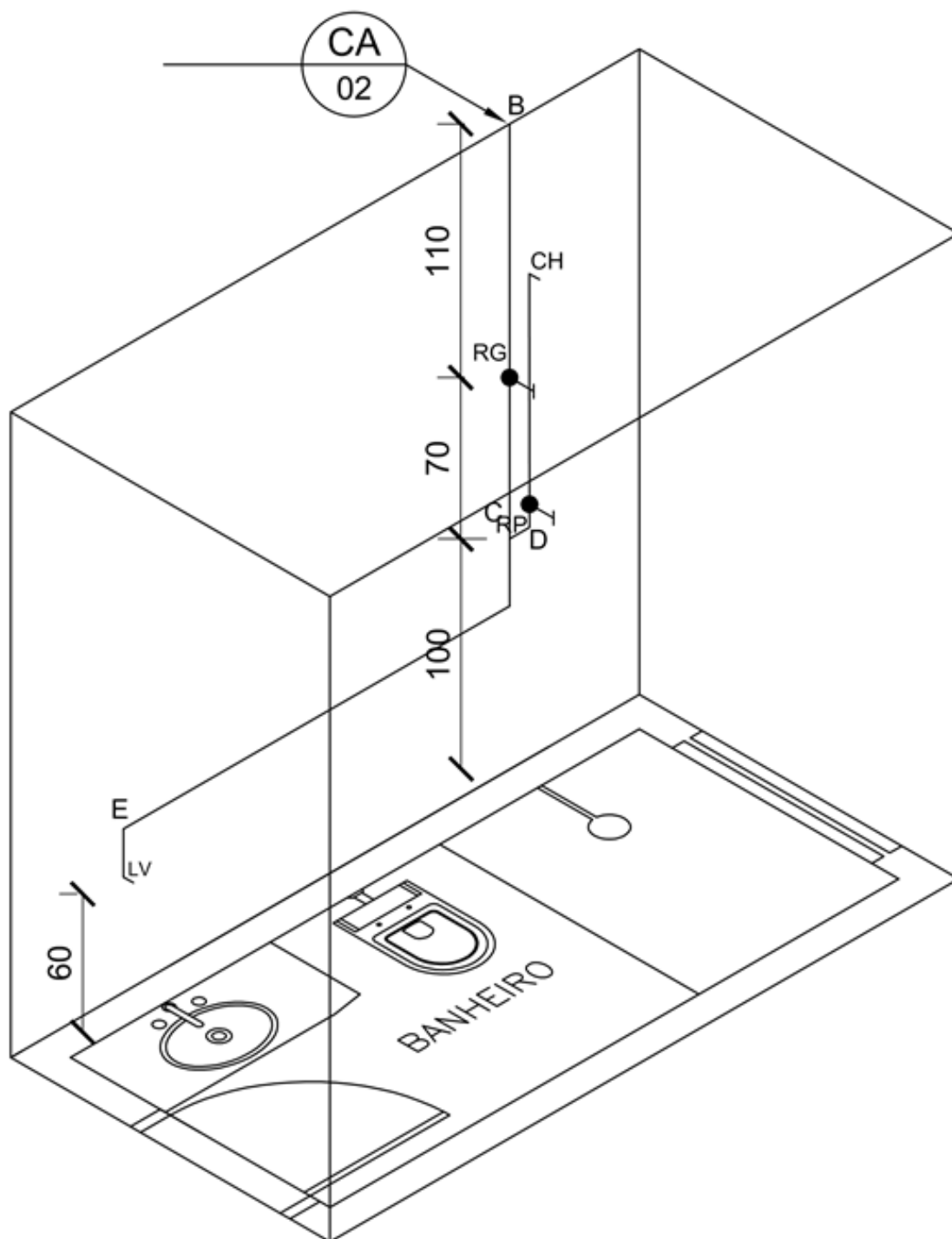
As Figuras 6, 7 e 8 mostram os desenhos isométricos, bem como a divisão de cada trecho das respectivas tubulações. É importante observar que as cotas de cada ponto também foram representadas. Não obstante, foi colocado um registro à montante de cada ramal.

Figura 6 - Desenho isométrico do banheiro localizado na suíte.



Fonte: Da autora (2019).

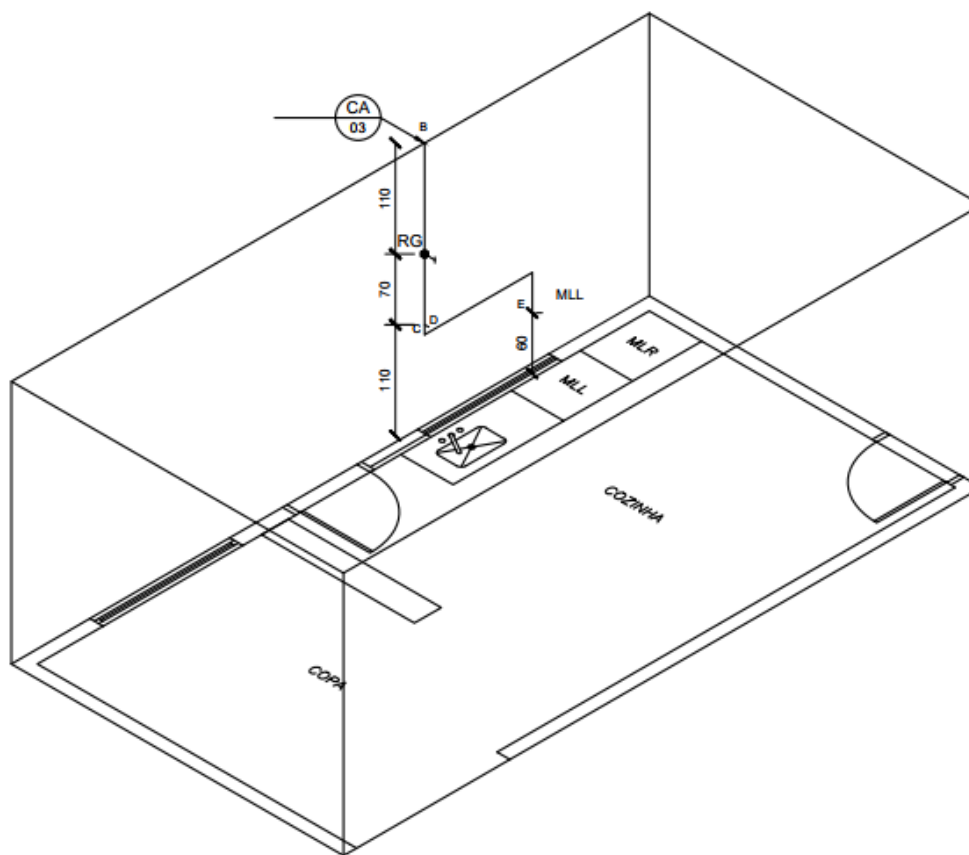
Figura 7 - Desenho isométrico do banheiro social.



Fonte: Da autora (2019).



Figura 8 - Desenho isométrico da cozinha.



Fonte: Da autora (2019).

#### 4.2. Dimensionamento

O dimensionamento dos barriletes, colunas, ramais e sub-ramais é feito de forma semelhante. Dessa forma, para se calcular as vazões que seriam demandadas por cada uma dessas tubulações, foi utilizado o Método dos Pesos Relativos, recomendado pela NBR 7198 (ABNT, 1993). O primeiro passo para a utilização de tal método, foi verificar quais peças sanitárias cada trecho de tubulação abastecia, ou seja, somou-se os pesos de todas as peças que estavam à jusante do trecho em questão. Os valores dos pesos de cada peça sanitária, foram retirados da Tabela 1.

