



PEDRO HENRIQUE BARBOSA MORI

**COMPARAÇÃO TÉCNICA E ORÇAMENTÁRIA DE UMA
INSTALAÇÃO HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA
QUENTE COM MATERIAIS DE TUBULAÇÃO
DISTINTOS**

LAVRAS - MG

2019

PEDRO HENRIQUE BARBOSA MORI

**COMPARAÇÃO TÉCNICA E ORÇAMENTÁRIA DE UMA INSTALAÇÃO
HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE COM MATERIAIS DE
TUBULAÇÃO DISTINTOS**

**TECHNICAL AND BUDGETARY COMPARISON OF HOT WATER
BUILDING INSTALLATION DESIGNED WITH DISTINCT PIPINGS
MATERIALS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, submetida à banca examinadora como parte das exigências para a conclusão do curso de Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador

Mateus Alexandre da Silva

Coorientador

LAVRAS - MG

2019

PEDRO HENRIQUE BARBOSA MORI

**COMPARAÇÃO TÉCNICA E ORÇAMENTÁRIA DE UMA INSTALAÇÃO
HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE COM MATERIAIS DE
TUBULAÇÃO DISTINTOS**

**TECHNICAL NA BUDGETARY COMPARISON OF HOT WATER
HYDRAULIC INSTALLATION DESIGNED WITH DIFFERENT PIPINGS
MATERIALS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, submetida à banca examinadora como parte das exigências para a conclusão do curso de Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 08 de novembro de 2019.

Dr. Michael Silveira Thebaldi – DRS – UFLA

Lis Ordones Lemos – DRS – UFLA

Mateus Alexandre da Silva – DRS – UFLA

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador

Mateus Alexandre da Silva

Coorientador

LAVRAS - MG

2019

AGRADECIMENTOS

À Deus que me guiou durante essa caminhada e me deu forças para que chegasse até mais este momento de vitória.

Aos meus pais, Miriam e Welton que estiveram comigo em todos os momentos, compartilhando as dificuldades e felicidades. Agradeço por todo amor que me deram, todos os ensinamentos que compartilharam, todo o investimento que fizeram e todo o tempo que se dedicaram a mim. A eles, serei eternamente grato.

À minha namorada, Isadora, e seus pais que me apoiaram e me ajudaram em muitos momentos na vida, assim como em diversos momentos na universidade.

Aos meus colegas, que estiveram comigo desde o início da caminhada, onde passamos, juntos, por atribulações e vitórias. Agradeço por muitos se tornarem amigos verdadeiros, que levarei para o resto da vida.

Ao meu professor, Michael, pela orientação, toda ajuda e paciência durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sempre disposto a me atender prontamente, foi uma peça chave para esta realização.

Ao corpo docente do curso de Engenharia Civil da universidade, por todos os conhecimentos compartilhados, por toda trajetória que vivemos juntos e por sempre buscarem oferecer mais que o previsto.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de me tornar um profissional qualificado e de fazer parte de sua história.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Pretendeu-se, neste trabalho, estabelecer um comparativo técnico e orçamentário no quesito de instalação hidráulica predial de água quente, que foi realizado comparando-se dois materiais utilizados para tubulação: Cobre e o Cloreto de Polivinil Clorado (CPVC), tendo como justificativa que estes são os materiais mais utilizados no Brasil, quando se trata de escoamento de água quente em instalações prediais. Para tal, realizou-se um dimensionamento de uma instalação hidráulica predial para água quente, tendo como base uma residência padrão. O funcionamento hidráulico do sistema, com ambos os materiais, foi verificado, assim como suas perdas de carga. Ademais, levantou-se o material necessário para a execução do projeto e um orçamento para a execução com cada material foi desenvolvido, posteriormente foram comparados entre si. Dessa forma, verificou-se que o cobre possui melhor desempenho hidráulico em comparação ao CPVC, chegando ter perda de carga reduzida quase à metade quando comparado ao seu concorrente de mercado. Porém, também foi verificado que o CPVC possui um custo menor entre suas peças e tubulações, o que leva ao mesmo resultado quanto à execução do projeto, inferior cerca de dois terços em comparação ao uso do cobre. Tendo um comportamento hidráulico satisfatório, o CPVC se demonstrou uma melhor opção de desenvolvimento de projeto, quando comparado com o Cobre.

Palavras-chave: CPVC. Cobre. Desempenho hidráulico. Tubo. Dimensionamento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. Objetivo geral.....	9
2.2. Objetivos específicos.....	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
3.1. Propriedades da água.....	10
3.2. Regimes de escoamento.....	11
3.3. Equação da continuidade.....	13
3.4. Equação de Bernoulli.....	13
3.5. Condutos sob pressão.....	14
3.5.1. Perda de carga.....	15
3.6. Dimensionamento das tubulações de água quente.....	17
3.6.1. Pesos das peças.....	17
3.6.2. Vazão.....	18
3.6.3. Comprimento da tubulação.....	18
3.7. Materiais utilizados em instalações hidráulicas de água quente.....	20
3.7.1. Cobre.....	20
3.7.2. Cloreto de Polivinil Clorado (CPVC).....	20
3.7.3. Polipropileno Copolímero Random (PPR).....	21
3.7.4. Polietileno Reticulado (PEX).....	21
3.7.5. Polibutileno (PB).....	21
3.7.6. Isolantes Térmicos.....	22
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1. Apresentação da edificação.....	23
4.2. Elaboração dos traçados.....	23
4.3. Dimensionamento dos trechos.....	23

4.4.	Cálculo das perdas de cargas	26
4.5.	Verificação do desempenho.....	27
4.6.	Verificação do material necessário.	27
4.7.	Tomada de preços.....	28
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1.	Obtenção das perdas de cargas	29
5.2.	Verificação do desempenho.....	33
5.3.	Comparação orçamentária	34
6.	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS	38
	APÊNDICE A.....	40
	APÊNDICE B.....	42
	APÊNDICE C.....	43
	APÊNDICE D.....	47

1. INTRODUÇÃO

Há, atualmente, uma grande preocupação com a busca de fontes renováveis de energia. Sendo assim, a utilização de métodos alternativos para aquecimento de água que visa a substituição da energia elétrica está cada vez mais comum, como é o caso dos aquecedores solares.

Junto com o desenvolvimento dessas tecnologias de aquecimento de água para uso doméstico, destaca-se o avanço dos meios de escoamento da água quente oriunda do reservatório predial e que deve chegar ao ponto de demanda em ótimas condições para o uso. Portanto, para essa finalidade, se destacam dois materiais que são os mais utilizados no Brasil: o cobre e o cloreto de polivinil clorado.

Talvez o cobre seja, ainda hoje, o material mais conhecido para essa finalidade. Afinal, é o metal mais antigo conhecido pelo homem, descoberto há mais de dez mil anos. Em tempos modernos, ele é conhecido por ser um material de boa condutividade, tanto elétrica, quanto térmica, sendo facilmente associado ao uso em tubulações que trabalham em temperaturas diferentes das condições ambiente. Em função disso, faz-se necessário o seu isolamento para que a água permaneça por mais tempo com sua temperatura elevada.

Por outro lado, apesar de ter este nome pouco conhecido, o cloreto de polivinil clorado é mais conhecido como CPVC. É um material que ganhou muito mercado nos últimos anos e já é consolidado quando se trata de tubulações hidráulicas produzidas com esse termoplástico. Comercializado desde a década de 60, o CPVC foi criado a partir do PVC, sendo este menos clorado. Assim, a principal finalidade de tubulações produzidas a partir do CPVC é o transporte de água quente, já que o cloro cria resistência à condutividade térmica, conservando calor.

Com isso, este trabalho foi desenvolvido para que se possa realizar uma comparação entre o Cobre e o CPVC quando utilizados como material para condução de água quente, em uma instalação hidráulica predial.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo geral

Estabelecer uma comparação orçamentária e técnica em relação a instalações prediais de água quente com a utilização de tubulações feitas de cobre e CPVC quando aplicadas em uma residência padrão.

2.2.Objetivos específicos

- Realizar o dimensionamento de instalação hidráulica predial de água quente para uma residência base, levantando os materiais necessários;
- Verificar o funcionamento hidráulico das redes com diferentes materiais da tubulação, verificando suas respectivas perdas de carga;
- Comparar a planilha orçamentária do material necessário para execução de cada uma das instalações, utilizando três orçamentos obtidos ao acaso no mercado.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Propriedades da água

Quando se trata de propriedade da água, a temperatura tem um papel importante. Muitas destas propriedades sofrem variações de acordo com a temperatura, podendo ser significativa ou não. A massa específica, segundo Hibbeler (2016), é a relação entre a massa do fluido e o volume em que esta está contida, podendo ser obtida por meio da Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{\text{vol}} \quad (1)$$

em que:

ρ é a massa específica do fluido em (kg/m^3);

m é a massa da amostra de água (kg); e

vol é o volume da amostra de água (m^3).

Por meio de experiências, descobriu-se que líquidos são praticamente incompressíveis. Desta forma, há uma insignificante variação de seu volume com a variação da pressão do meio, porém, há uma variação com a temperatura. A água a 4°C , por exemplo, tem uma densidade de $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$. Já a água a 100°C possui a densidade de $958,1 \text{ kg}/\text{m}^3$. Para aplicação neste trabalho, considera-se que a faixa de temperatura trabalhada seja pequena, assim a densidade é constante (HIBBELER, 2016).

Já a viscosidade é a capacidade das moléculas de água em oferecer resistência ao movimento. Assim, pode-se dizer que a viscosidade da água é relativamente baixa, fazendo que suas moléculas se deslizem com facilidade (HEILMANN, 2017). Neste sentido, há influência da temperatura do fluido sobre a viscosidade deste. Isto acontece, pois, uma menor temperatura causa uma maior atração entre as moléculas, conseqüentemente causando maior resistência ao movimento, por causa da perda de energia que é gerada pelo atrito das moléculas. Conforme a temperatura vai se elevando, a vibração das moléculas vai aumentando e menor será a atração entre elas, fazendo com que as moléculas deslizem com mais facilidade uma sobre as outras. Além da

temperatura, a viscosidade também é afetada pelo tipo e concentração de solutos, à medida que a adição destes fazem variar o comportamento das moléculas, afetando a forma que deslizam entre si (ESTEVEES, 2011).

A influência da temperatura sobre a viscosidade da água é mostrada pela Tabela 1.

Tabela 1 - Influência da temperatura sobre a viscosidade da água.

Temperatura (°C)	Viscosidade (Pa x s)
0	$1,787 \times 10^{-3}$
5	$1,561 \times 10^{-3}$
10	$1,306 \times 10^{-3}$
15	$1,138 \times 10^{-3}$
18	$1,053 \times 10^{-3}$
20	$1,002 \times 10^{-3}$
25	$0,890 \times 10^{-3}$
30	$0,798 \times 10^{-3}$
35	$0,719 \times 10^{-3}$

Fonte: Schwoerbel, 1987.

3.2.Regimes de escoamento

Houghtalen, Hwang e Akan (2012) afirmam que a pressão de escoamento em tubos é o fluxo de água que passa em um conduto fechado de seção transversal circular sob um gradiente de pressão. Dessa forma, o escoamento pode ser descrito por uma vazão que passa pelo tubo, pela seção transversal, elevação do tubo, pressão e velocidade do escoamento. Com isso, a elevação é medida em linhas de referências horizontais e a pressão utilizada é a pressão média no tubo, negligenciando as variações pontuais que há. Assim, a velocidade é definida de acordo com a vazão e área da seção, sendo um fator importante para determinações hidráulicas.

Ainda segundo estes autores, Osborne Reynolds determinou, no final do século XIX, que existem dois tipos de escoamento: o laminar e o turbulento. No escoamento laminar, a água se mostra estável. Já no escoamento turbulento, há um deslocamento irregular da água, fazendo com que haja ressonância, causando uma maior perda de carga.

O experimento de Reynolds, teve finalidade de identificar a transição entre os escoamentos laminar e turbulento, além de identificar as condições em que cada um desses escoamentos ocorrem. Assim, por meio do experimento, o foco do autor era encontrar um número crítico no qual o escoamento laminar passa por uma fase de transição e se torna um escoamento turbulento (HOUGHTALEN; HWANG; AKAN, 2012).

