



LAURA PEDROZO

**APARELHOS SANITÁRIOS DE DIFERENTES VAZÕES E SEU
EFEITO SOBRE O DIMENSIONAMENTO E
FUNCIONAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA
FRIA**

**LAVRAS – MG
2022**

LAURA PEDROZO

**APARELHOS SANITÁRIOS DE DIFERENTES VAZÕES E SEU
EFEITO SOBRE O DIMENSIONAMENTO E
FUNCIONAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA
FRIA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado 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
2022**

LAURA PEDROZO

**APARELHOS SANITÁRIOS DE DIFERENTES VAZÕES E SEU
EFEITO SOBRE O DIMENSIONAMENTO E
FUNCIONAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA
FRIA**

**SANITARY FIXTURES WITH DIFFERENT FLOWS AND THEIR
EFFECT ON THE DESIGN AND OPERATION OF BUILDING
POTABLE WATER SUPPLY INSTALLATIONS**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Civil, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 13 de setembro de 2022

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi - DRH UFLA

Msc. Marina Neves Merlo - DRH UFLA

Msc. Miguel Ángel Corea Alvarez – DRH UFLA



Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi

Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Claudineia Pedrozo e Paulo Pedrozo, e ao meu irmão, Marco Aurélio, pelo carinho, dedicação, educação, por sempre acreditarem nos meus sonhos e por me apoiarem em todas as minhas decisões. Graças a vocês posso viver momentos incríveis como esse!

Aos meus amigos agradeço pelo companheirismo, por estarem comigo nos momentos difíceis e também nos de alegria. Vocês foram essenciais nessa jornada!

Agradeço também ao meu professor e orientador, Michael, pela dedicação, suporte e paciência. Foi um privilégio tê-lo como professor.

Por fim, agradeço a Ele, por sempre guiar meus passos e iluminar meu caminho. Sou muito grata e abençoada por ter colocado todas essas pessoas em minha vida.

RESUMO

Como recomendado na ABNT NBR 5626:1998, os dois métodos mais utilizados para o dimensionamento de instalações prediais de água fria são o Método do Consumo Máximo Provável, em que é considerada uma constante probabilística de uso simultâneo dos aparelhos, e o Método do Consumo Máximo Possível, baseado no uso simultâneo dos pontos de utilização. Porém, com a nova norma ABNT NBR 5626:2020 há possibilidade do uso de um coeficiente de vazão (K) das peças de utilização, que pode ser utilizado no dimensionamento. Logo, neste trabalho, foi realizado o dimensionamento de instalação hidráulica de água fria de uma residência multifamiliar pelo Método do Consumo Máximo Provável e pelo Método do Consumo Máximo Possível em que, neste, foram empregados os valores de K e foram considerados cenários de uso simultâneo, contando com o suporte do software EPANET 2.2, que simula o funcionamento hidráulico da rede. Com isso, objetiva-se encontrar um cenário que tenha resultado em um dimensionamento racional, além de verificar o impacto do uso de diferentes modelos de aparelhos sanitários no funcionamento hidráulico e no dimensionamento da rede. De acordo com os resultados, o cenário em que foi considerado todos os aparelhos sanitário, exceto a bacia sanitária com válvula de descarga, foi o que gerou maior interesse prático, já que considera mais aparelhos sendo utilizados concomitantemente e ainda assim proporcionou diâmetros semelhantes ao do Método do Consumo Máximo Provável. Além disso, foi notório que a presença da válvula de descarga na bacia sanitária impossibilitou o dimensionamento. Por fim, pôde-se notar o impacto do aumento da vazão no funcionamento hidráulico da rede, uma vez que os diâmetros também foram aumentados.

Palavras-chave: Consumo Máximo Provável. Consumo Máximo Possível. EPANET

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Planta baixa do pavimento tipo.....	23
Figura 2 – Traçado em planta do barrilete da edificação.....	24
Figura 3 – Traçado em planta dos ramais e sub-ramais abastecidos pelas colunas 1 e 2.....	25
Figura 4 – Traçado em planta dos ramais e sub-ramais abastecidos pelas colunas 3 e 4.....	25
Figura 5 – Traçado em planta dos ramais e sub-ramais abastecidos pelas colunas 5 e 6.....	26
Figura 6 – Representação isométrica das colunas 1, 2 e 3.....	26
Figura 7 – Representação isométrica da coluna 4, 5 e 6.....	27
Figura 8 – Vista das colunas 1 e 2 que abastecem o banheiro.....	29
Figura 9 – Vista da coluna 3 que abastece a área de serviço e a cozinha.....	30
Figura 10 – Vista da coluna 4 que abastece a área de serviço e a cozinha.....	31
Figura 11 – Vista das colunas 5 e 6 que abastecem o banheiro.....	32
Figura 12 – Vista do barrilete.....	33
Figura 13 – Gráficos box-plot das vazões médias dos aparelhos sanitários.....	34
Figura 14 – Traçado da rede no EPANET 2.2.....	38
Figura 15 – Dimensionamento das colunas 1 e 2 que abastecem o banheiro.....	39
Figura 16 – Dimensionamento das colunas 5 e 6 que abastecem o banheiro.....	40
Figura 17 – Dimensionamento do barrilete.....	41
Figura 18 – Comparação dos diâmetros dos trechos do barrilete para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).....	44
Figura 19 – Comparação dos diâmetros dos trechos que abastecem o chuveiro 1 do último pavimento. A (aparelhos de baixa vazão); B (aparelhos de média vazão) e C (aparelhos de alta vazão).....	46
Figura 20 – Comparação dos diâmetros dos trechos que abastecem o chuveiro 2 do último pavimento. A (aparelhos de baixa vazão); B (aparelhos de média vazão) e C (aparelhos de alta vazão).....	47
Figura 21 – Comparação dos diâmetros dos trechos dos trechos que abastecem o chuveiro 1 do primeiro pavimento para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).....	49

Figura 22 – Comparação dos diâmetros dos trechos que abastecem o chuveiro 2 do primeiro pavimento para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).....50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesos relativos dos aparelhos sanitários.....	28
Tabela 2 – Valores de coeficiente de vazão (K) para cada modelo de aparelho sanitário e nível de vazão classificado.....	35
Tabela 3 – Comprimentos equivalentes expressos em diâmetros.....	37
Tabela 4 – Combinações de uso simultâneo dos aparelhos sanitários.....	38
Tabela 5: Carga de pressão dinâmica nos chuveiros do último pavimento para os diferentes cenários de funcionamento hidráulico e nível de vazão classificado para os aparelhos sanitários.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo geral.....	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 Sistemas prediais de água fria no Brasil: principais componentes, diretrizes e aspectos de projeto	13
3.2 Principais métodos de dimensionamento de sistemas prediais de água fria.....	14
3.3 Hidráulica aplicada ao dimensionamento de sistemas prediais de água fria.....	18
3.4 Modelo EPANET 2.2	21
4 MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1 Projeto arquitetônico e a rede de distribuição de água fria	23
4.2 Pré-dimensionamento pelo método do Pesos relativos	27
4.3 Coeficiente de vazão (K).....	33
4.4 Simulação hidráulica no EPANET 2.2.....	35
4.5 Dimensionamento pelo Método do Consumo Máximo Provável.....	38
4.6 Comparação entre os dimensionamentos	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
6 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, em função do preconizado na antiga ABNT NBR 5626:1998 e na literatura técnica nacional tradicional, os métodos mais utilizados para o dimensionamento são o Método do Consumo Máximo Provável dos Pesos Relativos e o Método do Consumo Máximo Possível. O primeiro baseia-se no cálculo das variáveis hidráulicas trecho a trecho, considerando coeficientes probabilísticos de uso simultâneo dos aparelhos sanitários, enquanto o segundo considera que a rede teria sua totalidade de aparelhos sanitários em uso simultâneo.