Tabela 1 - Pesos relativos das peças sanitárias que serão utilizadas.

| Aparelho Sanitário       | Peso relativo |
|--------------------------|---------------|
| Chuveiro (CH)            | 0,40          |
| Lavadora de pratos (MLL) | 1,00          |
| Lavatório (LV)           | 0,30          |
| Pia (PIA)                | 0,70          |

Fonte: NBR 7198 (ABNT, 1998).

Tendo os valores do somatório dos pesos de cada trecho, foi possível calcular as vazões, através do uso da Equação 14.

$$Q = 0,3 \times \sum P_r \quad (14)$$

Com os respectivos valores de vazão determinados, foram estimados os valores de diâmetros nominais referentes a cada trecho, através do ábaco presente no Anexo 1. Em seguida, foram calculados, através de um Catálogo Técnico Tigre, o valor dos diâmetros internos (Anexo 2). Com tais diâmetros, foram calculadas as áreas da seção transversal de cada tubulação.

Por fim, foi calculada as velocidades da água em cada um dos trechos de tubulação, através do uso da Equação 15.

$$v = \frac{Q}{S} \quad (15)$$

Após o cálculo da velocidade, os valores obtidos foram comparados com o valor máximo normativo, citado anteriormente no item 2.4.3.

### 4.3.Cálculo dos pontos de pressão

De modo a calcular as perdas de carga nas tubulações, foram adotados o uso das fórmulas de Fair-Whipple-Hsiao e de Darcy. Porém, como nas tubulações também haviam perdas de carga localizadas, o primeiro passo realizado foi contabilizar estas perdas, com o uso do método do comprimento equivalente. Para isso, foi necessário, inicialmente, identificar as peças especiais contidas em cada um dos trechos de tubulações representados pelas Figuras 5, 6 e 7, para que fosse possível converter tais peças em comprimentos equivalentes de tubulação.

Posteriormente, por meio da tabela dos diâmetros equivalentes (Anexo C), foram consultados os valores correspondentes a cada uma das peças especiais. Foi multiplicado o valor

correspondente, encontrado na tabela, pelo diâmetro interno da tubulação naquele trecho, encontrando assim o comprimento equivalente à peça especial. Em trechos que continham mais de uma peça especial, foram somados os valores respectivos de cada peça presente no trecho, de modo a obter o comprimento equivalente total de cada trecho.

Em seguida, observou-se que em algumas partes da instalação de água quente, haviam acontecido algumas reduções no diâmetro de uma tubulação com relação à que estava ligada a ela à montante. Quando isso ocorre, há uma perda de carga adicional. A partir da mesma tabela dos diâmetros equivalentes (Anexo 3), foram calculadas as perdas de carga nos trechos em que foram identificadas tais reduções no diâmetro.

Com o auxílio do software Autodesk AutoCAD®, foram verificados, os comprimentos reais de cada um dos trechos de tubulação. Por fim, foram calculados os comprimentos virtuais, a partir da soma dos comprimentos equivalentes referente às peças especiais e às reduções e dos comprimentos reais que foram medidos.

É importante salientar que os registros de pressão não foram convertidos em comprimentos equivalentes, pois devem ser calculados por uma fórmula diferente. Dessa forma, eles foram calculados por meio da Equação 16.

$$\Delta h = 8 \times 10^5 \times K \times Q^2 \times \pi^{-2} \times D^{-4} \quad (16)$$

Sendo que:

Q: vazão dada em L/min;

D: diâmetro em milímetros.

Posteriormente, estes valores de perda de carga referente aos registros de pressão foram somados às perdas de carga calculadas através dos comprimentos virtuais.

O primeiro método a ser utilizado no cálculo da perda de carga foi a fórmula universal de Darcy-Weisbach (Equação 8).

Para a obtenção do coeficiente de atrito “f” da Equação de Darcy-Weisbach, foi verificado o regime de escoamento em relação à trajetória pelo número de Reynolds (Equação 1), sendo classificada hidraulicamente a tubulação no caso de regime turbulento. Para regimes turbulentos hidraulicamente lisos, foi utilizada a equação de Blasius (Equação 17). Para regimes turbulentos hidraulicamente mistos, foi utilizada a fórmula de Colebrook White (Equação 18).

E, por fim, para regimes turbulentos hidraulicamente rugosos foi utilizada a fórmula de Nikuradse (Equação 19).

$$f = 0,3164 \times Re^{-0,25} \quad (17)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \times \left( \frac{e}{3,71 \times D} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{f}} \right) \quad (18)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \times \left( \frac{e}{3,71 \times D} \right) \quad (19)$$

Com os valores de  $f$ , velocidade, diâmetros internos e comprimentos virtuais calculados, foi possível finalmente aplicar tais valores na Equação 9, obtendo assim, os valores de perda de carga total correspondentes a cada um dos trechos de tubulação.

Em seguida foram determinadas as perdas de carga nos trechos pela fórmula de Fair Whipple-Hsiao utilizando o coeficiente de água fria e posteriormente utilizando o coeficiente de água quente. Para isso, aplicou-se o valores de diâmetros, velocidades e comprimentos equivalentes encontrados anteriormente nas Equações 10 e 11, respectivamente.

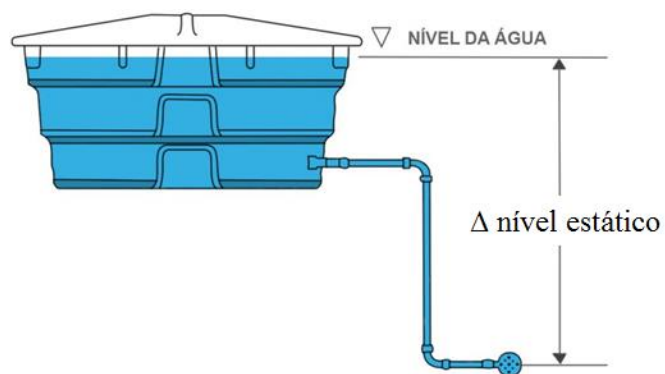
Considerando a localização da caixa d'água com relação ao piso, que pode ser visualizada no corte da edificação no Apêndice B, e o nível da água na mesma, adotou-se uma altura do nível d'água de 4,6875 metros.

Após se calcular todas as perdas de carga que ocorrem na instalação predial, foi possível se determinar as pressões nos pontos de utilização. A pressão dinâmica nos pontos de tomada de água foi calculada por meio da Equação 20.

$$P_{din} = \Delta NE - h_{acum} \quad (20)$$

Após calculadas as pressões, estas foram comparadas com o mínimo normativo de 1 mca. Para melhor visualização, essa diferença do nível estático foi representada por meio da Figura

Figura 9 - Representação da diferença do nível estático entre a caixa d'água e um ponto de tomada de água.