Desta forma, segundo Heilmann (2017), se tem a relação do número de Reynolds, que é um número adimensional (EQUAÇÃO 2).

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (2)$$

em que:

ρ é o peso específico do fluido em (kg/m³);

v é a velocidade média do escoamento na seção estudada em (m/s);

d é o diâmetro da seção do tubo estudado em (m); e

μ é a viscosidade dinâmica do fluido em (Pa x s).

Segundo Azevedo Netto (2018), Reynolds também propôs uma expressão em que se considera a viscosidade cinemática, que é descrita pela Equação 3.

$$Re = \frac{v d}{\nu_{cn}} \quad (3)$$

onde:

v é a velocidade média do escoamento na seção estudada em (m/s);

d é o diâmetro da seção do tubo estudado em (m); e

ν_{cn} é a viscosidade cinemática do fluido em (m²/s).

Ainda assim, segundo Hibbeler (2016), com base nos estudos de Reynolds, tem-se que, para números abaixo de 2300, os escoamentos são considerados laminares. Desta forma, para números superiores a 2300, ocorre uma transição de escoamento laminar para turbulento, que depende de perturbações locais. Este valor é considerado número crítico

de Reynolds. Já Houghtalen, Hwang e Akan (2012) aponta que o valor crítico de Reynolds é de 2000 e, na verdade, a transição de laminar para turbulento não acontece de uma vez, passando por uma transição conhecida como zona crítica.

3.3.Equação da continuidade

Para o estudo da equação da continuidade, segundo Heilmann (2017), se deve considerar as leis de conservação da mecânica clássica. Assim, toda a massa de água que entra na tubulação deve ter proporções de massa iguais na saída. Com isso, a equação da continuidade se dá pela equiparação da taxa mássica (kg/s) de entrada e saída, como mostra a Equação 4.

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (4)$$

onde:

ρ é o peso específico do fluido em (kg/m³);

v é a velocidade média do escoamento na seção estudada em (m/s); e

A é a área da seção do tubo estudado em (m²).

3.4.Equação de Bernoulli

Segundo Houghtalen (2012), a água que passa por uma rede de tubos pode conter energia em diversas formas, sendo elas energia cinemática, potencial e de pressão. Considerando que um tubo é uma passagem cilíndrica com sua superfície paralela a velocidade do fluxo e fazendo que a água presente na passagem não cruze a superfície, a condição de continuidade é respeitada, garantindo a conservação de energia do sistema e a utilização da equação de Bernoulli.

Dessa forma, Heilmann (2017) diz que a equação de Bernoulli recebeu este nome por causa de seu enunciador, Daniel Bernoulli, no século XVIII. Depois de algum tempo, essa equação foi expressa por Leonhard Euler como uma fórmula. Se ela for estudada em dois pontos que estão na mesma linha de corrente e se for considerado um regime permanente em um fluido perfeito, ela pode ser escrita conforme a Equação 5:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (5)$$

onde:

v é a velocidade do fluido no determinado trecho em (m/s);

z é a cota da altura do escoamento na seção estudada em (m);

γ é o peso específico do fluido no trecho estudado (kg/m^3);

p é a pressão no fluido na seção (Pa); e

g é a aceleração da gravidade (m/s^2).

Ainda segundo o autor, a equação de Bernoulli relaciona pressão, velocidade, peso específico e altura no início e no final do escoamento. Assim, não considera nenhum princípio físico inédito, apenas a conservação da energia do fluido, utilizando o teorema trabalho-energia. Com isso, as condições de entrada no sistema devem ser iguais às condições de saída do sistema.

Além de um escoamento permanente, constante e incompressível, não pode haver presença de máquinas no trecho do escoamento, como bombas e turbinas. Também se considera que não há perda de energia. Dessa forma, a equação está associada a energia potencial gravitacional, por causa dos efeitos da gravidade sobre o fluido; da energia cinética, por causa do deslocamento do fluido no trecho; da energia de pressão; e por causa do trabalho do fluido no sistema (HEILMANN, 2017).

3.5. Condutos sob pressão

Segundo Azevedo Netto (2018), no projeto hidráulico residencial, é importante determinar a quantidade de energia necessária para fazer com que a água chegue aos seu destino. Assim, condutos sob pressão auxiliam no transporte utilizando, em muitas vezes, apenas a força da gravidade, já que condutos livres não teria uma praticidade em uma instalação predial. Porém, é importante se atentar às perdas de energia que o sistema pode sofrer antes de chegar ao destino. Essa perda de energia é também chamada de perda de carga.

3.5.1. Perda de carga

As perdas de carga podem acontecer em tubulações de condutos sob pressão e em conexões do tubo, como em ligações, curvas, entradas, saídas, reduções e transições. Segundo Azevedo Netto (2018), a perda de carga é constantemente chamada de “perda por atrito”, ou ainda, resistência no escoamento causada pela tubulação. Assim, isso leva a situações errôneas de entendimento do fenômeno pois a perda de carga não deve ser notada como um atrito semelhante a dois sólidos que entram em contato e deslocam entre si. Na verdade, não há movimentação de fluido nas paredes do tubo, pois ali se tem uma camada fixa, que não se locomove pelo tubo. Dessa forma, é observada a movimentação de massa, se deformando e tendo na viscosidade ou atrito interno a causa das perdas de cargas no sistema de tubulação.

Com isso, essas perdas de carga podem ser calculadas pela conforme a Equação 6.

$$h_L = K_L \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

O termo K_L é o coeficiente de resistência ou coeficiente de perda. Ele é determinado através do experimento, alguns manuais de projeto garantem essas informações. Porém se deve ter cuidado ao usar um coeficiente, pois os valores variam em conexões de diferentes fabricantes.

De acordo com Hibbeler (2016), as perdas de carga, ainda, podem ser variadas em:

- Entrada e saída: Quando a água entra em um tubo a partir de um reservatório, ela causar uma perda de carga. Essa perda depende da transição que é usada. A transição que produz maior perda são as com quinas vivas ou um tubo reentrante, que são mais convencionais em saídas de reservatórios usuais na construção civil. A transição que causa menos perda são transições bem arredondadas, pois permitem uma variação gradual no escoamento. Já a extremidade de saída um tubo geralmente tem um K_L igual a 1, não importando seu formato. Essas perdas são controladas na equação 6 pelo coeficiente de perda K_L .

- Expansão e contração: A expansão ou uma contração abrupta em um tubo se diz respeito a variação de diâmetro que ocorre em um sistema de tubulação. Isso ocorre por meio de reduções que são colocadas nas tubulações e afetam diretamente na velocidade que água passa no tubo. Assim, para uma expansão abrupta, a equação de K_L foi determinada a partir de equações da continuidade (4), energia e quantidade de movimento linear. Quando ocorre uma redução, acontece um afinilamento dentro do tubo de menor diâmetro. Dessa forma, o coeficiente de perda deve ser determinado experimentalmente. Neste caso, se a mudança acontece gradualmente em difusor cônico com ângulos menores de 8° as perdas são reduzidas.

- Curvas: As mudanças na direção do escoamento causam separação da água na parede interna do tubo já que existem acelerações normais ou radiais ao longo das linhas de corrente. A perda pode ser maior quando ocorre escoamentos secundários dentro da curva. Isso pode formar vórtices gêmeos com movimentos contra a trajetória da curva.

- Válvulas: Para controlar a saída e o escoamento de água, existem alguns tipos de válvulas. A válvula gaveta, por exemplo, funciona bloqueando o escoamento com uma placa. Assim, ela fica totalmente fechada ou totalmente aberta, obstruindo pouco na passagem de água. Já a válvula globo, regula o escoamento. Nela há um tampão que sobe e desce sobre a vedação, regulando o fluxo de água que passa.

- Conexões de tubos: No caso de conexões entre tubos podem restar rebarbas nas sessões que foram cortadas. Essas rebarbas podem perturbar o escoamento e causar perdas. Por isso, se deve tomar muito cuidado nas instalações e conexões dessas peças. Assim, é necessário pensar em um sistema de tubos onde não se tem muitas extensões curtas e diversas conexões e transições.

Dessa forma, após o cálculo das perdas de carga, é comum transformá-las em um comprimento equivalente. Essa conversão da perda por cisalhamento dentro de uma conexão ou válvula se transforma em um comprimento equivalente (L_{eq}) que terá a mesma perda de carga devido ao seu coeficiente de perda K_L . Então, a perda de carga do sistema é calculada a partir do comprimento do tubo mais os comprimentos equivalentes previamente determinados.

3.6. Dimensionamento das tubulações de água quente

O dimensionamento das tubulações de água quente deve ser realizado de forma a garantir o abastecimento em todos os pontos de utilização sempre que for necessário, garantindo água em quantidade e temperatura ideal ao uso. O dimensionamento de tubulações de água quente segue os padrões do dimensionamento de tubulações de água fria. Porém, esse dimensionamento deve ser mais preciso em relação ao de água fria. No caso das tubulações de água fria serem superdimensionadas, o sistema funciona normalmente, ao contrário das tubulações de água quente, que se forem superdimensionadas, o sistema de tubulação vai funcionar também como reservatório, podendo esfriar a água e causar mau funcionamento (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

3.6.1. Pesos das peças

Segundo Carvalho Júnior (2018), como nas tubulações de água fria, os pesos das peças nos trechos das tubulações de água quente devem ser considerados. De fato, este é o primeiro passo para o dimensionamento destas tubulações. A Tabela 2 mostra alguns exemplos de aparelhos e peças que necessitam abastecimento por água quente e seus respectivos pesos.

Tabela 2 - Pesos relativos dos aparelhos sanitários de uma instalação predial de água quente.

Aparelho	Peso Relativo
Banheira	1,0
Bidê	0,1
Chuveiro	0,4
Lavatório	0,3
Pia de Cozinha	0,7

Fonte: Carvalho Júnior (2018)

Ainda segundo o autor, o somatório dos pesos em cada trecho se faz necessário ao determinar o diâmetro dos barriletes, ramais e sub-ramais de cada trecho que será abastecido. Desta forma, a Tabela 3 traz um ábaco simplificado que auxilia na determinação do diâmetro nominal de cada tubo soldável de acordo com a necessidade.

Tabela 3 - Ábaco simplificado para determinação do diâmetro da tubulação de acordo com o somatório dos pesos relativos.

Soma dos Pesos	0	↔	0,6	↔	2,9	↔	8,2	↔	18	↔	35
Diâmetro (mm)		15		22		28		35		42	

Fonte: Carvalho Júnior (2018)

3.6.2. Vazão

Um método empírico para determinar a vazão de projeto nos barriletes e colunas de distribuição é o da raiz quadrada, que, considerando uma vazão de referência de 0,3 l/s, temos a Equação 7 (ILHA, 1994):

$$Q = 0,3\sqrt{\sum P} \quad (7)$$

onde:

Q é a vazão de projeto (l/s); e

P é o peso de cada aparelho abastecido pelo trecho.

3.6.3. Comprimento da tubulação

Segundo a NBR 5626 (ABNT, 1998), para o dimensionamento da tubulação de água quente, também devemos considerar o comprimento de cada trecho. Porém, existem alguns tipos de comprimentos que não devem ficar de fora para que se possa encontrar, com mais precisão, as perdas de carga. Esses comprimentos, ainda segundo a norma, se diferenciam em comprimento real e comprimento equivalente:

Conforme o próprio nome sugere, o comprimento real é o comprimento verdadeiro de cada trecho da tubulação, ou seja, o comprimento físico por onde a água quente irá percorrer. Para o orçamento em uma loja, por exemplo, seria aquele comprimento de tubulação que o construtor compraria.

O comprimento equivalente é considerado para que se tenha uma compensação na perda de carga devido às peças e acessórios que são colocados ao longo do trecho estudado e que causam maiores obstáculos, dificultando o fluxo de água. Estes elementos podem ser conectores de tubulação, elementos que variam a direção do fluxo, entre outros.

A Tabela 4, mostra algumas dessas peças e seus respectivos comprimentos equivalentes:

Tabela 4 - Perda de carga em conexões - Comprimento equivalente para tubo liso (tubo de plástico, cobre ou liga de cobre).