Porém, a ABNT NBR 5626:2020 possibilita o dimensionamento da rede por meio do coeficiente de vazão (K), obtido por meio das curvas de vazão x pressão. Este valor pode ser introduzido em modelos numéricos computacionais, como o EPANET 2.2, para que se obtenha o funcionamento hidráulico da rede. Este software, baseado no Método do Consumo Máximo Possível, permite a obtenção de parâmetros hidráulicos em cada nó ou trecho da tubulação, além de possibilitar a realização de simulação de aparelhos sanitários operando simultaneamente.

Sendo assim, o valor de K está relacionado com os níveis de vazão em que os aparelhos sanitários operam e, estes níveis, quando são baixos, podem proporcionar economia de água para os usuários. Por isso, é importante que existam estudos que abordem qual a influência dos diferentes modelos de aparelhos sanitários no dimensionamento e no funcionamento hidráulico destes.

Portanto, neste trabalho, o objetivo foi analisar tecnicamente a utilização de modelos de aparelhos sanitários distintos quanto à sua curva de vazão x pressão, em um sistema hidráulico predial de água fria de uma edificação multifamiliar. Esta análise será feita por meio da verificação da possibilidade de dimensionamento racional utilizando cenários de uso simultâneo no EPANET 2.2.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar tecnicamente a utilização de modelos de aparelhos sanitários distintos quanto à sua curva de vazão x pressão, em um sistema hidráulico predial de água fria de uma edificação multifamiliar.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar o dimensionamento da rede, por meio do método probabilístico dos Pesos relativos;
- Dimensionar, por tentativas e com o auxílio do software EPANET 2.2, a rede ao se adotar curvas de vazão x pressão dos aparelhos sanitários classificadas como de baixa, média e alta vazão, para diferentes cenários de uso simultâneo dos aparelhos sanitários;
- Comparar tecnicamente os diversos cenários, por meio da análise dos diâmetros e funcionamento hidráulico das redes, além do dimensionamento obtido pelo Método do Consumo Máximo Provável;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Sistemas prediais de água fria no Brasil: principais componentes, diretrizes e aspectos de projeto

Os sistemas prediais de água fria (SPAF) no Brasil são regulamentados pela norma NBR 5626 - “Sistemas de prediais de água fria e água quente – projeto, execução, operação e manutenção”. Esta define as exigências técnicas quanto à economia, à segurança, à higiene e ao conforto dos usuários (ABNT, 2020). Sendo assim, o projeto hidráulico predial deve ser feito e executado em conformidade com a norma, de forma que proporcione conforto aos usuários, que preserve a potabilidade da água, que garanta o fornecimento de água contínuo, que evite ruídos inadequados à edificação e que possibilite a manutenção facilitada (GHISI, 2013).

Segundo Veról et al. (2018), os sistemas prediais de água fria podem ser divididos em três subsistemas: de abastecimento, de medição e de distribuição.

O sistema de abastecimento de água compreende o trecho do ramal predial e do alimentador predial, que podem ser abastecidos por meio da rede urbana de distribuição de água potável ou por meio de fontes particulares. No primeiro caso, segundo Carvalho Júnior (2016), a entrada de água será feita por meio do ramal predial executado pela concessionária responsável pelo abastecimento, contudo, antes da solicitação do fornecimento, deve-se obter informações a respeito das limitações de vazão e de pressão e também sobre a constância do abastecimento. Já para o abastecimento por meio de fontes particulares, a NBR 5626 exige que seja feita a verificação do padrão de potabilidade da água. Além disso, para uso misto, a norma solicita o cuidado para evitar o refluxo da água proveniente da fonte particular para a concessionária, afim de evitar a contaminação desta (ABNT, 2020).

O abastecimento pode ser de forma direta, quando as peças de utilização do edifício estão ligadas diretamente ao alimentador predial, ou indireta, aquele que, por meio de um sistema de reservação, o sistema de abastecimento alimenta a rede de distribuição. Segundo Ilha et al. (1994), na distribuição direta pode-se empregar o sistema de bombeamento caso a pressão e a vazão mínimas oferecidas pela concessionária não forem suficientes. Além disso, o abastecimento indireto pode ser realizado apenas com um reservatório superior ou com um reservatório superior e um inferior, podendo possuir, caso necessário, um sistema de bombeamento. O sistema de abastecimento ainda pode ser hidropneumático, onde o escoamento na rede é pressurizado por meio de um tanque de pressão. De acordo com

Macintyre (1990), a sua função é substituir o reservatório elevado, que normalmente abastece os pontos de consumo. Para sistemas mistos, parte da alimentação da rede de distribuição é feita de forma direta e parte indiretamente (CARVALHO JÚNIOR, 2016).

Portanto, cada sistema de abastecimento possui vantagens e desvantagens. Veról et al. (2018) destaca que o sistema direto dispensa reservatórios, gera um menor custo na estrutura devido ao alívio de cargas nesta, porém, o sistema pode ficar inoperante diante da falta de água, além de poder contaminar a rede pública, caso esteja operando de forma inadequada. Já o sistema indireto, a rede predial fica menos exposta as falhas de abastecimento, uma vez que existe um reservatório, contudo, a estrutura é mais complexa e, por isso, exige um maior custo e maior tempo de execução.

O sistema de medição consiste em um hidrômetro, localizado entre o ramal predial e o alimentador predial, que tem a função de racionalizar o uso e possibilitar a cobrança mensal proporcional ao volume de água consumido em cada residência (CARVALHO JÚNIOR, 2016). Em edificações de múltiplas residências, a medição deve ser individual por unidade, podendo ser concentrada ou distribuída. De acordo com Veról et al. (2018), na modalidade concentrada, a instalação, a manutenção e a leitura são facilitados, uma vez que os medidores são posicionados próximos uns aos outros. Já na medição distribuída os medidores são posicionados ao longo de todo o edifício.