Fonte: Aquece Norte (2018)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para o dimensionamento das tubulações são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensionamento das instalações prediais de água quente da concepção de rede estudada.

| Coluna | Trecho | $\Sigma P$ | Q (l/s) | DN (mm) | Di (mm) | S (m <sup>2</sup> ) | v (m/s) |
|--------|--------|------------|---------|---------|---------|---------------------|---------|
| 1      | A-B    | 0,7        | 0,25    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,99    |
|        | B-C    | 0,7        | 0,25    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,99    |
|        | C-D    | 0,4        | 0,19    | 15      | 11,80   | 0,00011             | 1,73    |
|        | C-E    | 0,3        | 0,16    | 15      | 11,80   | 0,00011             | 1,50    |
| 2      | A-B    | 0,7        | 0,25    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,99    |
|        | B-C    | 0,7        | 0,25    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,99    |
|        | C-D    | 0,4        | 0,19    | 15      | 11,80   | 0,00011             | 1,73    |
|        | C-E    | 0,3        | 0,16    | 15      | 11,80   | 0,00011             | 1,50    |
| 3      | A-B    | 1,7        | 0,39    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 1,54    |
|        | B-C    | 1,7        | 0,39    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 1,54    |
|        | C-D    | 0,7        | 0,25    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,99    |
|        | C-E    | 1          | 0,30    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 1,18    |

Fonte: Da autora (2019).

Como é possível observar na Tabela 2, foram obtidos valores de velocidade aceitáveis, pois nenhum valor ultrapassou 3 m/s, que é o limite normativo recomendado. O maior diâmetro nominal obtido foi o de 22 milímetros, enquanto o menor, 15 milímetros.

A Tabela 3 mostra as peças especiais que foram identificadas em cada trecho de tubulação e seus respectivos comprimentos equivalentes e virtuais calculados.

Tabela 3 - Trechos de tubulação, suas respectivas peças especiais, comprimentos equivalentes e virtuais obtidos.

| Coluna | Trecho | Peças Especiais                                     | Leq (m) | L (m) | Lvir (m) |
|--------|--------|---|---------|-------|----------|
| 1      | A-B    | Entrada de borda, 1 curva de 45°, RG, curva de 90°  | 1,58    | 5,260 | 6,844    |
|        | B-C    | RG  | 0,14    | 1,800 | 1,944    |
|        | C-D    | RP, Tê saída lateral, joelho de 90°                 | 1,12    | 1,100 | 2,292    |
|        | C-E    | 3 curvas de 90°                                     | 1,06    | 2,350 | 3,483    |
| 2      | A-B    | Entrada de borda, 2 curvas de 45°, RG, curva de 90° | 1,85    | 2,440 | 4,294    |
|        | B-C    | RG, RP  | 1,04    | 1,800 | 2,844    |
|        | C-D    | Tê saída lateral, joelho de 90°                     | 1,12    | 1,100 | 2,292    |
|        | C-E    | 3 curvas de 90°                                     | 1,06    | 2,430 | 3,563    |
| 3      | A-B    | Entrada de borda, 1 curva de 45°, RG, curva de 90°  | 2,80    | 5,190 | 7,990    |
|        | B-C    | RG  | 0,14    | 1,800 | 1,944    |
|        | C-D    | Tê saída lateral                                    | 0,90    | 0,050 | 0,950    |
|        | C-E    | Tê saída lateral, 3 curvas de 90°                   | 2,52    | 1,732 | 4,252    |

Fonte: Da autora (2019).

Com os valores obtidos no dimensionamento, juntamente com os comprimentos virtuais calculados, foi possível calcular as perdas de carga. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos através das Equações 9, 10 e 11, respectivamente.

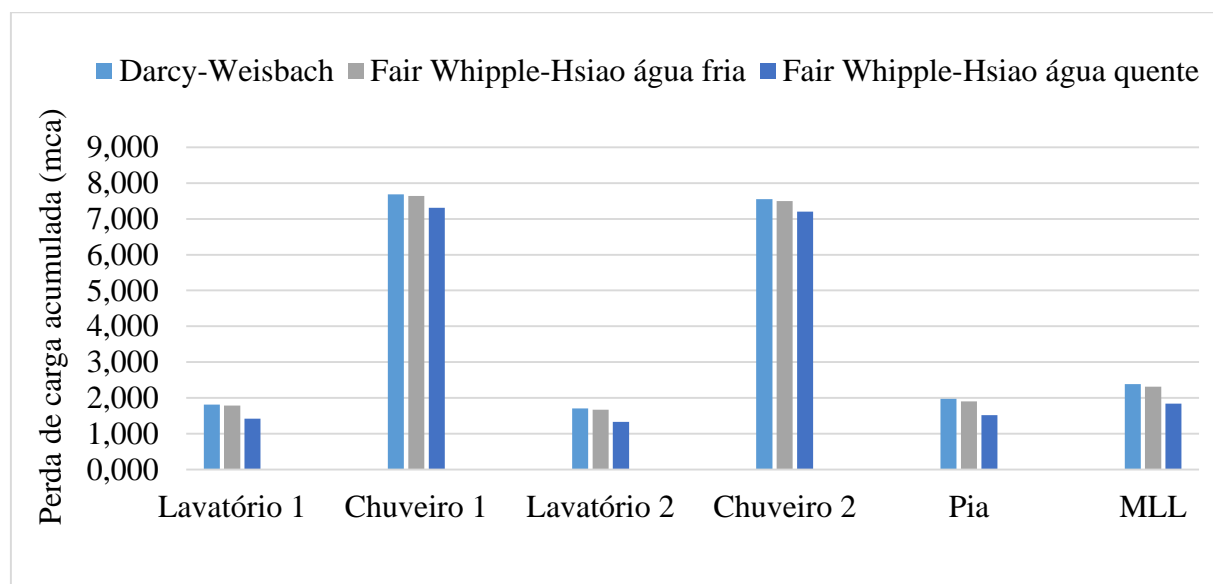
Tabela 4 - Resultado do cálculo da perda de carga em cada trecho, calculada pela equação de Darcy e pelas equações de Fair-Whipple-Hsiao utilizando o coeficiente de água fria e quente.

| Coluna | Trecho | Darcy-Weisbach | Fair-Whipple-Hsiao para água fria | Fair-Whipple-Hsiao para água quente |
|--------|--------|----------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 1      | A-B    | 0,552          | 0,577                             | 0,460                               |
|        | B-C    | 0,157          | 2,110                             | 0,131                               |
|        | C-D    | 6,978          | 6,900                             | 6,721                               |
|        | C-E    | 1,099          | 1,040                             | 0,828                               |
| 2      | A-B    | 0,347          | 0,362                             | 0,288                               |
|        | B-C    | 0,230          | 0,240                             | 0,191                               |
|        | C-D    | 6,978          | 6,900                             | 6,721                               |
|        | C-E    | 1,124          | 1,064                             | 0,847                               |
| 3      | A-B    | 1,525          | 1,464                             | 1,166                               |
|        | B-C    | 0,371          | 0,356                             | 0,284                               |
|        | C-D    | 0,077          | 0,080                             | 0,064                               |
|        | C-E    | 0,485          | 0,490                             | 0,390                               |

Fonte: Da autora (2019).

Por meio da análise dos desenhos isométricos (Figuras 5, 6 e 7), juntamente à Tabela 5, foram somadas as perdas de carga que se acumularam até cada ponto de tomada de água. A Figura 10 mostram os resultados obtidos de perda de carga acumulada.

Figura 10. Perda de carga acumulada nos pontos de tomada de água



Fonte: Da autora (2019).



Com a análise da Figura 10 é possível constatar que em todos os pontos de utilização foram obtidos perdas de carga maiores no método de Fair-Whipple-Hsiao para água fria, se comparado ao mesmo método com o coeficiente específico para a água quente. Tais resultados podem ser correlacionados com os conceitos de viscosidade. Segundo Potter, Wiggert e Ramadan (2014), a viscosidade da água, é uma propriedade do fluido responsável por impor uma certa dificuldade ao movimento do fluido, estando diretamente relacionada com a perda de energia que ocorre durante o transporte dos fluidos. Dessa forma, quanto maior for a viscosidade, maior será também sua perda de carga.