DN	Cotovelo	Cotovelo	Curva	Curva	Tê Passagem	Tê Passagem
	90°	45°	90°	45°	direta	lateral
15	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3
20	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4
25	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1
32	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6
40	3,2	1,0	1,2	0,6	2,2	7,3
50	3,4	1,3	1,3	0,7	2,3	7,6

Fonte: NBR 5626:1998

Já os comprimentos virtuais, segundo Hibbeler (2016), são simplesmente o somatório dos comprimentos reais com os equivalentes, se tornando um comprimento virtual que será útil no cálculo das perdas de carga, onde se terá uma melhor precisão de como se comporta o fluxo nos trechos.

$$L_{\text{virtual}} = L_{\text{real}} + L_{\text{eq}} \quad (8)$$

onde:

L_{virtual} é o comprimento virtual (m);

L_{real} é o comprimento real (m); e

L_{eq} é o comprimento equivalente (m).

3.7. Materiais utilizados em instalações hidráulicas de água quente

A escolha de materiais que serão empregados nas tubulações deve ser muito bem pensada. Por mais que exista um projeto de boa qualidade, pode se ter execuções malfeitas que comprometam a qualidade construtiva. Por isso, alguns materiais podem garantir melhor execução devido à melhor disponibilidade, facilidade de aplicação, mão de obra disponível, etc. A NBR 7198: “Projeto e execução de instalações prediais de água quente” apontam recomendações e diretrizes para a observação de exigências técnicas de higiene, segurança, economia e conforto (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

Quando se trata de água quente, o material escolhido deve resistir a altas temperaturas. Com o avanço tecnológico, algumas opções comuns no mercado cedem espaço às novas tecnologias e tendências, na qual apresentam vantagens ao consumidor.

3.7.1. Cobre

O cobre é o material comumente utilizado em instalações prediais de água quente. Ele é um excelente material, porém é um pouco caro e difícil de trabalhar. Sua solda é feita com estanho em um processo onde se deve ter bastante habilidade. Entretanto, é um material resistente, onde não há fácil rompimento ou deformação, principalmente quando se entra em contato com temperaturas elevadas, resistindo a situações extremas, onde a temperatura pode chegar a 200 °C. Além disso, é um material de fácil reciclagem e pode ser adaptado de muitas maneiras na hora de sua instalação, já que depende apenas das soldas em suas uniões. Além disso, o cobre é um material com uma boa condutividade térmica, facilitando as trocas de calor com os meios. Assim, é recomendável o isolamento térmico do material para que se possa conservar a temperatura do sistema de água quente (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

3.7.2. Cloreto de Polivinil Clorado (CPVC)

O CPVC é um material com propriedades semelhantes ao PVC. Ele apresenta baixa condutividade térmica, dispensando o uso de isolamento térmico e resistente à condução de água em temperaturas elevadas e sob pressão. Este material é soldado a frio com uma cola especial, mas dispensa mão de obra especializada e está cada vez mais comum em obras de pequeno e médio porte. Este material apresenta temperatura máxima

de suporte de 80 °C, sendo segura para seus objetivos. Portanto, se mostra uma alternativa ao cobre (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

3.7.3. Polipropileno Copolímero Random (PPR)

O PPR, é uma opção de material condutor de água com temperaturas elevadas. Isso por que apresenta uma boa resistência ao levar água quente sem se preocupar com vazamentos, deixar a água tóxica e possui uma boa vida útil em condições extremas. Suas emendas são feitas por termofusão (soldagem a quente) e exige mão de obra especializada, o que pode encarecer o resultado de sua instalação. Tem baixa condutividade térmica, o que faz dispensar isolamento térmico e garantir a baixa variação de temperatura em seu interior (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

3.7.4. Polietileno Reticulado (PEX)

O tubo de Polietileno Reticulado é um tubo flexível que resiste à altas temperaturas, corrosão e impactos. Com sua flexibilidade, é possível realizar curvas, podendo eliminar o uso de cotovelos e curvas (ASTRA, 2014). Além disso, é vendido na forma de bobinas, facilitando o transporte e a instalação em grandes trechos, diminuindo as conexões ao longo da tubulação. Tudo isso colabora para que haja uma menor perda de carga e uma diminuição nos custos e no tempo de instalação (TIGRE, 2017). Este tipo de material também colabora com a diminuição do lixo da construção, havendo um maior aproveitamento do material, já que os tubos podem ser cortados em qualquer tamanho, sem sobrar pequenos pedaços que seriam inutilizados.

3.7.5. Polibutileno (PB)

Os tubos e conexões de polibutileno são feitos com um material resistente, leve e flexível, são vendidos em bobinas e possuem baixo efeito de memória, podendo ser adaptados em diversas situações. Assim, sua instalação se assemelha ao PEX. Algumas marcas os produzem com uma tecnologia de encaixe rápido, que garante rapidez de montagem e vantagens semelhantes ao PEX, eliminando peças de conexão e de mudanças de direções (AMANCO, 2015).

3.7.6. Isolantes Térmicos

Como visto, um projeto de tubulação de água quente deve ser bem executado para que não haja problemas e deixe os custos maiores. Dependendo do tubo utilizado, a troca de calor com o meio é grande, fazendo com que haja um resfriamento da água no interior do tubo. Um tipo de material onde ocorre este problema é o cobre. Apesar de ser um material confiável, devem ser tomados alguns cuidados. Assim, a obra fica um pouco mais cara, porém ainda é uma opção atrativa. Um tipo de isolante térmico comumente utilizado é o Polietileno Expandido. Este tipo de isolante aceita altas temperaturas e ainda possui uma certa absorção acústica, protege de corrosão e vibração. Um bom isolante deve ter baixa absorção de umidade e capacidade de não entrar em combustão, garantindo a segurança. Contudo, é importante dizer que o isolante térmico não impede as perdas por completo, apenas as ameniza (EPEX, 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Apresentação da edificação

O traçado e dimensionamento necessários para um sistema de distribuição residencial de água quente foram realizados em uma edificação unifamiliar base, representada no Apêndice A. Essa edificação conta com dois pavimentos, sendo composta por uma residência na parte superior e um galpão comercial compartilha espaço com o restante da residência na parte inferior. Na parte inferior da área residencial, existe um hall, área de serviço e sala de serviço, além da cozinha e banheiro que serão abastecidos por água quente. Já na parte superior, existem três quartos, uma sala, uma suíte, um escritório e dois banheiros. Ao todo, existem 229 m² de área construída em um terreno de 585 m².

No primeiro pavimento, o banheiro receberá água quente em seu lavatório e a cozinha receberá água quente por meio de sua pia, uma prática construtiva comum, auxiliando o uso destes equipamentos em dias frios. Por sua vez, no segundo pavimento, os banheiros terão seus chuveiros e lavatórios abastecidos com água quente. Além disso, o banheiro que compõe a suíte, representado por W.C. 3, terá uma banheira abastecida com água quente, além dos elementos comuns já citados.

4.2. Elaboração dos traçados

Os traçados foram elaborados de forma a economizar material e respeitando a coexistência da instalação hidráulica de água fria. Além disso, o traçado respeita as peças disponíveis no mercado, sendo construído a partir de curvas com 45° e 90°. Por fim, foram consideradas questões arquitetônicas, como as disposições de portas e janelas, desviando as tubulações. Dessa forma, os traçados foram realizados para que a água chegue ao local de abastecimento percorrendo a menor distância em menor tempo possível. As instalações hidráulicas prediais de água quente estão dispostas de acordo com o Apêndice B.

4.3. Dimensionamento dos trechos

Este projeto pressupõe dimensionamento para um sistema de aquecimento solar. Sendo assim, a residência possui um boiler, onde será armazenada a água quente. Para

tal, considerou-se que cada quarto acomoda duas pessoas. Sendo uma residência de quatro quartos, oito pessoas no total poderiam viver confortavelmente nesta residência.

O consumo diário considerado foi de 50 litros por pessoa e o volume da banheira foi de 120 litros, sendo abastecida por água quente e fria. Além disso, o consumo diário de água quente da pia da cozinha é de 50 litros.

Por meio das as disposições do traçado das instalações hidráulicas prediais de água quente, disponível no Apêndice B, pode-se aferir os comprimentos reais de cada trecho. Sendo assim, conforme apresentado na Seção 4.1 deste trabalho, cada trecho abastece alguns aparelhos hidráulicos específicos que exigem uma demanda. De acordo com a Seção 3.6, o dimensionamento foi realizado e a demanda dos trechos foi transformada em peso relativo, conforme a Tabela 2. Logo após, o diâmetro nominal da tubulação de cada trecho foi definido de acordo com o ábaco da Tabela 3. Além disso, a vazão de cada trecho pode ser calculada utilizando-se a Equação 7.

Com as vazões calculadas e os diâmetros definidos, foi possível calcular também a área de cada tubo e a velocidade da água em cada tubo, de acordo com as Equações 9 e 10, respectivamente. Porém, a parede interna dos tubos de cada material varia, fazendo com que os diâmetros internos sejam diferentes em tubos com o mesmo diâmetro nominal e com material distinto. Conseqüentemente, as áreas e velocidades também variam conforme o diâmetro interno de cada tubo. Assim, o diâmetro interno pode ser encontrado em função do diâmetro externo, de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Diâmetros internos dos tubos de Cobre

DN (mm)	Cobre		CPVC	
	E (mm)	DI (mm)	E (mm)	DI (mm)
15	0,5	14	1,6	11,8
22	0,6	20,8	2	18
28	0,6	26,8	2,5	23
35	0,7	33,6	3,2	28,6
42	0,8	40,4	3,8	34,4
54	0,9	52,2	4,9	44,2

Fonte: Tigre (2011) e Eluma (2009).

onde:

DN é o Diâmetro Nominal do tubo (mm);

E é a espessura do tubo (mm); e

DI é o Diâmetro Interno do tubo (mm).

Dessa forma, a área útil do tubo pode ser calculada por meio da equação 9.

$$S = \frac{\pi d_i^2}{4} \quad (9)$$

onde:

S é a área útil (m²); e

d_i é o diâmetro interno do tubo (m).

A velocidade do escoamento deve ser limitada, porque grandes velocidades aumentam as chances de ruídos, corrosão e golpe de aríete (ILHA, 1994). Sendo assim, a velocidade máxima deve ser de 3,0 m/s. Dessa forma, podemos calcular a velocidade (V) de acordo com a Equação 10:

$$V = \frac{Q}{S} \quad (10)$$

onde:

V é a velocidade (m/s);

Q é a vazão (m³/s);

S é a área útil da seção (m²).

De acordo com cada trecho, algumas peças e acessórios foram projetadas ao longo do trajeto para a elaboração do traçado e levar o fluxo da água quente ao local desejado. Conforme citado, cada uma dessas peças possui um comprimento equivalente. Entretanto, o comprimento equivalente dos redutores tem uma peculiaridade, sendo definido como 6 vezes o diâmetro interno do trecho, fazendo variar os comprimentos equivalentes de cada material. Assim, o comprimento virtual de cada trecho foi calculado conforme a Equação 8.

4.4. Cálculo das perdas de cargas

Conforme foram calculadas diferentes áreas e velocidades de acordo com a variação do diâmetro interno entre peças do mesmo material, a perda de carga também irá variar. Além disso, os coeficientes de rugosidade entre esses materiais também são diferentes. O cobre possui uma rugosidade (ϵ) de 0,01 mm e o CPVC possui uma rugosidade de 0,005 mm.

Dessa forma, a diferença de rugosidade pode interferir na perda de carga, conforme o material escolhido para a instalação hidráulica. As perdas de carga de cada trecho estudado, para cada material, foram calculadas segundo a equação proposta por Darcy-Weisbach. O número de Reynolds foi calculado pela equação 3, tendo em vista que a viscosidade dinâmica da água a 70 °C é de 407×10^{-6} Pa x s e sua massa específica a essa temperatura é de 978 kg/m^3 . Sabendo que a viscosidade cinemática é a divisão da viscosidade dinâmica pela massa específica, temos uma viscosidade cinemática de $416 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Com isso, o fator f foi estimado segundo a equação de Swamee-Jain.