Já o sistema de distribuição compreende os elementos desde o reservatório superior (RS) ou desde a instalação elevatória, caso haja um reservatório inferior (RI), até os pontos de consumo. Esses elementos são: barrilete, colunas de distribuição, ramal e sub-ramal (CARVALHO JÚNIOR, 2016). Portanto, cada trecho desses elementos deve ser dimensionado separadamente, a fim de obter um projeto com vazão e pressão adequadas e sem superdimensionamento.

Com isto, o sistema predial de água fria é composto por: ramal predial, hidrômetro, alimentador predial, reservatório inferior, instalação elevatória, reservatório superior, barrilete, coluna de distribuição, ramal, sub ramal e pontos de utilização. Contudo, essa composição pode ser alterada se não houver necessidade de reservatório inferior e instalação elevatória na edificação (MACINTYRE, 1990).

Segundo Ilha et al. (1994), o ramal predial é o trecho de tubulação entre a rede pública de abastecimento de água e o aparelho medidor (hidrômetro). A instalação e a definição do ponto onde termina esse trecho é de responsabilidade da concessionária, quando do abastecimento público.

Os hidrômetros são classificados como hidrômetros de volume e de velocidade. O de

volume possui duas câmaras, de capacidade conhecida, que se enchem e esvaziam medindo o volume de água que passa pelo hidrômetro. O hidrômetro de velocidade mede o volume escoado por meio do número de rotações de uma hélice no seu interior, essas rotações são transmitidas a um sistema que registra em um marcador, de ponteiros ou de cifras, o volume de água escoado (REALI et al., 2002).

Conforme explicitado por Ilha et al. (1994), o alimentador predial é o trecho compreendido entre o hidrômetro e a primeira derivação, ou seja, é a tubulação que liga o hidrômetro à uma derivação (abastecimento direto) ou à entrada de um reservatório, superior ou inferior (abastecimento indireto).

O reservatório é o dispositivo responsável pelo armazenamento da água abastecida de forma indireta. Em conformidade com a norma NBR 5626, o reservatório deve ser resistente a corrosão, opaco ou ter proteção contra incidência solar, além de ser estanque afim de evitar a contaminação da água potável. Para a definição de sua capacidade, deve-se levar em conta a frequência de interrupção de fornecimento. O volume total deve atender a, no mínimo, 24 horas de consumo e ainda contar com volume adicional de combate a incêndio, de forma a assegurar o padrão de potabilidade. Caso não seja possível determinar o volume máximo permissível, a norma recomenda limitar o volume total ao valor que corresponda a três dias de consumo diário (ABNT, 2020).

Quando há necessidade de RS em residência multifamiliar, este deve ser dividido em dois ou mais compartimentos para permitir a manutenção sem comprometer a distribuição de água e o menor compartimento deve ser capaz de suprir a demanda no período de maior pico de consumo durante o tempo estimado para a manutenção. Ademais, cada compartimento deve operar como um reservatório autônomo. Já o reservatório inferior pode possuir apenas um compartimento se o volume de água destinado ao consumo no reservatório superior superar o volume demandado durante o período de limpeza do reservatório inferior (ABNT, 2020).

Por fim, de acordo com a ABNT (2020), o reservatório de água fria deve ser provido de uma tubulação que permita a extravasão do volume de água em excesso, caso o componente destinado a interrupção do abastecimento falhe, logo, o nível da superfície livre da água no reservatório deve-se situar abaixo do nível da tubulação de extravasão.

Ghisi (2013) descreveu a instalação elevatória como o sistema que eleva a pressão de água quando a pressão disponível na fonte não é suficiente, podendo estar presente tanto no abastecimento indireto, normalmente do RI para o RS, quanto no abastecimento direto. O sistema hidropneumático é um dos métodos utilizados para elevar a pressão de água, ele consiste na adoção de um equipamento de pressurização de água a partir de um reservatório

inferior.

O barrilete é o conjunto de tubulações que se origina no reservatório e da qual derivam as colunas de distribuição. As colunas ficam na posição vertical e são responsáveis por alimentar os ramais. Os ramais são derivações das colunas de distribuição e alimentam os sub ramais, que são as tubulações que ligam os ramais aos pontos de utilização (REALLI et al., 2002).

De acordo com Veról et al. (2018), os pontos de utilização são os componentes a jusante dos sub ramais que permitem, por meio da sua operação, a utilização da água. Eles devem ser locados de modo a atender as exigências do usuário quanto ao conforto e ao padrão da edificação. Além disso, leva-se em consideração os aspectos ergonômicos e de segurança e, por isso, cada ponto de utilização possui uma altura recomendada (CARVALHO JÚNIOR, 2016).

Os tubos utilizados nas instalações prediais de água fria podem ser de PVC rígido, aço carbono e de cobre. Contudo, a tubulação de PVC é a mais usual pois o material é mais leve e flexível, é resistente a corrosão, possui baixa condutividade térmica e menor custo. Já os tubos metálicos, possuem suscetibilidade à corrosão e maior custo (ILHA et al., 1994).

Para o dimensionamento dos componentes de reservação e abastecimento, é preciso verificar qual o consumo diário da edificação. Para isso, informações sobre a tipologia do edifício, o consumo diário per capita e a população são necessárias. Além disso, a vazão e a pressão também são determinantes para o dimensionamento (ILHA et al., 1994).

A instalação predial de água fria deve ser dimensionada de modo que a vazão de projeto estabelecida pela NBR 5626 esteja disponível no respectivo ponto de utilização no momento de uso. Em caso de uso simultâneo de dois ou mais pontos de utilização, a vazão de projeto deve estar plenamente disponível para atender a ambos os pontos com qualidade (VERÓL et al., 2018).

A pressão estática é a pressão exercida por um fluido em repouso. De acordo com a ABNT (2020) o seu valor máximo nos pontos de utilização é de 400 kPa, ou seja, a diferença entre a altura do reservatório superior e o ponto mais baixo da instalação predial deve ser aproximadamente 40 metros. Caso contrário, a tubulação pode estar sujeita ao golpe de ariete além de gerar ruídos elevados. Para edificações em que a altura excede a máxima, a norma recomenda o uso de válvulas redutoras de pressão ou a utilização de reservatórios intermediários (MACINTYRE, 1990).

Já a pressão dinâmica é exercida pelo fluido em escoamento, e é determinada pela pressão estática descontando-se as perdas de carga das conexões (CARVALHO JÚNIOR, 2016). A ABNT (2020) especifica que em qualquer ponto da rede de distribuição a pressão

mínima é de aproximadamente 5 kPa, exceto os trechos verticais na saída de água do reservatório para os barriletes. Além disso, a pressão dinâmica mínima nos pontos de utilização é de 10 kPa. O valor de pressão dinâmica ideal para o bom funcionamento de cada peça de utilização ou do aparelho sanitário é disponibilizado pelo fabricante, alternativamente, pode ser fornecido o fator de vazão K, dado pela relação entre vazão e pressão em dado ponto (JAGNEZI, 2016).