Ainda segundo Potter, Wiggert e Ramadan (2014) quanto maior a temperatura de um fluido líquido, menor será sua viscosidade. Logo, é natural que um método que não considere o aquecimento da água, como o de Fair-Whipple-Hsiao para água fria, apresente resultados maiores de perda de carga, pois acaba por majorar a viscosidade.

Entretanto, por meio do uso da fórmula universal de Darcy-Weisbach foram obtidas perdas de carga ainda maiores que as calculadas por Fair-Whipple-Hsiao para água fria, mesmo tendo sido considerado o aquecimento da água no cálculo do coeficiente de atrito  $f$ , no qual foi utilizado o valor da viscosidade da água à 80 °C. Matematicamente, para entender o porquê isso ocorreu, é necessário primeiramente desmembrar a equação de Darcy-Weisbach, de modo que ela apresente as mesmas variáveis da fórmula de Fair-Whipple-Hsiao para água fria, facilitando a comparação dos métodos. A Equação 19 mostra a Equação de Darcy-Weisbach desmembrada de uma forma semelhante à fórmula de Fair-Whipple-Hsiao.

$$h = \left( \frac{8 \times f}{\pi^2 \times g} \right) \times \frac{Q^2}{D^5} \times L \quad (19)$$

Ao compararmos a Equação 9 com a Equação 19, é possível perceber que o diâmetro na Equação de Darcy-Weisbach é elevado a quinta potência, enquanto na Equação de Fair-Whipple-Hsiao o diâmetro é elevado a 4,75. Como foram obtidos diâmetros relativamente pequenos e essa grandeza se encontra no denominador, é natural que, a perda de carga na Equação de Darcy-Weisbach se torne maior que os obtidos por meio de Fair-Whipple-Hsiao. Não obstante, a Equação 9, eleva a vazão a 1,75 enquanto a Equação 19, eleva a 2, contribuindo ainda mais para que sejam obtidos valores maiores de perda de carga por meio de Darcy-Weisbach, mesmo este método tendo considerado o aquecimento da água.

Porém, a explicação para obtenção desses valores maiores para Darcy-Weisbach não é só essa. A partir da análise da Equação 19, é possível perceber que a primeira parte da equação que se encontra entre parênteses representa o coeficiente da equação. Como pode-se constatar, tal coeficiente é variável, ou seja, para cada trecho, com seus respectivos valores de vazões, diâmetros e comprimentos, ele possuirá um valor diferente. A Tabela 5 mostra os valores dos coeficientes da equação de Darcy-Weisbach obtidos em cada trecho, a partir do dimensionamento.

Tabela 5 - Coeficientes da equação de Darcy obtidos no 1º dimensionamento da instalação de água quente.

| Trecho da instalação | Coeficiente |
|----------------------|-------------|
| A-B                  | 0,00242113  |
| B-C                  | 0,00242113  |
| C-D                  | 0,00265423  |
| C-E                  | 0,00267324  |
| A-B                  | 0,00242113  |
| B-C                  | 0,00242113  |
| C-D                  | 0,00265423  |
| C-E                  | 0,00267324  |
| A-B                  | 0,00235665  |
| B-C                  | 0,00235665  |
| C-D                  | 0,00242113  |
| C-E                  | 0,00239302  |

Da autora (2019).

O coeficiente da Equação de Fair-Whipple-Hsiao é constante e igual a 0,000869, conforme pode-se verificar na Equação 9. Logo, é possível constatar que todos os coeficientes do método de Darcy-Weisbach são maiores que o de Fair-Whipple-Hsiao.

O fato do método de Darcy-Weisbach possuir valores maiores nos expoentes do diâmetro e da vazão, bem como o fato de possuir valores de coeficientes maiores para todos os trechos acabou compensando a do fato de Fair-Whipple-Hsiao para água fria, não levar em conta o aquecimento da água.

Bernardo, von Bernuth e Gomes (1989; 1990; 1997 citado por MELLO; CARVALHO, 1998), citam a equação de Darcy-Weisbach como a mais precisa para este cálculo, pois envolve todas as variáveis hidráulicas para determinação da perda de carga. Devido a isso, o método de Darcy-Weisbach é o que traz maior confiabilidade e por isso é considerado a fórmula padrão. Tendo isso em vista, de modo a obter uma análise comparativa mais clara, a Tabela 6 mostra as

porcentagens de aumento ou diminuição da perda de carga dos métodos Fair-Whipple-Hsiao para água fria e quente com relação à fórmula de Darcy-Weisbach.

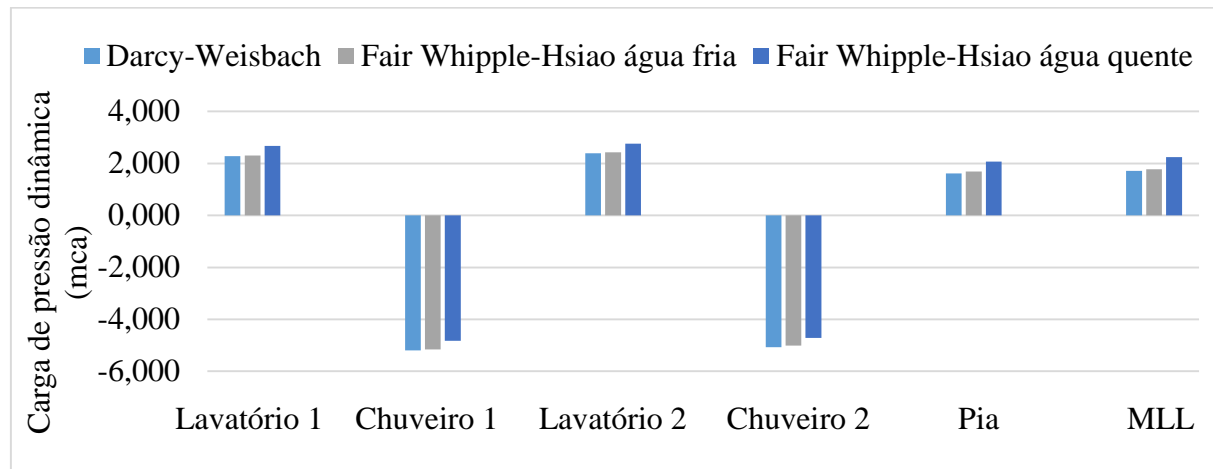
Tabela 6 - Variação em porcentagem das equações de Fair-Whipple-Hsiao para água quente e fria com relação à fórmula de Darcy-Weisbach.

| Coluna | Trecho                  | Fair-Whipple-Hsiao água fria | Fair-Whipple-Hsiao água quente |
|--------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1      | Lavatório 1             | -0,73%                       | -10,39%                        |
|        | Chuveiro 1              | -1,26%                       | -10,40%                        |
| 2      | Lavatório 2             | -0,95%                       | -10,26%                        |
|        | Chuveiro 2              | -1,48%                       | -10,16%                        |
| 3      | Pia                     | -3,63%                       | -23,26%                        |
|        | Máquina de lavar louças | -2,94%                       | -22,71%                        |

Fonte: Da autora (2019).

A Figura 11 por sua vez mostra os resultados obtidos de pressões nos pontos de tomada de água.

Figura 11 - Pressões restantes nos pontos de tomada de água.



Fonte: Da autora (2019).