Para tal, a Equação de Darcy-Weisbach pode ser apresentada pela Equação 11.

$$hf = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (11)$$

onde:

hf é a perda de carga (m); e

L é o comprimento total (m).

Já o fator de atrito (f), necessário para o cálculo da perda de carga, é determinado pela equação de Swamee-Jain (Equação 12).

$$f = \frac{0,25}{[\log(0,27 \frac{\epsilon}{D} + \frac{5,74}{\text{Re}^{0,9}})]^2} \quad (12)$$

onde:

ϵ é a rugosidade (mm).

4.5. Verificação do desempenho

A verificação do desempenho hidráulico garante o bom funcionamento das instalações prediais de água quente, garantindo o abastecimento em todos os pontos de demanda. Para verificação do desempenho hidráulico, a NBR 5626 (ABNT, 1998), diz que:

Pressão máxima na rede: 400 kPa ou 40 m.c.a., aproximadamente (Pressão Estática);

Pressão mínima na rede: 5 kPa ou 0,5 m.c.a., aproximadamente (Pressão dinâmica).

No caso deste trabalho, a pressão dinâmica foi verificada de acordo com as cotas dos níveis de água no boiler e a cota dos chuveiros dos banheiros presentes no segundo pavimento, onde haverá uma situação crítica na pressão.

Segundo Azevedo Netto (2018), a pressão dinâmica mínima para o chuveiro é de 1,0 m.c.a. Sendo assim, a Equação 13 garantiu o funcionamento da instalação predial de água quente.

$$(Cota_{\text{boiler}} - Cota_{\text{chuveiro}}) - hf_{\text{trecho}} > 1,0 \text{ m. c. a.} \quad (13)$$

onde:

$Cota_{\text{boiler}}$, $Cota_{\text{chuveiro}}$ e hf_{trecho} são dadas em (m).

4.6. Verificação do material necessário.

O material necessário para a execução da instalação hidráulica predial de água quente é observado de acordo com os diâmetros das tubulações e acessórios calculados, além dos comprimentos reais que foram verificados em cada trecho, sendo que as tubulações são vendidas em tubos de 3 metros. Outro fator importante é a quantidade de acessórios necessários para a execução dos trechos, que variam apenas nos diâmetros nominais.

4.7. Tomada de preços

A fim de se fazer uma comparação orçamentária entre os materiais a serem utilizados na execução dessa instalação hidráulica predial, foram realizadas consultas de preço dos materiais estudados (cobre e CPVC). Essa consulta foi realizada em três lojas escolhidas ao acaso na cidade de São Paulo – SP, todas classificadas como grandes redes varejistas de venda de materiais de construção.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as suposições feitas, calculou-se que a residência necessita de um boiler de, no mínimo, 510 litros, sendo abastecido diariamente. Dessa forma, um boiler comercial com um diâmetro de 59 centímetros e comprimento de 273 centímetros e capacidade para 600 litros poderá ser usado. Assim, ele ficaria em uma altura de 1,7 metros da laje.

O traçado, separado por trechos, foi dimensionado conforme citado na Seção 3.6. Assim, para cada trecho, foram analisados os pontos de demanda e seus respectivos pesos. Além disso, foram determinados os diâmetros das tubulações e acessórios de cada trecho, seguido pela determinação da vazão. As Tabelas de 9 a 12 (Apêndice C), apresentam os resultados obtidos e o comprimento real de cada trecho em cada cômodo da residência.

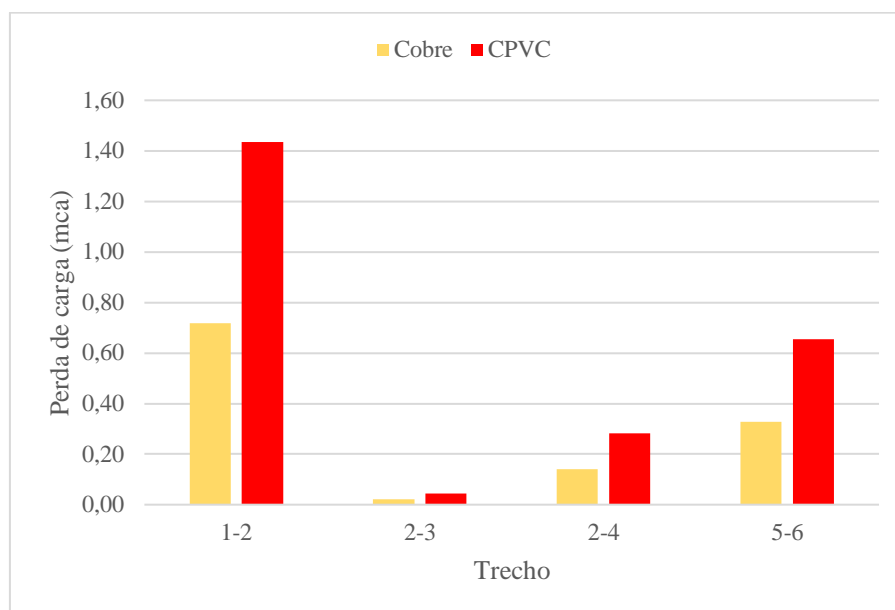
Após a obtenção dos diâmetros nominais e as vazões em cada trecho, foi possível determinar a área útil das tubulações e suas respectivas velocidades. Entretanto, esses valores variam de acordo com o material, já que seus diâmetros internos também variam. Nas tabelas de 13 a 16 (Apêndice C) são mostrados os diâmetros internos para cada tubo, assim como as áreas e as velocidades calculadas em cada trecho.

De acordo com os trechos mencionados e cada acessório que se encontra ao longo de seu percurso, os comprimentos equivalentes foram encontrados e, quando somados aos comprimentos reais, foram obtidos os comprimentos virtuais, como apresentados nas Tabelas 17, 18, 19 e 20 (Apêndice C).

5.1.Obtenção das perdas de cargas

Conforme obtidos os resultados necessários, o número de Reynolds, o fator f e, por fim, as perdas de carga foram calculados, segundo a Seção 4.4. Neste caso, os resultados obtidos para perdas de carga, em cada material, são mostrados nas Figuras de 1 a 4. Os demais resultados podem ser encontrados no Apêndice D.

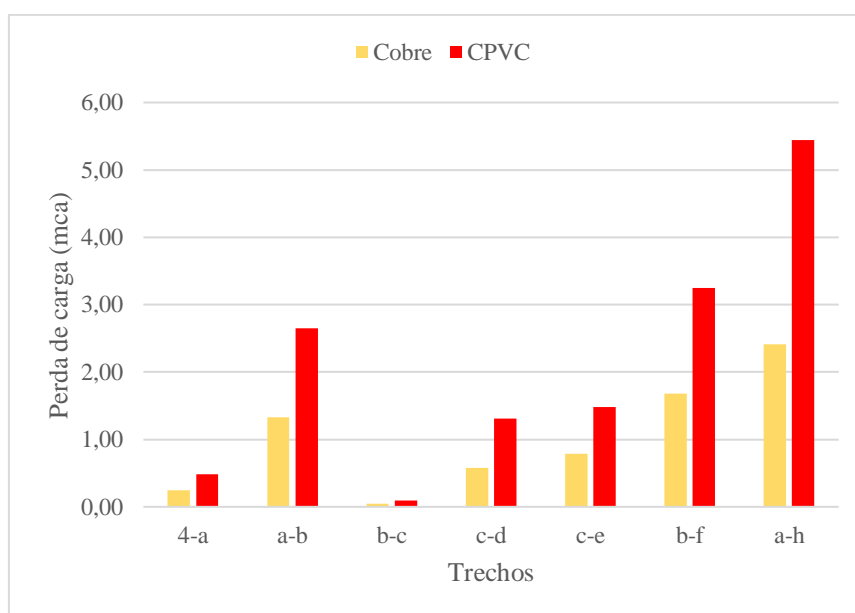
Figura 1 - Resultados das perdas de carga nos trechos dos barriletes da instalação predial de água quente estudada, que abastecem as colunas



Fonte: Do autor.

Dessa forma, de acordo com a Figura 1, pôde-se notar que as perdas de carga, nos barriletes, são menores nas instalações de cobre, tendo uma diferença considerável.

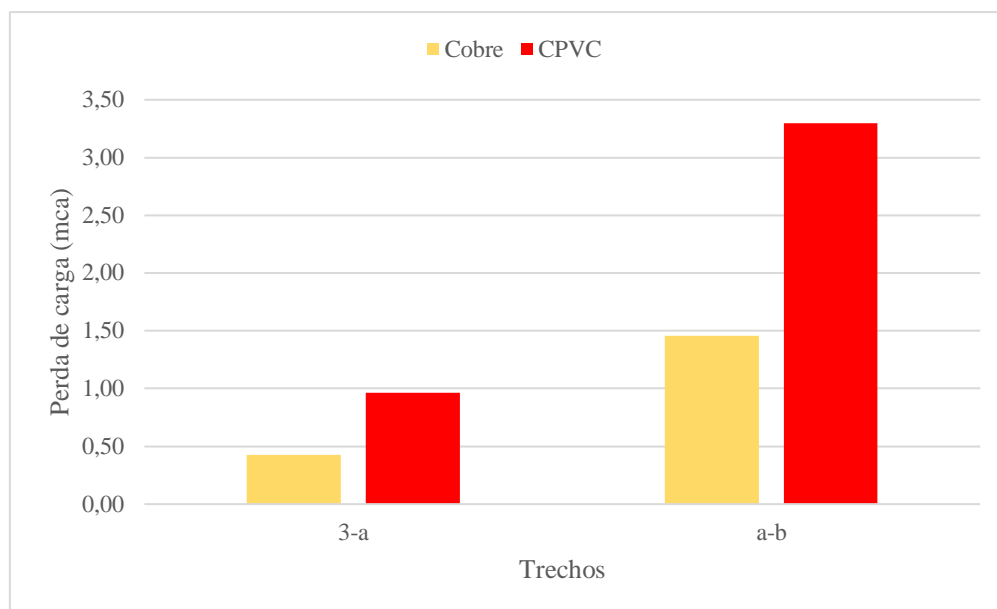
Figura 2 - Resultados das perdas de carga nos trechos da instalação predial de água quente estudada, que abastecem o WC 1 e WC 3



Fonte: Do autor.

De acordo com os resultados expostos na Figura 2, nota-se que a perda de carga no cobre continua menor, quando comparada ao CPVC.

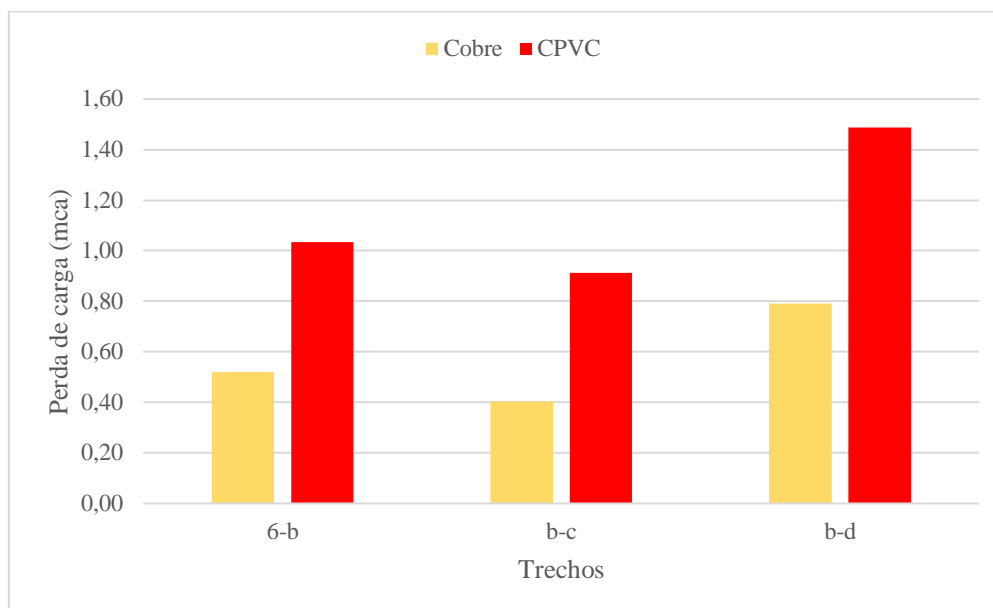
Figura 3 - Resultados das perdas de carga nos trechos da instalação predial de água quente estudada que abastecem o WC 2



Fonte: Do autor.