3.2. Principais métodos de dimensionamento de sistemas prediais de água fria

Creder (2012) traz que as instalações prediais devem funcionar como condutos forçados e, por isso, é importante que sejam definidos os valores de pressão, de vazão, de perda de carga e de velocidade para que o funcionamento seja adequado. A vazão é estabelecida em função do consumo dos pontos de utilização e a velocidade de escoamento deve ser limitada em 3 m/s, a fim de evitar ruídos excessivos e o golpe de aríete com intensidade prejudicial aos componentes do SPAF (ABNT 2020).

A demanda de água de uma edificação é uma informação necessária para o dimensionamento do ramal predial, do hidrômetro, do alimentador predial e do reservatório. Ela é calculada para o consumo de um dia e, para se calcular o consumo diário (CD), é preciso conhecer a quantidade de pessoas que irá ocupar a residência e as taxas de consumo per capita sugeridas pelas bibliografias técnicas, que variam conforme o tipo de ocupação (GHISI, 2013).

Veról et al. (2018) recomenda que, para realizar a estimativa da população em edificações residenciais, seja considerado que cada quarto social é ocupado por duas pessoas e o quarto de serviço por uma. Para as edificações comerciais, deve-se identificar a parcela da população fixa e a flutuante. Já para outras tipologias de edifício, são sugeridos os agentes consumidores de água. O consumo diário per capita é baseado nos hábitos do usuário, que podem variar em função do clima, da cultura e da tarifa. Sendo assim, a Equação 1 pode ser utilizada para o cálculo do consumo diário.

$$CD = C \times P \quad (1)$$

Em que:

CD: Consumo diário ($L d^{-1}$);

C: consumo diário per capita de água ($L d^{-1} hab$); e

P: população (hab).

De acordo com Ghish (2013), para o dimensionamento do sistema de distribuição deve-se determinar a vazão de cada trecho da tubulação. Isso pode ser feito por meio de dois métodos: consumo máximo possível e consumo máximo provável.

O consumo máximo possível admite que todos os aparelhos sanitários sejam utilizados simultaneamente, desta forma, as tubulações são dimensionadas com o maior valor de vazão possível. Embora seja antieconômico, essa hipótese ocorre em geral em instalações de estabelecimentos onde há horários rigorosos para utilização da água, como é o caso de indústrias, de fábricas, de hotéis, de quartéis e de instalações esportivas (MACINTYRE, 1990). O cálculo da vazão nesse método é feito por meio do somatório de vazão de todos aparelhos sanitários que estejam ligados na mesma tubulação (ILHA, 1994).

Já o consumo máximo provável, de acordo com Azevedo Netto (2015), baseia-se no fato de ser pouco provável a utilização simultânea de 100% dos aparelhos sanitários, por isso, este critério conduz a diâmetros menores do que pelo critério anterior. Existem alguns métodos para o dimensionamento, contudo, o mais recomendado é o Método da Soma dos Pesos (GUSH, 2013).

Conforme descrito por Macintyre (1990), Roy Hunter observou que apenas a soma das vazões dos aparelhos sanitários não corresponderia com a realidade, pois deve ser considerada a probabilidade do uso simultâneo dos aparelhos. Logo, atribuiu-se pesos para cada tipo de aparelho e esses pesos estão relacionados com o consumo, com uso de válvulas e com a tipologia do edifício. Além disso, foi estabelecida a dependência entre as descargas nos aparelhos e a soma total dos pesos. Sendo assim, a vazão é calculada por meio da Equação 2:

$$Q = C \times \sqrt{\Sigma P} \quad (2)$$

Em que:

Q: Vazão em volume (Ls^{-1});

C: Coeficiente de descarga ($0,3 Ls^{-1}$); e

ΣP : Somatório dos pesos correspondentes a todas as peças de utilização alimentadas pelo trecho considerado (adimensional).

Portanto, cada peça de utilização necessita de uma determinada vazão para um perfeito funcionamento, e essas vazões estão relacionadas empiricamente com um número convencional de peso dos aparelhos sanitários e esses pesos, por sua vez, têm relação direta

com os diâmetros mínimos necessários para o funcionamento das peças (CARVALHO JÚNIOR, 2016).

De acordo com a ABNT 2020, a pressão dinâmica ideal para o funcionamento da peça de utilização, operando com vazão de projeto, pode ser obtida pelo fabricante. Alternativamente, pode ser obtido o fator de vazão de cada peça de utilização, gerado por meio de curvas de vazão x pressão. O fator de vazão é dado pela Equação 3:

$$Q = K \times \sqrt{P} \quad (3)$$

Em que:

Q: vazão de projeto da peça de utilização (Ls^{-1});

K: fator de vazão ($Ls^{-1} kPa^{-0,5}$); e

P: pressão (kPa).

Por fim, é preciso verificar o funcionamento hidráulico, ou seja, analisar se o dimensionamento foi feito de forma correta. Para isso, a ABNT (2020) recomenda que seja feita a verificação da pressão dinâmica nos pontos de utilização e, o valor da pressão dinâmica mínima nos pontos de utilização é de 10 kPa. Portanto, quando a pressão dinâmica determinada for inferior que à mínima, deve-se adotar algumas medidas, tais como: aumentar a altura do reservatório, reduzir as perdas de cargas, aumentar o diâmetro das tubulações que antecedem o aparelho sanitário ou pressurizar a rede de distribuição (CARVALHO JÚNIOR, 2016).

3.3.Hidráulica aplicada ao dimensionamento de sistemas prediais de água fria

O escoamento no sistema predial de água fria se desenvolve sob pressão, ou seja, a pressão interna é diferente da pressão atmosférica. Nesse tipo de conduto, o movimento pode-se dar em qualquer sentido, além disso, as seções transversais são sempre fechadas e o fluido circulante as enche completamente (SILVA, 2006). Para dimensionar essas tubulações, então, deve-se considerar o princípio da conservação de energia. Assim, dado o escoamento em conduto forçado, faz-se um balanço entre a vazão, o diâmetro das tubulações e a pressão requerida nos pontos de abastecimento, considerando a carga hidráulica disponível (VERÓL et al., 2018).

De acordo com Veról et al. (2018), no dimensionamento das tubulações devem sempre ser consideradas as pressões mínimas e máximas admitidas nas peças de utilização, bem como

as pressões recomendadas pelos catálogos dos fabricantes dos pontos de utilização. Contudo, deve estar de acordo com os limites de pressão e velocidade de escoamento nas redes de distribuição para evitar problemas de ruído, desgaste por atrito excessivo e de golpe de aríete. O golpe de aríete é o fenômeno que se observa no escoamento de qualquer fluido em conduto forçado, quando ele é bruscamente interrompido ou iniciado. No período de tempo entre a interrupção e o retorno do fluido, pode também ocorrer a entrada de ar na tubulação, o que aumenta os efeitos da rápida elevação de pressão, que pode causar danos ao conduto e nos seus componentes, caso atinja níveis indesejáveis (CREDER, 2012).