Por meio da análise da Figura 11, é possível perceber que as maiores pressões foram obtidas com o uso do método de Fair-Whipple-Hsiao específico para água quente. Como o cálculo das pressões é feito por meio da carga de pressão estática subtraída da perda de carga acumulada até o ponto de análise, tal constatação já era esperada, visto que foi através desse método que foram encontradas as menores perdas de carga.

A NBR 7198 (ABNT, 1993) recomenda pressões mínimas nos pontos de tomada de água de 1 mca. Analisando-se a Figura 8B, pode-se observar que mediante a todos os métodos foram encontradas pressões suficientes em apenas dois pontos. Logo, foi necessário redimensionar a instalação predial.

O redimensionamento da tubulação deve-se iniciar no sentido da montante para a jusante. Dessa forma, testou-se primeiro mudar apenas o diâmetros dos barriletes da coluna 1 e 2 (trecho A-B), e também os diâmetros das colunas 1 e 2. Os diâmetros foram alterados de 22 para 28 milímetros. Como ainda não foram obtidas pressões suficientes, os trechos C-D e C-E, também foram redimensionados, passando de 15 para 22 milímetros. A Tabela 7 mostra os resultados do redimensionamento instalação.

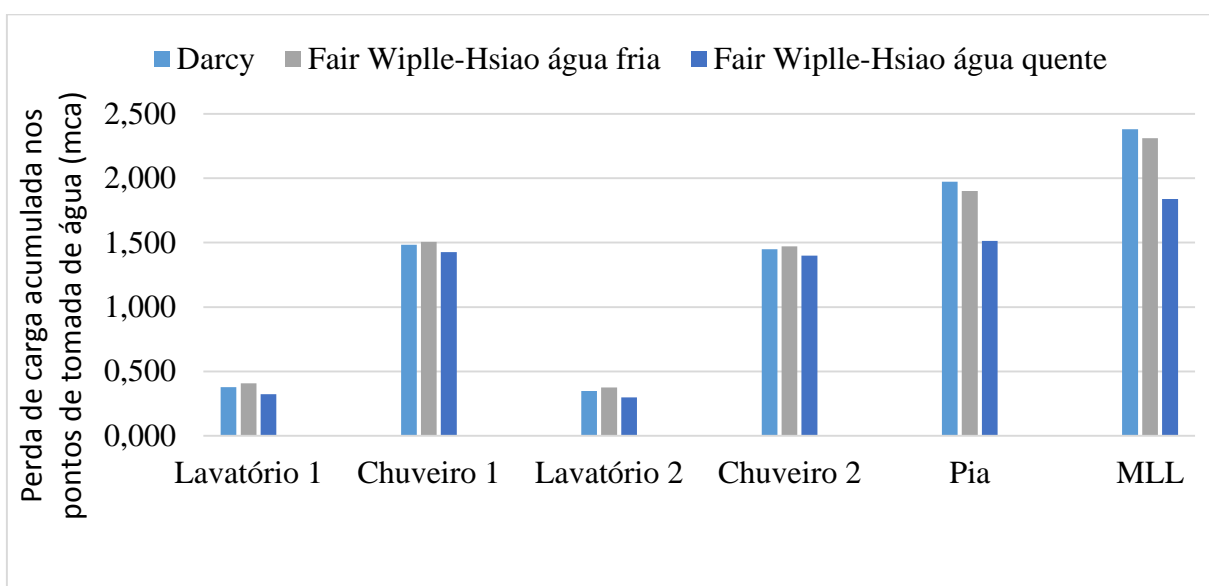
Tabela 7 - Resultados obtidos no redimensionamento das instalações prediais de água quente.

| Coluna | Trecho | $\Sigma P$ | Q (l/s) | DN (mm) | Di (mm) | S (m <sup>2</sup> ) | v (m/s) |
|--------|--------|------------|---------|---------|---------|---------------------|---------|
| 1      | A-B    | 0,7        | 0,25    | 28      | 23,00   | 0,00042             | 0,60    |
|        | B-C    | 0,7        | 0,25    | 28      | 23,00   | 0,00042             | 0,60    |
|        | C-D    | 0,4        | 0,19    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,75    |
|        | C-E    | 0,3        | 0,16    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,65    |
| 2      | A-B    | 0,7        | 0,25    | 28      | 23,00   | 0,00042             | 0,60    |
|        | B-C    | 0,7        | 0,25    | 28      | 23,00   | 0,00042             | 0,60    |
|        | C-D    | 0,4        | 0,19    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,75    |
|        | C-E    | 0,3        | 0,16    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,65    |
| 3      | A-B    | 1,7        | 0,39    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 1,54    |
|        | B-C    | 1,7        | 0,39    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 1,54    |
|        | C-D    | 0,7        | 0,25    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 0,99    |
|        | C-E    | 1          | 0,30    | 22      | 18,00   | 0,00025             | 1,18    |

Fonte: Da autora (2019).

A partir desses diâmetros foram obtidas novamente as perdas de carga acumuladas nos pontos de tomada de água. A Figura 12 mostra os resultados obtidos.

Figura 12 - Perda de carga acumulada nos pontos de tomada de água.



Fonte: Da autora (2019).

A Tabela 8 mostra o novo comparativo das fórmulas de Fair-Whipple-Hsiao para água quente e fria com relação ao método padrão.

Tabela 8 - Variação em porcentagem das equações de Fair-Whipple-Hsiao para água quente e fria com relação à fórmula de Darcy.

| Coluna | Trecho                  | Fair Whipple-Hsiao água fria | Fair Whipple-Hsiao água quente |
|--------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1      | Lavatório 1             | 2,55%                        | -4,93%                         |
|        | Chuveiro 1              | 2,16%                        | -5,14%                         |
| 2      | Lavatório 2             | 2,51%                        | -4,59%                         |
|        | Chuveiro 2              | 2,09%                        | -4,78%                         |
| 3      | Pia                     | -3,63%                       | -23,26%                        |
|        | Máquina de lavar louças | -2,94%                       | -22,71%                        |

Fonte: Da autora (2019).

Como pode-se analisar por meio da Figura 12 e da Tabela 8, houve uma mudança na comparação dos resultados obtidos anteriormente ao redimensionamento. Nas colunas 1 e 2, que foram redimensionadas, as perdas de carga acumuladas calculadas pelo método de Fair-Whipple-Hsiao para água fria foram maiores que as de Darcy. Isso aconteceu porque os coeficientes de Darcy, por serem variáveis, se alteraram, contribuindo para que as perdas de carga se tornassem menores, se comparadas às de Fair-Whipple-Hsiao. Além disso, como os

diâmetros aumentaram, aliado ao fato da equação de Darcy–Weisbach possuir expoentes maiores, se tornou menos significativo agora.

A Tabela 9 mostra os novos resultados para os coeficientes da equação de Darcy, obtidos no redimensionamento.

Tabela 9 - Coeficientes da equação de Darcy obtidos no 2º dimensionamento da instalação de água quente.