Assim como nos resultados expostos nas Figuras 1 e 2, os resultados mostrados na Figura 3 ajuda a consolidar o cobre como o material que se tem menor perda de carga.

Figura 4 - Resultados das perdas de carga nos trechos da instalação predial de água quente estudada que abastecem a Cozinha



Fonte: Do autor.

Com os resultados das Figuras 1, 2, 3 e 4, pode-se perceber que, em todos os trechos analisados, a perda de carga em tubos de CPVC é, consideravelmente, mais alta, chegando a 24,82 metros, enquanto em tubos feitos em cobre a perda de carga chega a 11,89 metros. Dessa forma, as perdas de carga totais do cobre representam, aproximadamente, 47,9% das perdas de carga totais do CPVC. Assim, é notável a vantagem, em termos energéticos, da tubulação projetada em cobre, apesar de ter o dobro da rugosidade do CPVC. Essa perda de carga, relativamente baixa, do cobre se justifica em função dos diâmetros internos adotados, que se encontram nas tabelas do Apêndice C. Com diâmetros internos maiores, os resultados obtidos das perdas de carga do cobre se tornaram menores, já que o fluxo da água se mostrou mais lento, o que denota perdas reduzidas de energia devido ao atrito viscoso.

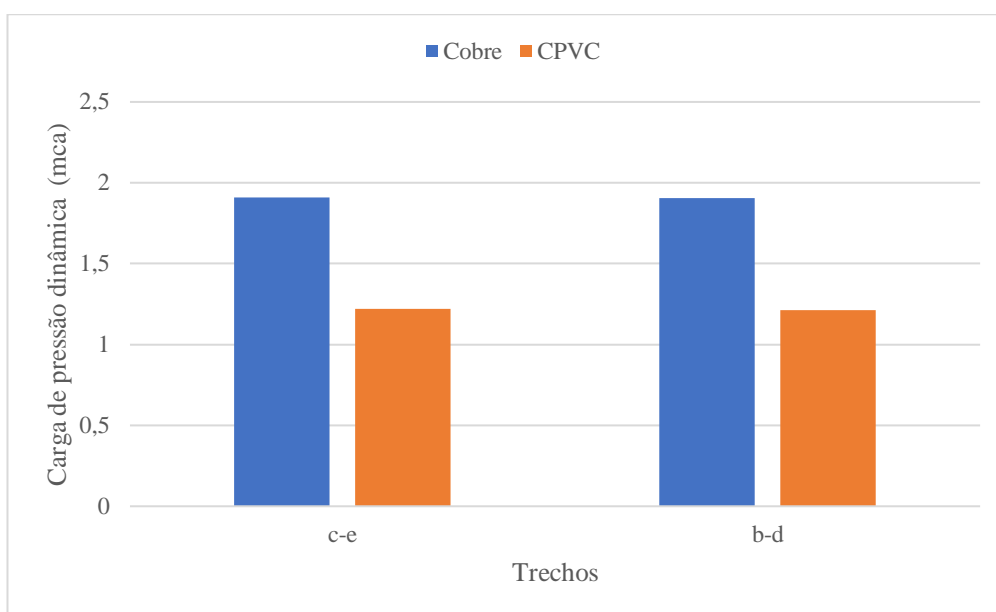
Deve-se observar que os critérios de escolha dos diâmetros dos materiais são os mesmos, havendo diferença apenas nos diâmetros internos das tubulações, o que impacta diretamente na perda de carga produzida pelo CPVC em relação às tubulações de cobre.

5.2. Verificação do desempenho

No caso deste trabalho, determinou-se que há a necessidade de elevar o boiler em uma cota de 8,15 metros em relação ao piso do primeiro pavimento. Sendo assim, ele ficaria a uma altura de 1,70 metros da laje.

Dessa forma, pôde-se verificar a pressão dinâmica crítica da residência, que seriam as pressões dinâmicas dos chuveiros que estão no primeiro pavimento. Portanto, nota-se que os chuveiros do primeiro pavimento estão em cotas de 5,45 metros em relação ao piso do pavimento solo e alturas de 2,20 metros em relação ao piso do primeiro pavimento. Considerando as perdas de cargas calculadas e aplicando a Equação 13 nos pontos críticos, tem-se as pressões dinâmicas nos chuveiros do primeiro pavimento (Figura 5).

Figura 5 - Cargas de pressão dinâmica nos trechos críticos da instalação predial de água quente estudada.



Fonte: Do autor.

Sendo assim, pôde-se observar que as pressões dinâmicas nos trechos críticos são maiores do que 1 m.c.a, estando em conformidade com a norma e garantindo o bom funcionamento da instalação predial de água quente. Entretanto, destaca-se que, como as perdas de carga do cobre são menores, há maior pressão dinâmica disponível para o funcionamento do sistema. Dessa forma, caso o cobre seja o material escolhido para as

tubulações da instalação hidráulica predial de água quente, o reservatório poderia estar em uma cota mais baixa, comparado à cota necessária para atingir a pressão mínima utilizando o CPVC. Assim, o material pode ser escolhido por questões arquitetônicas do telhado.

5.3.Comparação orçamentária

Além do desempenho hidráulico dos materiais, a questão orçamentária deve ser muito bem discutida, já que pode ser um fator determinante para a escolha do material a ser empregado. Então, para tal, foram comparados valores de peças e acessórios necessários para a execução da instalação hidráulica predial de água quente contida neste trabalho. Algumas dessas peças são comuns, alterando apenas a matéria-prima entre elas. As quantidades de peças e acessórios necessários para a execução do projeto discutido, independente do material escolhido, são mostradas na Tabela 6.

Tabela 6 - Quantidade de peças e acessórios necessários para a execução da instalação hidráulica predial discutida neste trabalho.

Peças e Acessórios	Quantidade
Curva de 45° 22mm	5
Te de saída lateral 15mm	2
Te de saída lateral 22mm	5
Curva de 90° 15mm	9
Curva de 90° 22mm	8
Curva de transposição 15 mm	5
Curva de transposição 22 mm	4
Redutor	4
Tê Misturador 22 mm	2

Fonte: Do autor.

As peças e acessórios que estão descritos na Tabela 6 podem ser encontradas em ambos os materiais, conservando as medidas nominais e variando seus valores de aquisição. Ademais, é importante salientar que os Registros de Pressão e Registros de Gaveta não entraram no orçamento, pois são acessórios comumente produzidos de

diversos materiais e que coexistem com os materiais estudados, podendo estes serem comuns a qualquer instalação, independente da escolha dos materiais da tubulação.

Outro item necessário para a execução do projeto são os tubos. Porém, há algumas características que variam na aquisição, dependendo da escolha do material. Os tubos de CPVC, por exemplo, foram orçados em barras de 3 metros. Já os tubos de cobre foram orçados em barras de 2,5 metros. Sendo assim, a Tabela 7 mostra a quantidade de barras necessárias para executar o projeto com cada material.

Tabela 7 - Quantidade de tubos necessários de cada material para execução das instalações prediais de água quente avaliadas.

Tubo	Quantidade	
	CPVC (Un. x 3m)	Cobre (Un. x 2,5 m)
15 mm	8	9
22 mm	8	9

Fonte: Do autor.

Por fim, o uso do cobre nas tubulações exige, também, o uso de um isolante térmico, já que a capacidade de troca de calor do cobre com o meio é elevada, ao contrário do CPVC, que tem a capacidade de manter o calor, podendo dispensar o uso de isolantes térmicos, reduzindo os custos com a não utilização desse material. Nesse caso, a escolha pelo cobre requer a compra dos isolantes térmicos, que são vendidos em trechos de 2 metros. A Tabela 8 determina a quantidade necessária para a execução do projeto estudado neste trabalho.

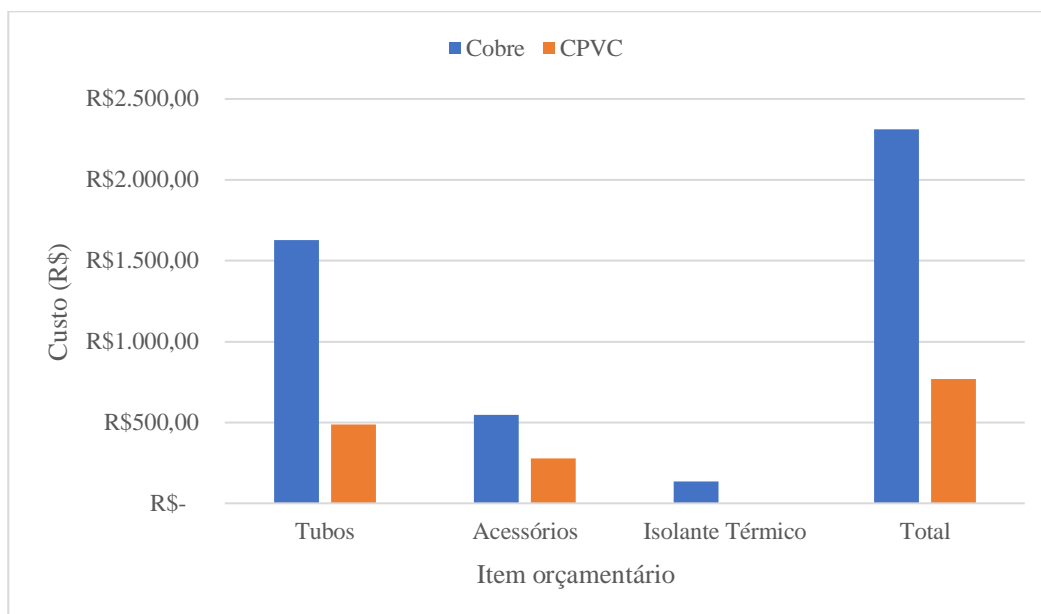
Tabela 8 - Quantidade de isolantes térmicos necessários para execução do projeto de instalação predial de água quente estudada em cobre.

Isolante para tubulação	Quantidade
15 mm	12
22 mm	12

Fonte: Do autor.

O valor final do orçamento dos materiais necessários para o projeto, escolhendo o cobre ou o CPVC, é apresentado na Figura 6, que mostra, também, os valores de seus tubos, acessórios e isolante térmico, no caso do cobre.

Figura 6 - Custo com tubos, acessórios, isolantes térmicos e valor final das instalações hidráulicas prediais de água quente estudadas de cobre e CPVC.



Fonte: Do autor.

Dessa forma, pode-se perceber que, além dos custos de tubos e acessórios produzidos em CPVC serem mais baratos, o cobre possui um custo extra com isolantes térmicos, dispensável em seu concorrente. Além disso, mesmo se não houvesse a necessidade de isolar termicamente, o cobre ainda seria o material de maior custo. Assim, esses custos maiores fazem com que o cobre custe R\$ 52,45 por metro linear de instalação, em comparação aos R\$ 17,41 por metro linear exigidos na instalação do CPVC, sendo uma diferença considerável na comparação orçamentária entre esses materiais.

6. CONCLUSÃO

Para a instalação estudada, pôde-se concluir que os traçados realizados para instalação hidráulica de água quente foram dispostos de acordo com as instalações hidráulicas de água fria, possibilitando suas coexistências. Além disso, com a disposição dos traçados, há uma economia de materiais, evitando o desperdício e atendendo os pontos de demanda necessários.

Quando se trata de desempenho hidráulico, pode-se dizer que o cobre é a melhor escolha, se comparado ao CPVC. Suas perdas de carga chegaram a ser praticamente a metade do que as perdas de carga dos tubos de CPVC. Apesar da rugosidade do cobre ser o dobro da rugosidade do CPVC, a característica hidráulica responsável pela grande diferença de perdas de carga são as espessuras da parede de seu tubo. Enquanto as tubulações de cobre precisam de uma parede menos espessa para se tornar resistente, o CPVC precisa de maior espessura das paredes para alcançar uma resistência satisfatória para o uso hidráulico do material.