Após o dimensionamento, deve-se calcular a velocidade em cada trecho da tubulação por meio da Equação 4. Contudo, a velocidade de escoamento deve ser limitada em 3 m/s para evitar a geração e propagação de ruídos em virtude da vibração das paredes do conduto (ABNT, 2020).

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

Em que:

V: velocidade média do escoamento (m s^{-1});

Q: vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); e

A: área da seção transversal (m^2).

Além disso, o líquido ao escoar pelo conduto e passar por conexões perde energia, por isso, a perda de carga distribuída e localizada são variáveis hidráulicas que devem ser analisadas (MACINTYRE, 1990).

A perda de carga distribuída acontece ao longo de tubos de seção constante, devido ao atrito entre as partículas e o conduto e entre as próprias partículas do fluido, nessa situação a perda só será considerável se houver trechos relativamente longos de condutos. Já a perda de carga localizada, acontece em locais das instalações em que o fluido sofre perturbações bruscas no seu escoamento, como nas conexões, diferentemente da perda de carga distribuída, essa possui grande magnitude em trechos curtos da tubulação (BRUNETTI, 2008). De acordo com Carvalho Júnior (2016), os tubos com maior comprimento, maior número de conexões, mais rugosos e com menores diâmetros, geram maiores perdas de carga. A perda de carga distribuída pode ser calculada pela fórmula de Fair-Whipple-Hsiao, utilizada para diâmetros até 50 mm, para tubos lisos (Equação 5) e para tubos rugosos (Equação 6), pela fórmula de Flamant, que

abrange diâmetros entre 16 e 160 mm (Equação 7) e pela fórmula de Darcy Weisbach (Equação 8):

$$J = 8,69 \times 10^5 \times Q^{1,75} \times d^{-4,75} \quad (5)$$

$$J = 20,2 \times 10^5 \times Q^{1,88} \times d^{-4,88} \quad (6)$$

$$J = 8,24 \times 10^5 \times Q^{1,75} \times d^{-4,75} \quad (7)$$

Em que:

J: perda de carga unitária (m. c. a. m^{-1});

Q: vazão (Ls^{-1}); e

d: diâmetro interno (mm).

$$J = f \times \frac{v^2}{d \times 2g} \quad (8)$$

Em que:

J: perda de carga unitária (m. c. a. m^{-1});

f: fator de atrito;

d: diâmetro interno (m);

v: velocidade de escoamento (ms^{-1}); e

g: aceleração da gravidade (ms^{-2}).

A perda de carga unitária é dada em m.c.a./m logo é preciso multiplica-la por um comprimento total. Este valor pode ser encontrado pela Equação 9 (MACINTYRE, 1990):

$$L_{total} = L_{real} + L_{eq} \quad (9)$$

Em que:

L_{total} : comprimento virtual (m);

L_{real} : comprimento real (m); e

L_{eq} : comprimento equivalente (m).

Segundo Macintyre (1990), o cálculo do comprimento equivalente se baseia no fato de cada conexão possuir perda de carga igual à que produziria um certo comprimento de tubulação com o mesmo diâmetro; assim, este comprimento equivale, virtualmente, a perda de carga que produz a conexão considerada. Os valores de comprimentos equivalentes são fornecidos em bibliografias técnicas. Já o comprimento real, é o comprimento retilíneo, verdadeiro da tubulação.

Por fim, a ABNT (2020) exige que a pressão dinâmica, pressão exercida pelo fluido em escoamento, seja verificada nos pontos de utilização e respeite os valores descritos na norma, para que o funcionamento hidráulico seja atendido. Portanto, quando a pressão dinâmica determinada for inferior à mínima, deve-se adotar algumas medidas, tais como: aumentar a altura do reservatório, reduzir as perdas de cargas por meio do aumento do diâmetro das tubulações que antecedem o aparelho sanitário ou mesmo, pressurizar a rede de distribuição. Sendo assim, a carga de pressão dinâmica é dada pela Equação 10 (CARVALHO JÚNIOR, 2016).

$$PD = PE - \Delta h \quad (10)$$

Em que:

PD: carga de pressão dinâmica (m. c. a.);

PE: carga de pressão estática (m.c.a.); e

Δh : perda de carga total (m.c.a.).

3.4. Modelo EPANET 2.2

O EPANET 2.2 é desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA), a agência estatal norte-americana encarregada de proteger os seus recursos naturais. O software foi concebido para ser um instrumento de apoio à análise de sistemas de distribuição de água (ROSSMAN et al., 2020).

O software é um modelo automatizado que ajuda a compreender melhor os movimentos e as transformações que a água destinada ao consumo humano está sujeita, quando escoada por sistemas de distribuição. Permite simular o comportamento hidráulico e de qualidade da água em sistemas pressurizados de distribuição durante um determinado período de funcionamento, de modo estático ou dinâmico (AMARAL et al., 2010). O EPANET pode ser utilizado em situações como o estabelecimento de cenários de projeto, a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos (ROSSMAN et al., 2020).

O programa possui características de apoio para a simulação hidráulica como: dimensão ilimitada do número de componentes da rede analisada; cálculo da perda de carga por meio das fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning; consideração das perdas de carga singulares em conexões; modelagem de bombas de velocidade constante ou variável; cálculo da energia de bombeamento e de seu respectivo custo; modelagem dos principais tipos de válvulas; modelagem de reservatórios de armazenamento de nível constante e variável; múltiplas categorias de consumo nos nós; modelagem da relação entre pressão e vazão efluente de dispositivos emissores; entre outras (ROSSMAN et al., 2020).