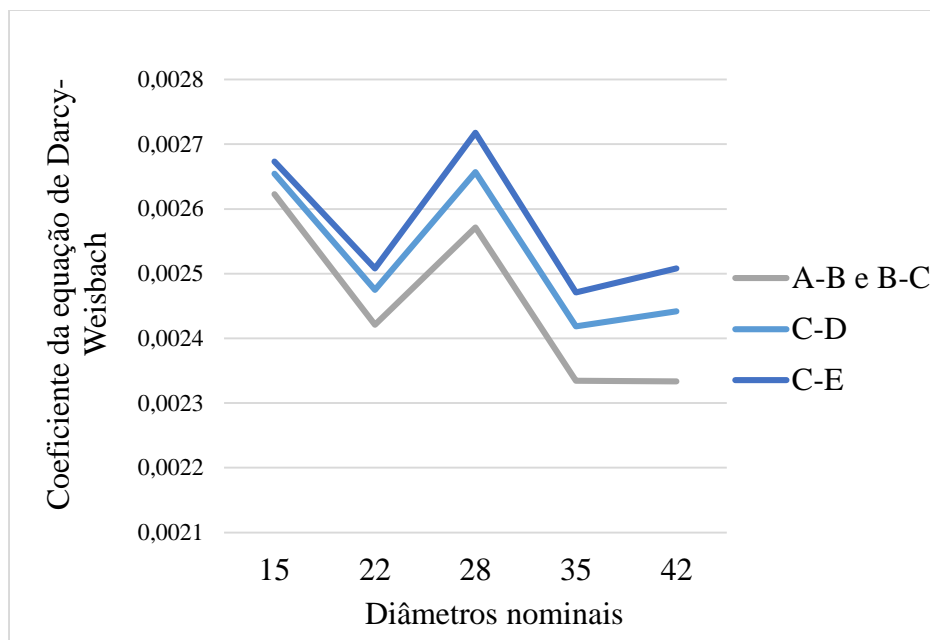
| Trecho da instalação | Coeficiente |
|----------------------|-------------|
| A-B                  | 0,00257157  |
| B-C                  | 0,00257157  |
| C-D                  | 0,00247486  |
| C-E                  | 0,00250792  |
| A-B                  | 0,00257157  |
| B-C                  | 0,00257157  |
| C-D                  | 0,00247486  |
| C-E                  | 0,00250792  |
| A-B                  | 0,00235665  |
| B-C                  | 0,00235665  |
| C-D                  | 0,00242113  |
| C-E                  | 0,00239302  |

Fonte: Da autora (2019).

Comparando-se a Tabelas 5 e 9 é possível perceber que onde ocorreram novos dimensionamentos, os coeficientes de Darcy, em sua maioria, tiveram uma redução, comprovando que as alterações ocorridas nos coeficientes de Darcy contribuíram para a obtenção de perdas de carga menores comparadas às obtidas por Fair-Whipple-Hsiao para água fria.

Na Figura 13 pode-se visualizar um gráfico que mostra o comportamento dos coeficientes de  $f$  em cada trecho em função da mudança do diâmetro da tubulação, e conseqüentemente mudança também no número de Reynolds. Os dados utilizados para a elaboração da Figura 13 são referentes à coluna de água 1.

Figura 13 - Coeficiente da equação de Darcy-Weisbach em função dos diâmetros.



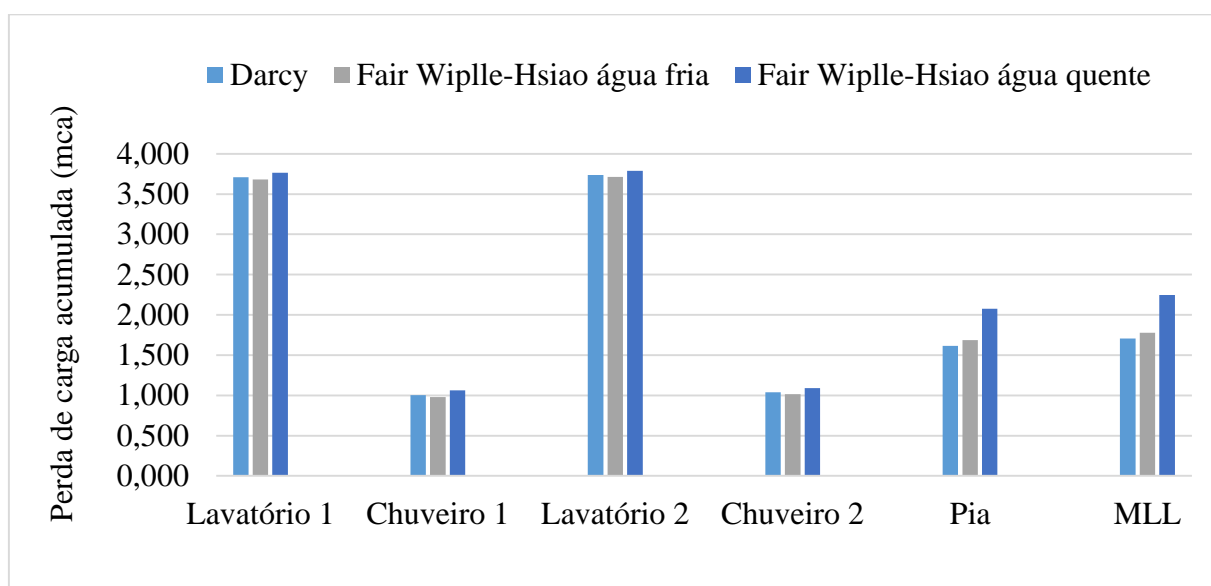
Fonte: Da autora (2019).

Tais resultados mostram que a fórmula universal de Darcy-Weisbach possui diferentes comportamentos para diferentes números de Reynolds, e que a mudança que ocorreu na comparação dos métodos utilizados, é coerente. Além disso, por mostrar a inconstância no comportamento do escoamento, a Figura 13 reafirma a confiabilidade da fórmula de Darcy-Weisbach, pois, é a única fórmula, dentre as estudadas, que leva em conta as especificidades do escoamento.

Os valores de perda de carga obtidos por meio de Fair-Whipple-Hsiao para água quente continuaram sendo os menores, porém, as porcentagens de redução com relação à fórmula padrão se tornaram menores, isso porque os valores de perda de carga calculados pelo método de Darcy-Weisbach diminuíram de forma mais significativa com o redimensionamento, devido à sua mudança de comportamento.

A Figura 14 mostra os valores de carga de pressão dinâmica obtidos após o redimensionamento.

Figura 14 - Perda de carga acumulada nos pontos de tomada de água.



Fonte: Da autora (2019).

Com base na Figura 14, é possível perceber que o redimensionamento tornou as pressões em todos os pontos de tomada de água maiores do que 1 mca para os métodos de Darcy-Weisbach e Fair-Whipple-Hsiao. Logo, foram obtidas pressões suficientes para o bom funcionamento do sistema, através desses dois métodos. Porém, por meio da fórmula de Fair-Whipple-Hsiao para água fria, não se chegou a uma pressão suficiente no chuveiro 1, o que levaria a um novo redimensionamento da instalação.

Visto que foram obtidos um dimensionamento idêntico tanto para o método de Darcy-Weisbach, como para o de Fair-Whipple-Hsiao para água quente, é possível reafirmar a vantagem do uso do método universal, tanto com relação à segurança que ele oferece, quanto à sua precisão, no sentido de não majorar o dimensionamento desnecessariamente.

Já o uso da fórmula de Fair-Whipple-Hsiao específico para água fria em uma instalação predial de água quente, se mostrou pouco adequado, visto que não considera o aquecimento da água, e, conseqüentemente, majora desnecessariamente os diâmetros. Assim, o uso desse método para uma instalação de água quente se mostra pouco econômico. Não obstante, um diâmetro desnecessariamente grande, reduz a velocidade do escoamento, que, em certos casos, pode fazer com que a água esfrie até o ponto de utilização, gerando desconforto aos usuários.