Entretanto, quando o uso desses materiais é comparado financeiramente, o CPVC demonstra ser a escolha de melhor custo versus benefício. O custo dos materiais produzidos a base de CPVC, para este projeto, chegou a ser três vezes inferior ao custo dos materiais em cobre que, além de peças e acessórios em comum com o CPVC, requer, também, o uso de isolantes térmicos, que oneram ainda mais a instalação. Apesar dessa peculiaridade, mesmo sem os isolantes térmicos, a escolha pelo cobre ainda teria um custo maior no projeto.

Assim, mesmo que o cobre seja superior ao CPVC no quesito de desempenho hidráulico, o CPVC é um material de produção otimizada, possui um preço mais atrativo e possui, também, desempenho hidráulico satisfatório, sendo um ótimo substituto ao cobre em instalações hidráulicas prediais de água quente.

REFERÊNCIAS

AMANCO. Linha Amanco Flextemp. 2015. Disponível em <<http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/collapse/file/50/M anual-FLEXTEMP-2015.pdf>> Acesso em: 21 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

ASTRA. Manual Técnico Astrapex. 2014. Disponível em <<http://www.astrasa.com.br/arquivos/pdf/manual-tecnico-astrapex.pdf>> Acesso em: 21 ago. 2019.

Azevedo Netto, José M. de.; Fernández y Fernández, Miguel. **Manual de Hidráulica [livro eletrônico]**. 9ª edição. São Paulo: Blucher, 2018. 632p.

Carvalho Júnior, Roberto de. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura [livro eletrônico]**. São Paulo: Blucher, 2018. 376p.

ELUMA. Catálogo Eluma. 2009. Disponível em <https://www.cfg.com.br/up_catalogos/Eluma_-_2009.pdf> Acesso em: 11 out. 2019.

EPEX. Isolamento Térmico Tubex. Disponível em <<https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/6156/24237/tubex.pdf>> Acesso em: 21 ago. 2019.

Esteves, F.A. (Coord.) 2011. **Fundamentos de Limnologia**. 3ª Ed. Interciência. Rio de Janeiro. 790p.

Heilmann, Armando. **Introdução aos fenômenos de transportes: características e dinâmica dos fluidos**. Curitiba: InterSaber, 2017. 182p.

Hibbeler, Russell Charles. **Mecânica dos fluidos** [tradução Daniel Vieira]. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016. 819p.

Houghtalen, R. J.; Hwang, N H C; Akan, A. O. **Engenharia Hidráulica** [tradução Luciana Teixeira]. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

Ilha, M. S., Gonçalves, O. M., & Kavassaki, Y. **Sistemas Prediais de Água Quente**. São Paulo: EPUSP, 1994.

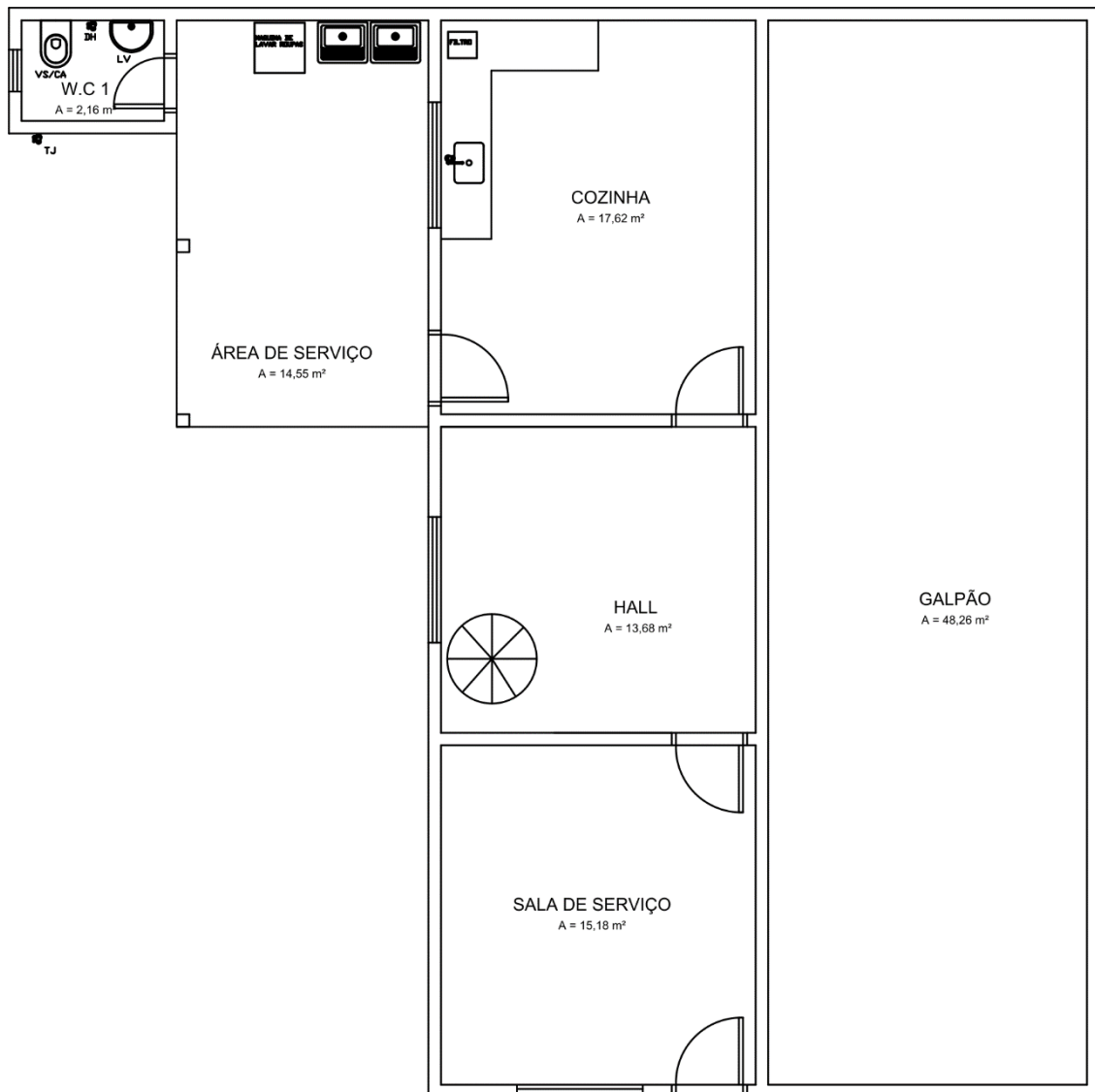
Schwoerbel, J. **Handbook of Limnology**. Chichester, Inglaterra: Ellis Horwood, 1987.

TIGRE. Aquatherm: Catálogo Técnico. 2011. Disponível em <<https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-aquatherm.pdf>> Acesso em: 11 out. 2019.

TIGRE. Pex Tigre: Linha Água Fria e Água Quente. 2017. Disponível em <https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/default/files/produtos/ficha-tecnica/PEX_24.pdf> Acesso em: 21 ago. 2019.

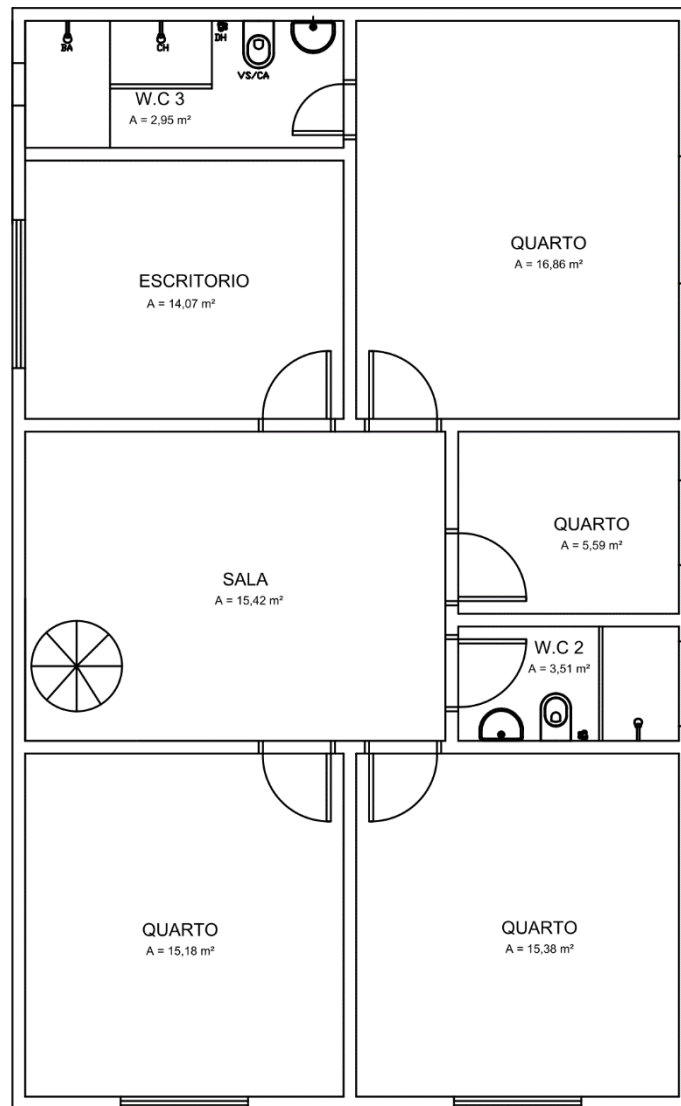
APÊNDICE A

Figura 7 - Pavimento Térreo da edificação unifamiliar base estudada



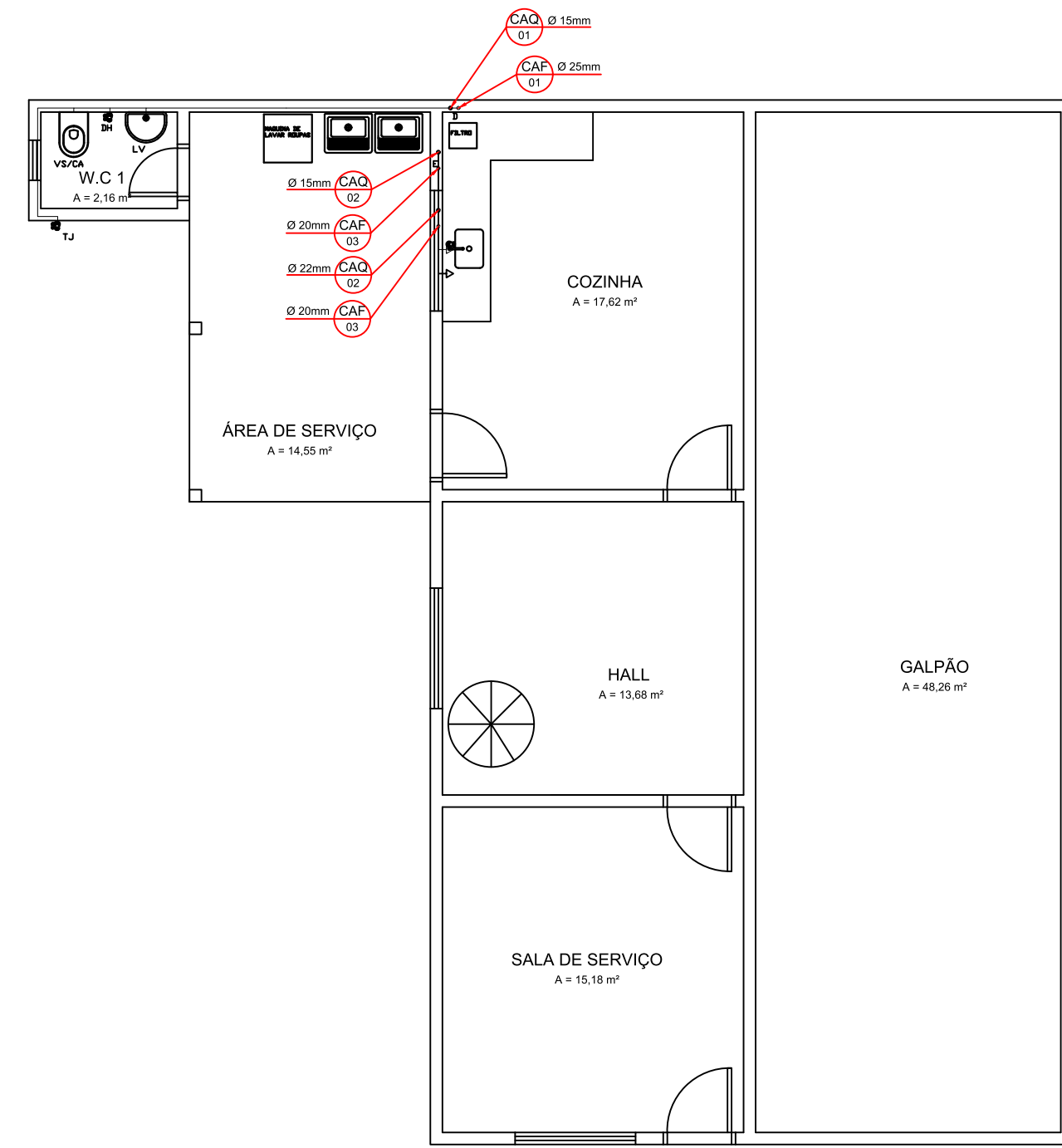
Fonte: Do autor.