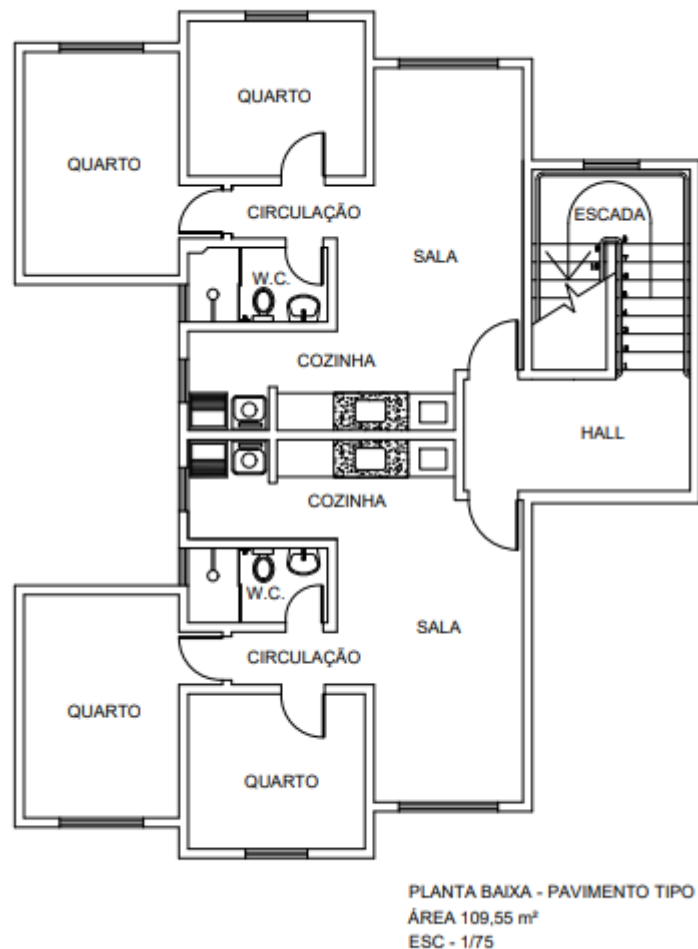
De acordo com Amaral et al. (2010), a rede completamente caracterizada, ou seja, com todos os tubos, nós, bombas, sistemas de armazenamento e válvulas existentes, é um pré-requisito para a correta modelagem de um sistema de distribuição. A modelagem de um sistema de distribuição de água por meio do EPANET 2.2 consiste em desenhar uma representação esquemática do sistema de distribuição. Em seguida é possível editar as propriedades dos objetos já adicionados e descrever as condições de operacionalidade do sistema, como o consumo nos nós. Por fim, deve-se selecionar um conjunto de opções de simulação e visualizar os resultados. Caso a simulação tenha sido executada de forma errada, aparecerá uma mensagem de erro, caso contrário, aparecerá um ícone com a torneira aberta. Além disso, o EPANET 2.2 proporciona a visualização dos resultados da simulação em forma de tabelas, de gráficos e de mapas de rede (ROSSMAN et al., 2020).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Projeto arquitetônico e a rede de distribuição de água fria

O projeto arquitetônico estudado é de uma edificação multifamiliar de quatro pavimentos, sendo que cada um deles possui dois apartamentos com área de 45,66 m². Cada apartamento, por sua vez, possui dois quartos, banheiro, sala, área de serviço e cozinha. A planta baixa do pavimento tipo pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 – Planta baixa do pavimento tipo.

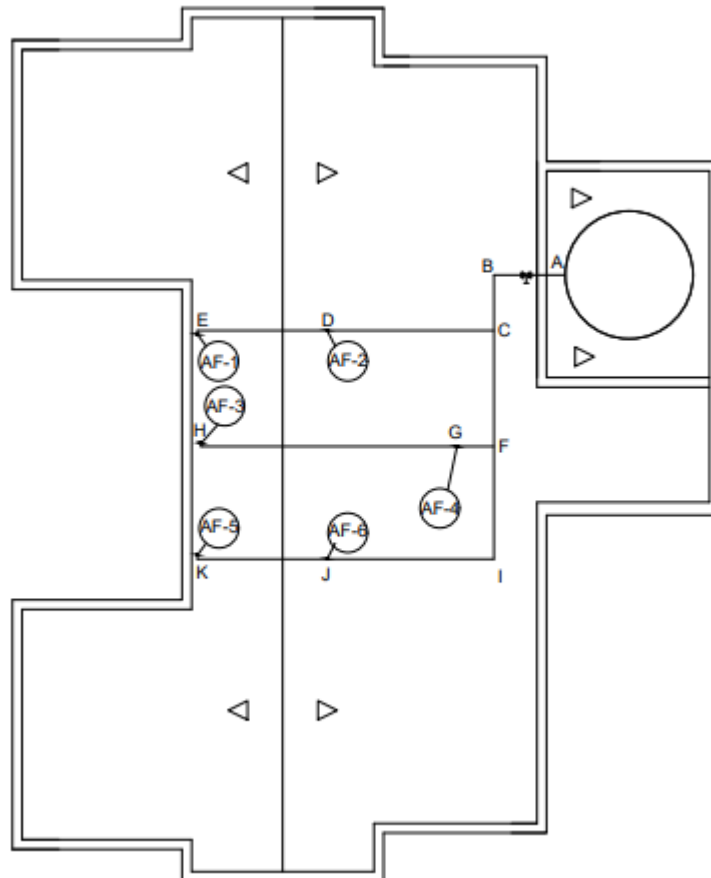


Fonte: Da autora (2022).

O barrilete foi traçado desde o reservatório, localizado a 2 metros de altura sobre o pórtico da escada, até o início das colunas hidráulicas, como mostra a Figura 2. Ele alimenta as

colunas 1, 2, 3, 4, 5 e 6, sendo que a 1 e a 5 alimentam os chuveiros (CH), as duchas higiênicas (DH) e os lavatórios (LV); as colunas 2 e 6 abastecem as válvulas de descarga das bacias sanitárias (VD); já as colunas 3 e 4 abastecem as máquinas de lavar roupa (MLR), os tanques (TQ), as pias (PI) e os filtros (FI). As colunas 2 e 6 foram destinadas exclusivamente para a válvula de descarga da bacia sanitária devido à alta vazão deste aparelho sanitário.

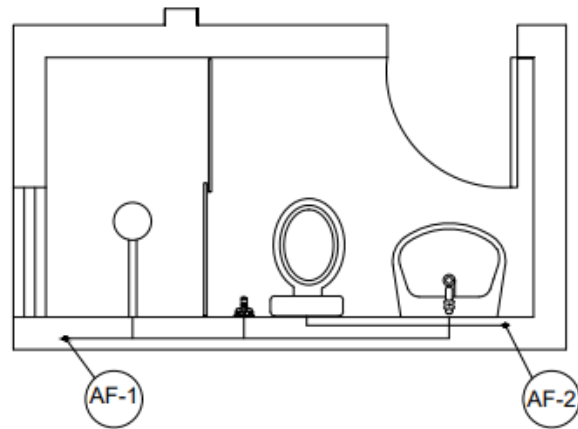
Figura 2 – Traçado em planta do barrilete da edificação.



Fonte: Da autora (2022).