Como comparação, o trabalho de Cenci et al. (2015) quantificou as perdas de carga distribuídas em laboratório, porém em condutos forçados. Tais valores foram comparados com os obtidos através de fórmulas empíricas e analíticas. Os valores obtidos em laboratório



chegaram mais próximos da fórmula de universal de Darcy-Weisbach. Tal fato só comprova mais uma vez a confiabilidade de tal método.

Além disso, com relação às fórmulas empíricas, foram analisadas as equações de Fair-Whipple-Hsiao e de Hazen-Williams. Os resultados mostraram que a de Fair-Whipple-Hsiao se mostrou mais próxima dos valores obtidos experimentalmente. No experimento, foram testados valores de diâmetros 21,5 e 27 milímetros, valores estes muito parecidos com os dimensionados neste presente trabalho (CECI et al., 2015). Tal resultado reafirma que também se é adequado utilizar as Equações de Fair-Whipple-Hsiao para pequenos diâmetros - utilizando-se o coeficiente adequado para a instalação - como é o caso de uma instalação predial de pequeno porte.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos permitiram uma ampla comparação entre os métodos, e ressaltou a importância de se considerar a maior temperatura da água, numa instalação de água quente. A água em temperatura aquecida possui uma menor viscosidade, e conseqüentemente uma menor perda de carga. Tendo isso em vista, não considerar o aquecimento da água ao se utilizar uma fórmula inadequada, como é o caso da Equação de Fair-Whipple-Hsiao para água fria, pode ser um grande equívoco.

Como visto no segundo dimensionamento da instalação, tendo como base apenas a Equação de Fair-Whipple-Hsiao para água fria, seria necessário redimensionar novamente a instalação, isso geraria altos custos e, ainda, poderia fazer com que a velocidade do escoamento diminuísse drasticamente, fazendo com que a temperatura no ponto de tomada de água não chegasse com a temperatura esperada.

Além disso, o dimensionamento, bem como o redimensionamento, mostraram que os escoamentos possuem diferentes comportamentos para diferentes intervalos de número de Reynolds. Não obstante, foi constatado que a fórmula que melhor considera tais inconstâncias é a de Darcy-Weisbach, devido ao fato de ela ter um coeficiente variável, que depende de todas as variáveis envolvidas. Não obstante, os resultados mostraram que, apesar de Darcy-Weisbach proporcionar valores maiores de perda de carga se comparados aos obtidos por meio de Fair-Whipple-Hsiao para água quente, esse método proporcionou um dimensionamento idêntico ao de Fair-Whipple-Hsiao. Isso mostra que além de ser uma método extremamente confiável, ele ainda não majora, desnecessariamente, os valores de diâmetro.

Diante disso, para instalações prediais de água quente de pequeno porte, as fórmulas de Darcy-Weisbach e de Fair-Whipple-Hsiao para água quente, são adequadas para serem utilizadas. Porém, se for uma instalação de diâmetros muito grandes, não é possível prever como seria o comportamento da Equação de Fair-Whipple-Hsiao para água quente, devido a isso, seria mais recomendado o uso da fórmula universal.

**REFERÊNCIAS**

**Autodesk AutoCAD 2019** ®. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/autocad/free-trial>>. Acesso em 20 de julho de 2019.

ASSOCIASSÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198**. Projeto e execução de instalações prediais de água quente. 1993.

AZEVEDO NETTO J. M.; FERNÁNDEZ M. F. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blücher, 2015.

BAPTISTA M. B.; COELHO, M. M. L. P. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 4. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2016.

BOTELHO M. H. C.; RIBEIRO JR. G. A. **Instalações Hidráulicas Prediais: Usando Tubos de PVC e PPR**. São Paulo: Blücher, 2015.

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

CARVALHO JÚNIOR R. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. 7. ed. São Paulo: Blücher, 2013.

CENCI C. S.; SILVA A. F.; KIYOTANI M. S. M.; TAMIOSSO M. F. **Análise do desempenho das equações usuais de perda de carga distribuída em tubulações de PVC**. VII Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. Alegrete, 2015. Anais. Alegrete: Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2015.

ÇENGEL Y.A.; CIMBALA J.M. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**. 3 ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.

FOX R. W.; MCDONALD A. T.; PRITCHARD P. J.; LEYLEGIAN J. C. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

GRIBBIN J. E. **Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

HIBBELER R.C. **Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

LENCASTRE, **Armando**. **Manual de Hidráulica geral**. São Paulo: Blücher, 1972.

MACINTYRE A.J. **Instalações Hidráulicas: Prediais e Industriais**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MELLO C. R.; CARVALHO J. A. **Análise da equação de perda de carga de Hazen-Williams, associada aos regimes hidráulicos para tubos de PVC e polietileno de pequeno diâmetro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.3, p.247-252, 1998 Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

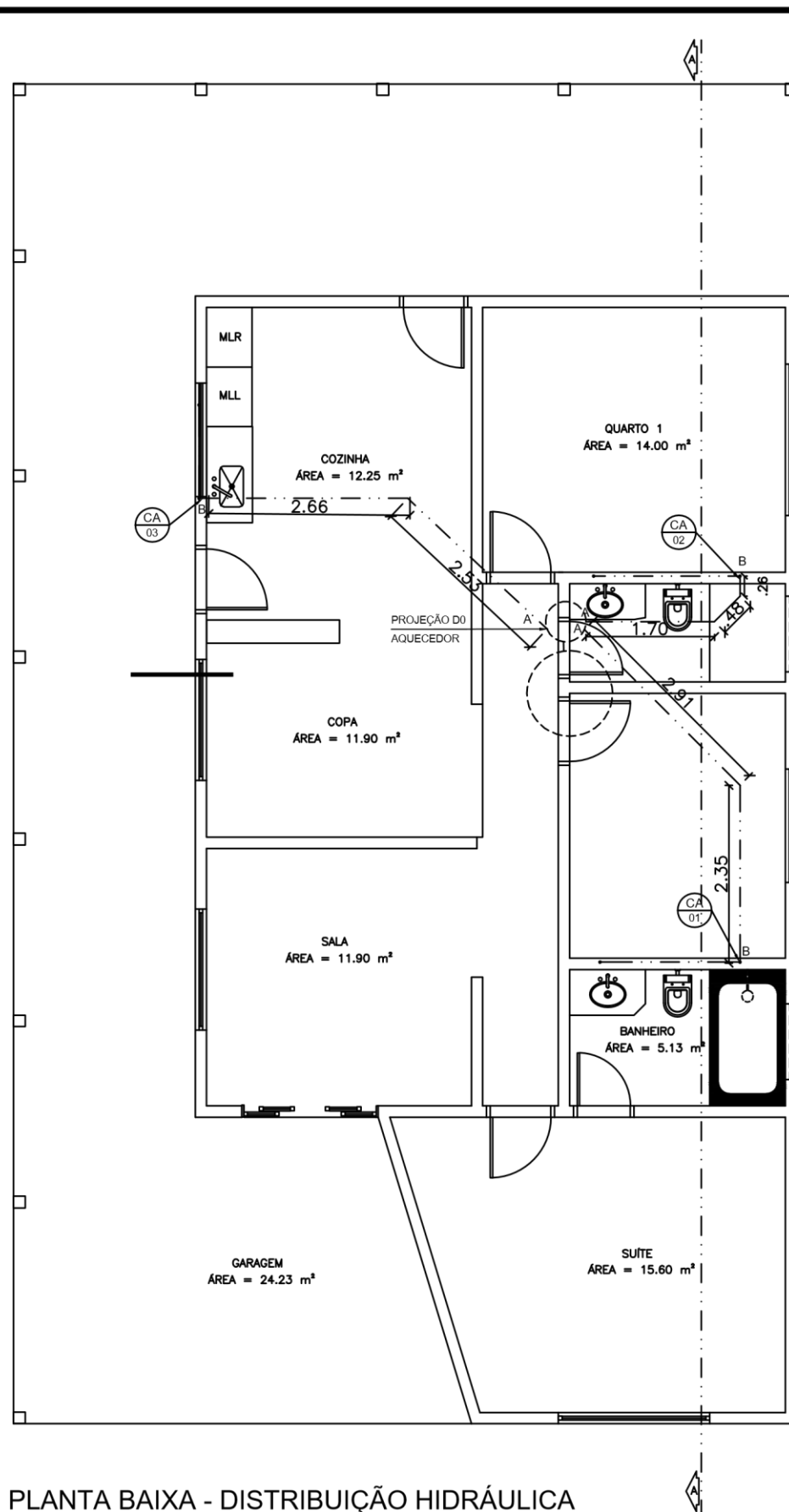
MUNSON B. R.; YOUNG D. F.; OKIISHI T. H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: Blücher, 2004.