Figura 8 - Pavimento Superior da edificação unifamiliar base estudada

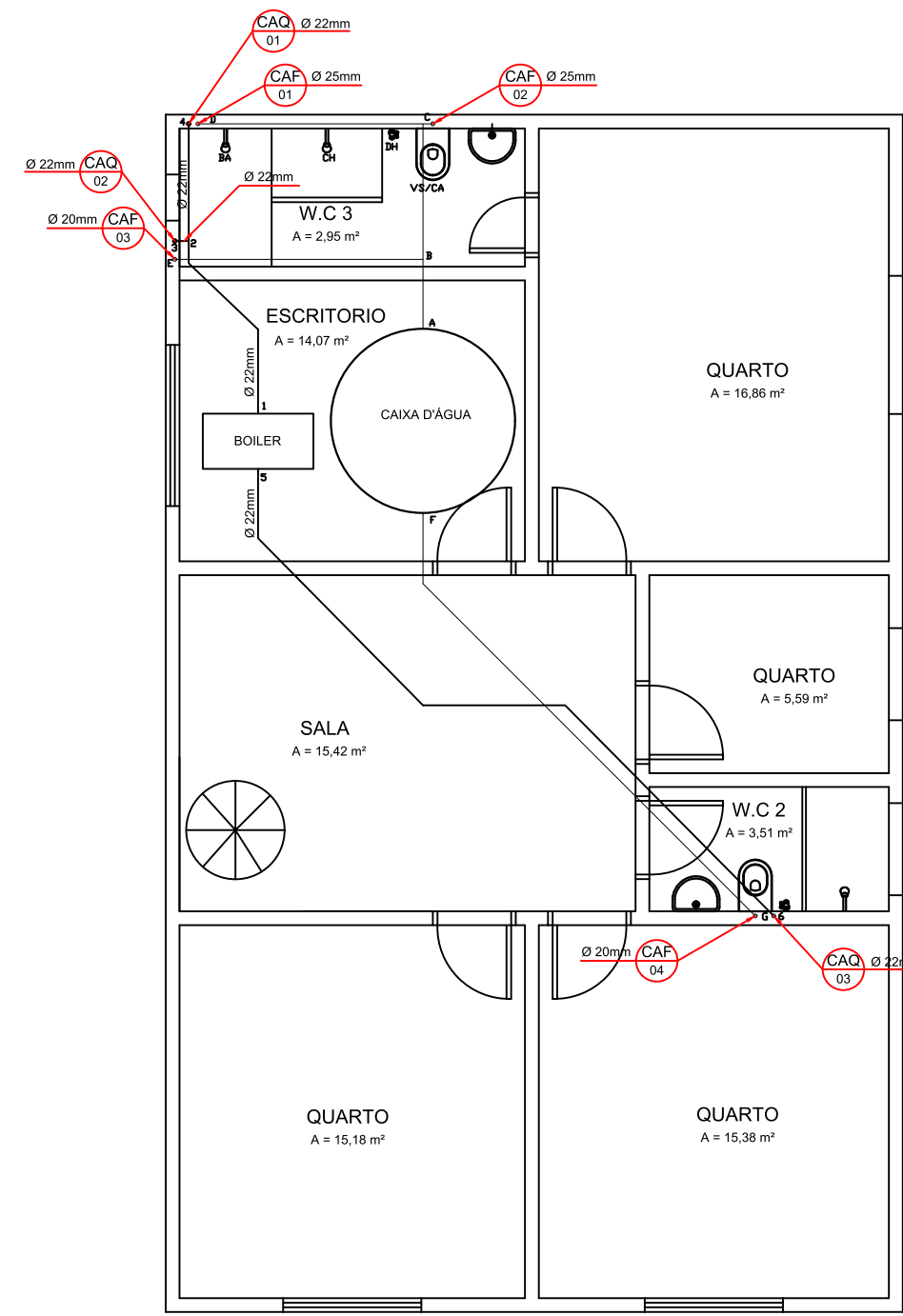


Fonte: Do autor.

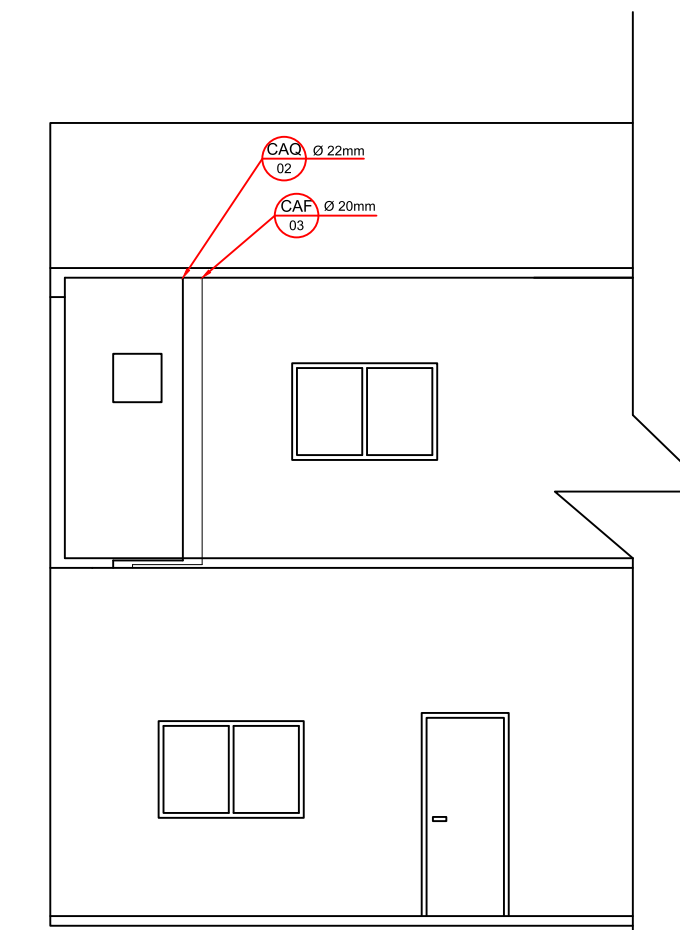
ALTURA DO PONTO DE ÁGUA DAS PEÇAS	
PEÇAS	h PISO ACAB.
LAVATÓRIO	60 cm
DUCHA HIG.	50 cm
CHUVEIRO	220 cm
VASO SANIT.	20 cm
BANHEIRA	30 cm
PIA COZINHA	90 cm
TANQUE	115 cm
REGISTRO PRESSÃO	110 cm
REGISTRO GAVETA	180 cm



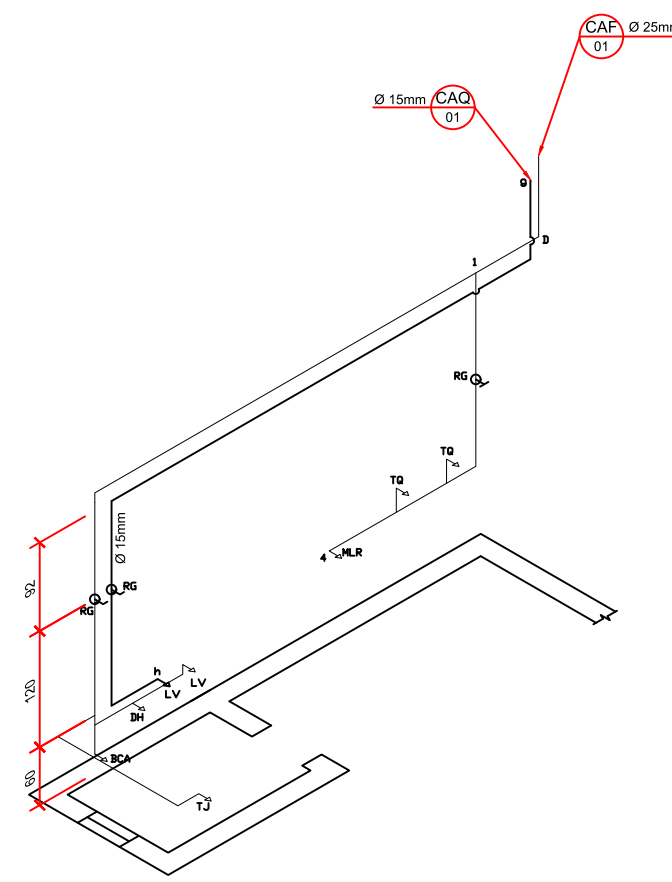
DISTRIBUIÇÃO HIDRÁULICA - TÉRREO
ESCALA: 1:75



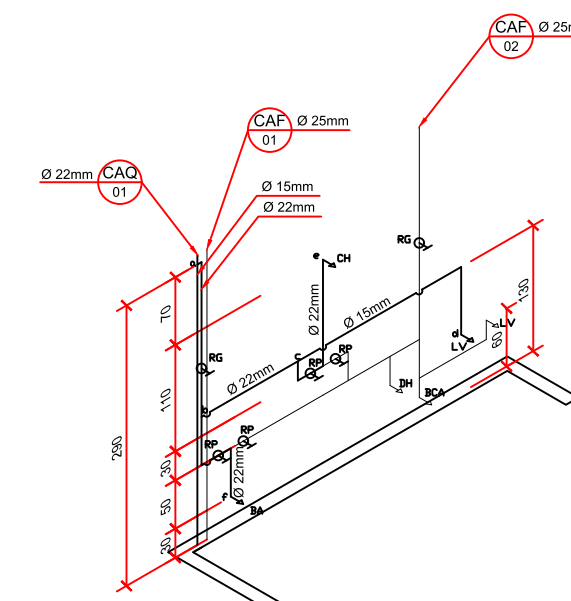
DISTRIBUIÇÃO HIDRÁULICA- PAV SUPERIOR
ESCALA: 1:75



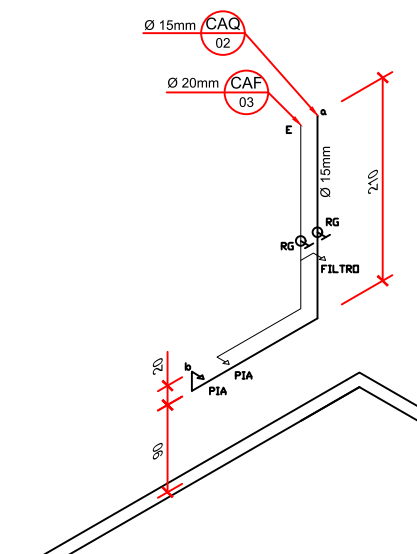
REPRESENTAÇÃO DO DESVIO CAQ 02 e CAF 03
ESCALA: 1:75



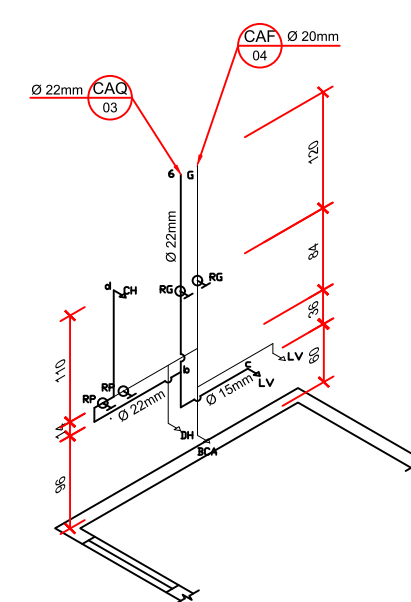
ISOMÉTRICO W.C. 1 E ÁREA DE SERVIÇO
ESCALA: 1:75



ISOMÉTRICO W.C. 3
ESCALA: 1:75



ISOMÉTRICO COZINHA
ESCALA: 1:75



ISOMÉTRICO W.C. 2
ESCALA: 1:75

LEGENDA			
CA	COLINA D'ÁGUA	CPI	CAIXA DE PASSAGEM
RG	REGISTRO DE GAVETA	CS	CAIXA SIFONADA
RP	REGISTRO DE PRESSÃO	DG	CAIXA DE GORDURA
CH	CHUVEIRO		
LV	LAVATÓRIO		
PIA	PIA		
BCA	BACIA SANITÁRIA C/ CAIXA ACOIADA		
DH	DUCHA HIGIÊNICA		
TJ	TORNEIRA DE JARDIM		