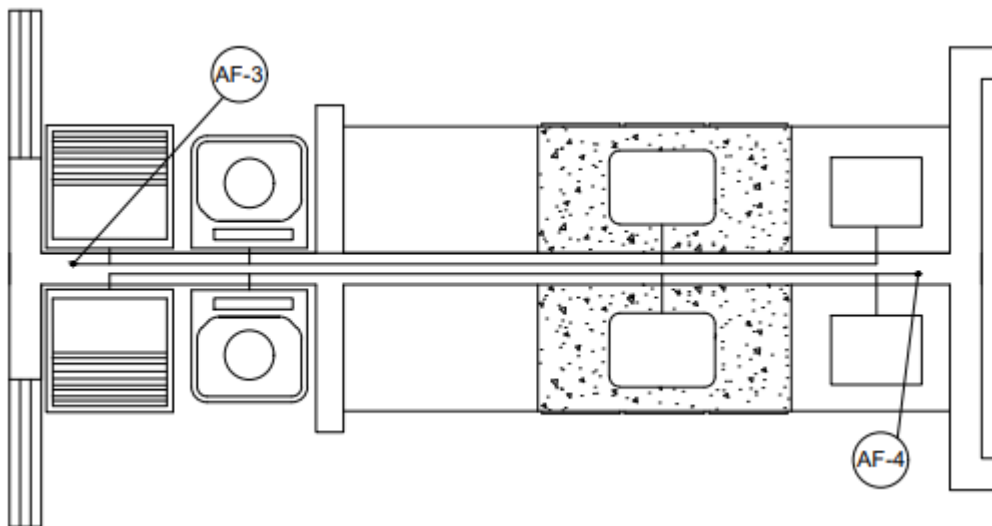
As demais tubulações também foram traçadas de forma que a execução da instalação de água fria fosse facilitada, além de ser levado em consideração os aspectos estruturais da residência. O traçado dos ramais e sub-ramais estão representados nas Figuras 3, 4 e 5. Além disso, a representação isométrica da tubulação foi concebida levando em conta as alturas ergonômicas dos pontos de utilização. Esse traçado pode ser visto nas Figuras 6 e 7.

Figura 3 – Traçado em planta dos ramais e sub-ramais abastecidos pelas colunas 1 e 2.



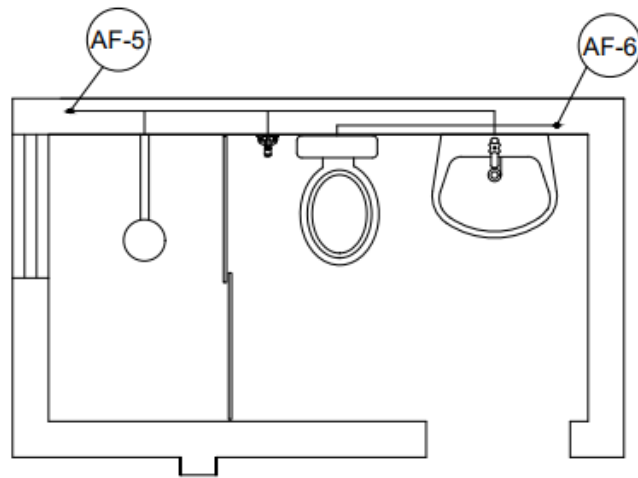
Fonte: Da autora (2022).

Figura 4 – Traçado em planta dos ramais e sub-ramais abastecidos pelas colunas 3 e 4.



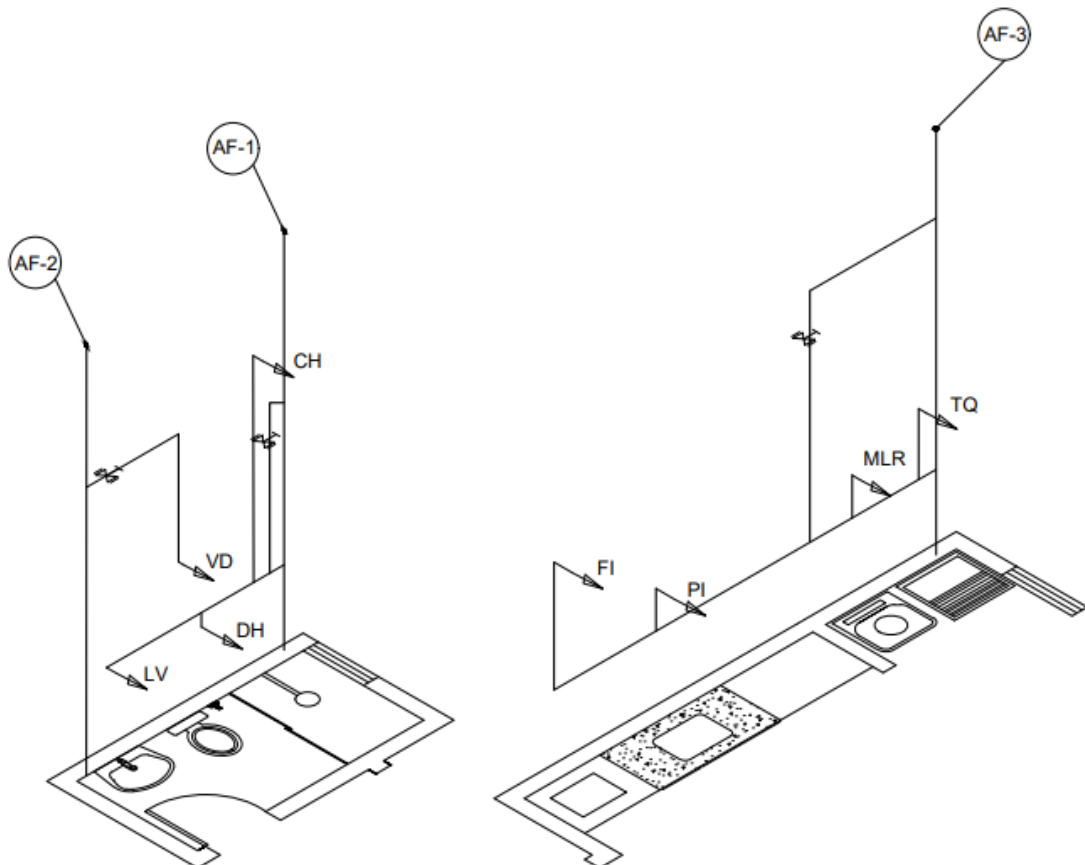
Fonte: Da autora (2022).

Figura 5 – Traçado em planta dos ramais e sub-ramais abastecidos pelas colunas 5 e 6.