PORTO R.M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.

POTTER M; WIGGERT D. C.; RAMADAN B. **Mecânica dos Fluidos**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

PREDIAL AQUATHERM. **Catálogo técnico Tigre**. Disponível em: <<https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ctaquaterm.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

## APÊNDICE A – Planta Baixa



PLANTA BAIXA - DISTRIBUIÇÃO HIDRÁULICA

ESCALA: 1:50



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

DISCIPLINA: Trabalho de Conclusão de Curso

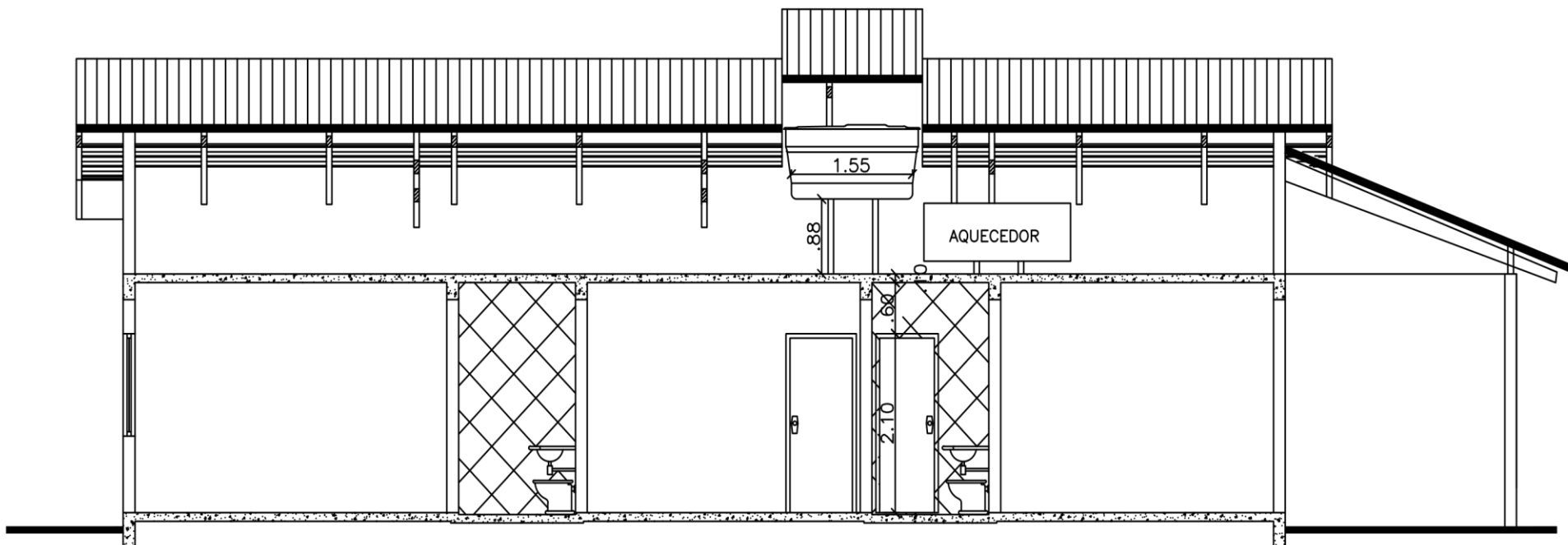
DOCENTE: Michael Silveira Thebaldi

ASSUNTO: Instalação Hidráulica Predial de Água Quente

ESCALA: 1:75

ALUNO: Valentina Mendes Álvares

APÊNDICE B – Corte



CORTE LONGITUDINAL AA

ESCALA: 1:50



UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

DISCIPLINA: Trabalho de Conclusão de Curso

DOCENTE: Michael Silveira Thebaldi

ASSUNTO: Instalação Hidráulica Predial de Água Quente

ESCALA: 1:75

ALUNO: Valentina Mendes Álvares

## ANEXO A – Ábaco simplificado

Tabela A1 - Diâmetros em função da vazão.

|                |   |       |     |       |     |       |     |        |    |        |    |
|----------------|---|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|----|--------|----|
| Soma dos pesos | 0 | ↔     | 0,6 | ↔     | 2,9 | ↔     | 8,2 | ↔      | 18 | ↔      | 35 |
| Soldável (mm)  |   | 15 mm |     | 22 mm |     | 28 mm |     | 35 mm  |    | 42 mm  |    |
| Roscável (pol) |   | 1/2"  |     | 3/4"  |     | 1"    |     | 1 1/4" |    | 1 1/2" |    |

Fonte: Carvalho Júnior (2013).

## ANEXO B – Diâmetro interno em função dos dados do fabricante

Tabela A2 - Dados para o cálculo do diâmetro interno.

| DIMENSÕES (mm) |          |          |          |          |          |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cotas          | DN 15    | DN 22    | DN 28    | DN 35    | DN 42    |
| DE             | 15       | 22       | 28       | 34,9     | 41,3     |
| e              | 1,6      | 2        | 2,5      | 3,2      | 3,8      |
| L              | 3000     | 3000     | 3000     | 3000     | 3000     |
| Código         | 17000152 | 12000225 | 17000284 | 17001086 | 17001108 |

Fonte: Catálogo Técnico Tigre – Predial Aquatherm.

Sendo:

DE: diâmetro externo

e: espessura do tubo

L: Comprimento da tubulação



## ANEXO C – Comprimentos equivalentes expressos em números de diâmetros

Tabela A3 – Peças especiais e seus respectivos comprimentos virtuais

| Peça                       | Comprimentos virtuais expressos em diâmetros (números de diâmetros) |
|----------------------------|---|
| Ampliação gradual          | 12  |
| Cotovelo de 90°            | 45  |
| Cotovelo de 45°            | 20  |
| Curva de 90°               | 30  |
| Curva de 45°               | 15  |
| Entrada normal             | 17  |
| Entrada de Borda           | 35  |
| Junção                     | 30  |
| Redução Gradual            | 6   |
| Registro de gaveta, aberto | 8   |
| Registro de globo, aberto  | 350   |
| Registro de ângulo, aberto | 170   |
| Saída de canalização       | 35  |
| Tê, passagem direta        | 20  |
| Tê, saída lateral          | 50  |
| Tê, saída bilateral        | 65  |
| Válvula-de-pé e crivo      | 250   |
| Válvula de retenção        | 100   |

Fonte: Azevedo Netto; Fernández (2015)