Título:
**COMPARAÇÃO TÉCNICA E ORÇAMENTÁRIA DE UMA INSTALAÇÃO
HIDRÁULICA PREDIAL DE ÁGUA QUENTE COM MATERIAIS DE
TUBULAÇÃO DISTINTOS**

Descrição:
Apêndice B

Escala:	Unidade:	Data:
INDICADA	CENTIMETRO	OCTUBRO/2019

Autor:	PEDRO HENRIQUE BARBOSA MORI
Orientador:	PROF. DR. MICHAEL SILVEIRA THEBALDI
Coorientador:	MATEUS ALEXANDRE DA SILVA

Conteúdo da prancha:
Planta Baixa de Distribuição Hidráulica do Térreo e Pav Superior; Isométrico WC 1 e Área de Serviço; Isométrico WC 3; Isométrico Cozinha; Isométrico WC 2.

Área do terreno:	Área construída:	Tipo de Folha:	Prancha:
585 m²	TÉRREO: 125,00 m² PAV SUPERIOR: 104,00 m² TOTAL: 229,00 m²	A1	1/1

APÊNDICE C

Tabela 9 - Resultados obtidos nos trechos dos barriletes que abastecem as colunas.

Trecho	Aparelhos Sanitários	Σ Pesos	DN (mm)	Q (l/s)	Lreal (m)
1-2	PIA+CH+LV+BA+LV	2,7	22	0,49	2,19
2-3	PIA	0,7	22	0,25	0,15
2-4	CH+LV+BA+LV	2	22	0,42	1,27
5-6	CH+LV	0,7	22	0,25	8,06

Fonte: Do autor.

Tabela 10 - Resultados obtidos nos trechos que abastecem o WC 1 e WC 3.

Trecho	Aparelhos Sanitários	Σ Pesos	DN (mm)	Q (l/s)	Lreal (m)
4-a	CH+LV+BA+LV	2	22	0,42	0,1
a-b	BA+CH+LV	1,7	22	0,39	1,65
b-c	CH+LV	0,7	22	0,25	1,15
c-d	LV	0,3	15	0,16	2,65
c-e	CH	0,4	22	0,19	1,6
b-f	BA	1	22	0,30	1,35
a-h	LV	0,3	15	0,16	10,67

Fonte: Do autor.

Tabela 11 - Resultados obtidos nos trechos que abastecem a Cozinha.

Trecho	Aparelhos Sanitários	Σ Pesos	DN (mm)	Q (l/s)	Lreal (m)
3-a	PIA	0,3	15	0,16	3,72
a-b	PIA	0,3	15	0,16	3,8

Fonte: Do autor.

Tabela 12 - Resultados obtidos nos trechos que abastecem o WC 2.

Trecho	Aparelhos Sanitários	Σ Pesos	DN (mm)	Q (l/s)	Lreal (m)
6-b	LV+CH	0,7	22	0,25	2,04
b-c	LV	0,3	15	0,16	1,17
b-d	CH	0,4	22	0,19	2,5

Fonte: Do autor.

Tabela 13 - Resultados dos diâmetros, áreas úteis e velocidades dos tubos de Cobre e CPVC dos barriletes que abastecem as colunas.

Trecho	Cobre				CPVC		
	DN (mm)	DI (mm)	S (mm ²)	V (m/s)	DI (mm)	S (mm ²)	V (m/s)
1-2	22	20,8	0,00034	1,45	18	0,00025	1,94
2-3	22	20,8	0,00034	0,74	18	0,00025	0,99
2-4	22	20,8	0,00034	1,25	18	0,00025	1,67
5-6	22	20,8	0,00034	0,74	18	0,00025	0,99

Fonte: Do autor.

Tabela 14 - Resultados dos diâmetros, áreas úteis e velocidades dos tubos de Cobre e CPVC dos trechos que abastecem o WC1 e WC3.

Trecho	Cobre				CPVC		
	DN (mm)	DI (mm)	S (mm ²)	V (m/s)	DI (mm)	S (mm ²)	V (m/s)
4-a	22	20,8	0,00034	1,25	18	0,00025	1,67
a-b	22	20,8	0,00034	1,15	18	0,00025	1,54
b-c	22	20,8	0,00034	0,74	18	0,00025	0,99
c-d	15	14	0,00015	1,07	11,8	0,00011	1,50
c-e	22	20,8	0,00034	0,56	18	0,00025	0,75
b-f	22	20,8	0,00034	0,88	18	0,00025	1,18
a-h	15	14	0,00015	1,07	11,8	0,00011	1,50

Fonte: Do autor.

Tabela 15 - Resultados dos diâmetros, áreas úteis e velocidades dos tubos de Cobre e CPVC dos trechos que abastecem a Cozinha.

Trecho	Cobre				CPVC		
	DN (mm)	DI (mm)	S (mm ²)	V (m/s)	DI (mm)	S (mm ²)	V (m/s)
3-a	15	14	0,00015	1,07	11,8	0,00011	1,50
a-b	15	14	0,00015	1,07	11,8	0,00011	1,50

Fonte: Do autor.

Tabela 16 - Resultados dos diâmetros, áreas úteis e velocidades dos tubos de Cobre e CPVC dos trechos que abastecem o WC 2.

Trecho	Cobre				CPVC		
	DN (mm)	DI (mm)	S (mm ²)	V (m/s)	DI (mm)	S (mm ²)	V (m/s)
6-b	22	20,8	0,00034	0,74	18	0,00025	0,99
b-c	15	14	0,00015	1,07	11,8	0,00011	1,50
b-d	22	20,8	0,00034	0,56	18	0,00025	0,75

Fonte: Do autor.

Tabela 17 - Acessórios que compõem os trechos dos barriletes que abastecem as colunas e seus respectivos comprimentos equivalentes e virtuais para ambos os materiais.

Trecho	Peças e Acessórios	Cobre		CPVC		
		Lreal (m)	\sum Leq (m)	Lvirtual (m)	\sum Leq (m)	Lvirtual (m)
1-2	Ent. Borda+ Curva 45°+curva 45°+Tê SL	2,19	5,1	7,290	5,1	7,290
2-3	Curva 90°	0,15	0,6	0,750	0,6	0,750
2-4	Curva 90°	1,27	0,6	1,870	0,6	1,870
5-6	Ent. Borda+Curva 45°+Curva 45°+Curva 45°+Curva 90°	8,06	3	11,060	3	11,060

Fonte: Do autor.

Tabela 18 - Acessórios que compõem os trechos que abastecem o WC 1 e WC 3 e seus respectivos comprimentos equivalentes e virtuais para ambos os materiais.

Trecho	Peças e Acessórios	Cobre		CPVC		
		Lreal (m)	\sum Leq (m)	Lvirtual (m)	\sum Leq (m)	Lvirtual (m)
4-a	Tê SL	0,1	3,1	3,200	3,1	3,200
a-b	Curva 90°+Tê SL+RG	1,65	18,7	20,350	18,7	20,350
b-c	CT	1,15	0,4	1,550	0,4	1,550
c-d	Tê SL+Rd+CT+CT+Curva90°	2,65	3,584	6,234	3,5708	6,221
c-e	Tê SL+Rd+RP+Mist	1,6	7,5248	9,125	7,508	10,220
b-f	Curva 90°+CT+RP+Curva 90°	1,35	1,6	2,950	1,6	5,838
a-h	CT+Curva 90° +CT+Curva 90°+RG+Curva 90°+Rd	10,67	15,284	25,954	15,2708	25,941

Fonte: Do autor.

Tabela 19 - Acessórios que compõem os trechos que abastecem a Cozinha e seus respectivos comprimentos equivalentes e virtuais para ambos os materiais.

Trecho	Peças e Acessórios	Cobre		CPVC		
		Lreal (m)	\sum Leq (m)	Lvirtual (m)	\sum Leq (m)	Lvirtual (m)
3-a	Curva 90°+Curva 90°+Rd	3,72	0,884	4,604	0,8708	4,591
a-b	RG+Curva 90°+Curva 90°	3,8	11,9	15,700	11,9	15,700

Fonte: Do autor.

Tabela 20 - Acessórios que compõem os trechos que abastecem o WC 2 e seus respectivos comprimentos equivalentes e virtuais para ambos os materiais.

Trecho	Peças e Acessórios	Cobre		CPVC		
		Lreal (m)	\sum Leq (m)	Lvirtual (m)	\sum Leq (m)	Lvirtual (m)
6-b	CT + RG	2,04	15,4	17,440	15,4	17,440
b-c	Tê SL+Rd+Curva 90°+CT	1,17	3,184	4,354	3,1708	4,341
b-d	Tê SL+Rd+CT+Curva 90°+Curva 90°+RP+Mist	2,5	6,8248	9,325	6,808	10,420

Fonte: Do autor.

APÊNDICE D

Tabela 21 - Resultados do número de Reynolds, fator f e perda de carga para cada trecho de barriletes dimensionados em ambos os materiais.

Trechos	Cobre			CPVC		
	Reynolds	f	hf (m)	Reynolds	f	hf (m)
1-2	72536,499	0,019	0,719	83819,954	0,019	1,436
2-3	36933,777	0,022	0,022	42679,032	0,022	0,044
2-4	62429,478	0,020	0,141	72140,730	0,019	0,282
5-6	36933,777	0,022	0,329	42679,032	0,022	0,656

Fonte: Do autor.

Tabela 22 - Resultados do número de Reynolds, fator f e perda de carga para cada trecho que abastece o WC 1 e WC3 dimensionados em ambos os materiais.

Trechos	Cobre			CPVC		
	Reynolds	f	hf (m)	Reynolds	f	hf (m)
4-a	62429,478	0,020	0,242	72140,730	0,019	0,482
a-b	57557,135	0,020	1,329	66510,467	0,019	2,653
b-c	36933,777	0,022	0,046	42679,032	0,022	0,092
c-d	35922,838	0,022	0,579	42620,316	0,022	1,306
c-e	27919,311	0,024	0,789	32262,315	0,023	1,481
b-f	44144,307	0,021	1,679	51011,200	0,021	3,246
a-h	35922,838	0,022	2,411	42620,316	0,022	5,446

Fonte: Do autor.

Tabela 23 - Resultados do número de Reynolds, fator f e perda de carga para cada trecho que abastece a Cozinha dimensionados em ambos os materiais.

Trechos	Cobre			CPVC		
	Reynolds	f	hf (m)	Reynolds	f	hf (m)
3-a	35922,838	0,022	0,428	42620,316	0,022	0,964
a-b	35922,838	0,022	1,459	42620,316	0,022	3,296

Fonte: Do autor.

Tabela 24 - Resultados do número de Reynolds, fator f e perda de carga para cada trecho que abastece o WC 2 dimensionados em ambos os materiais.

Trechos	Cobre			CPVC		
	Reynolds	f	hf (m)	Reynolds	f	hf (m)
6-b	36933,777	0,022	0,519	42679,032	0,022	1,034
b-c	35922,838	0,022	0,405	42620,316	0,022	0,911
b-d	27919,311	0,024	0,793	32262,315	0,023	1,489

Fonte: Do autor.