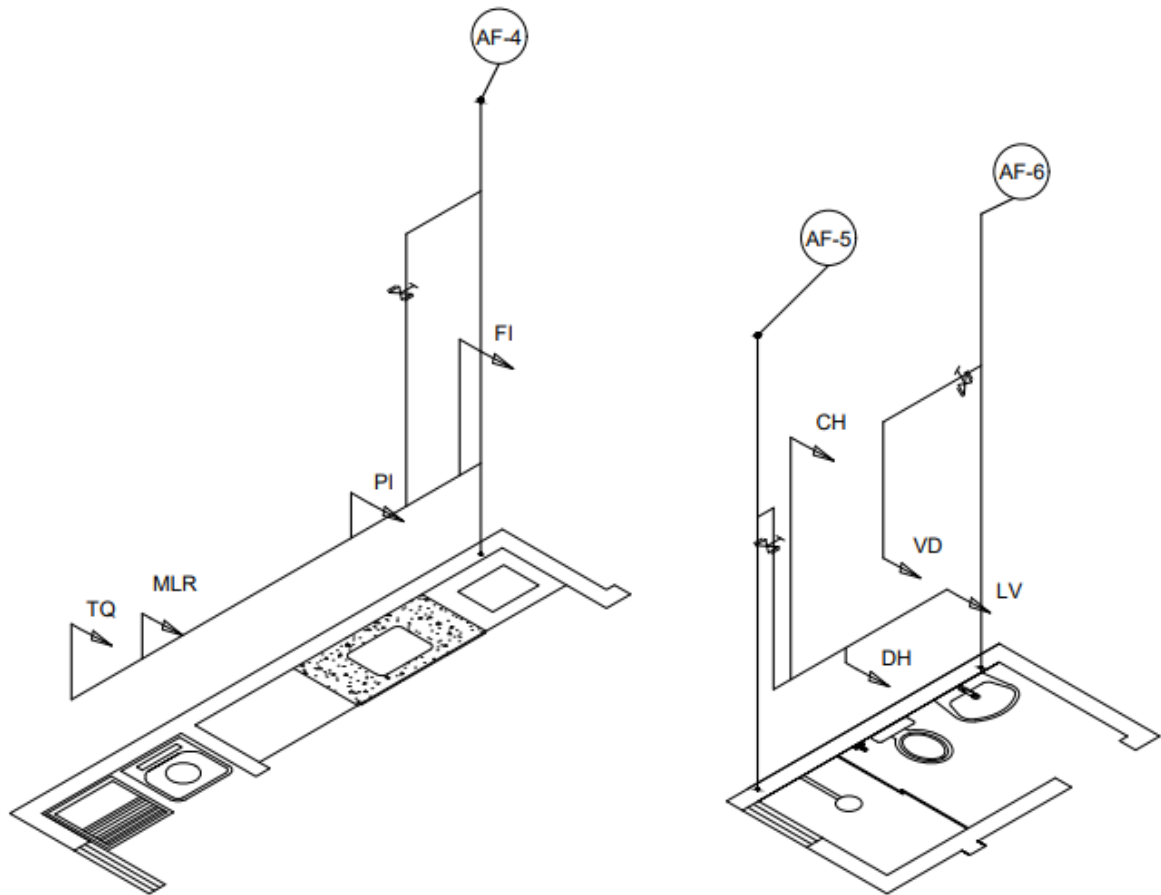
Fonte: Da autora (2022).

Figura 6 – Representação isométrica das colunas 1, 2 e 3.



Fonte: Da autora (2022).

Figura 7 – Representação isométrica da coluna 4, 5 e 6.



Fonte: Da autora (2022).

4.2 Pré-dimensionamento pelo método do Pesos relativos – Consumo máximo provável

Após o traçado da rede, pôde-se realizar o pré-dimensionamento da rede pelo método probabilístico dos Pesos relativos. A princípio esse método foi utilizado apenas para se obter valores iniciais de diâmetro, que foram utilizados na próxima etapa.

Para realizar o pré-dimensionamento, foram analisados quais aparelhos sanitários são alimentados por cada trecho da tubulação e, por isso, esta foi dividida conforme representado nas Figuras 2, 8, 9, 10 e 11.

O cálculo da vazão de cada trecho foi realizado por meio da aplicação da Equação 2 e, para isso, foram necessários os pesos relativos dos aparelhos sanitários, descritos na Tabela 1.

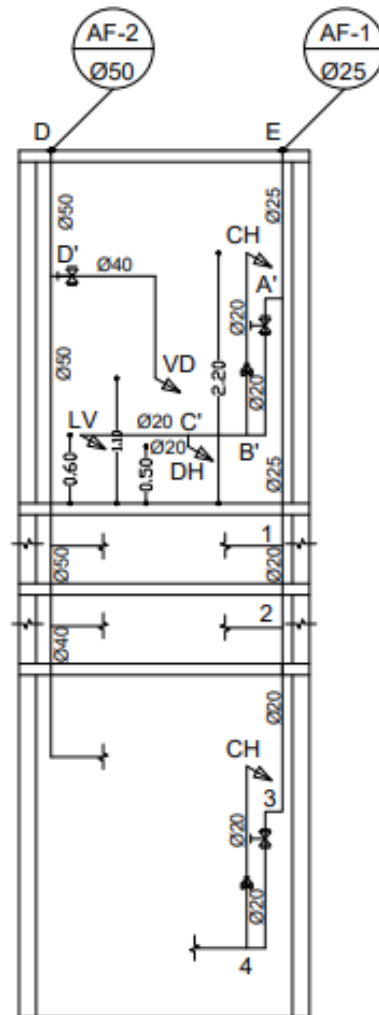
Tabela 1 – Pesos relativos dos aparelhos sanitários.

Aparelho sanitário	Peça de utilização	Vazão de projeto (L/s)	Peso relativo
Bacia sanitária	Caixa de descarga	0,15	0,3
	Válvula de descarga	1,7	32
Banheira	Misturador (água fria)	0,3	1
Bebedouro	Registro de pressão	0,1	0,1
Bidê	Misturador (água fria)	0,1	0,1
Chuveiro ou ducha	Misturador (água fria)	0,2	0,4
Chuveiro elétrico	Registro de pressão	0,1	0,1
Lavadora de prato ou de roupa	Registro de pressão	0,3	1
Lavatório	Torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Mictório com sifão integrado	Válvula de descarga	0,5	2,8
Pia	Torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7
	Torneira elétrica	0,1	0,1
Tanque	Torneira	0,25	0,7
Torneira de jardim	Torneira	0,2	0,4

Fonte: Adaptado de Carvalho Júnior (2016).

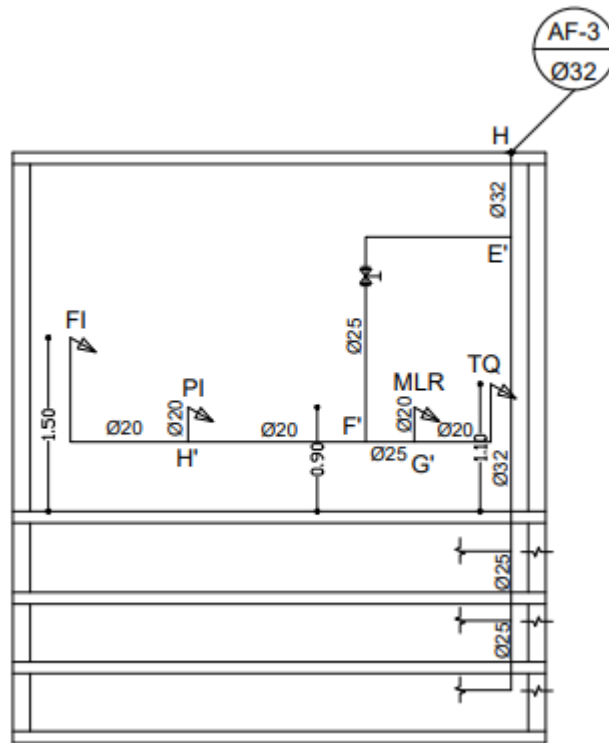
Além disso, os diâmetros nominais foram obtidos pela relação com a vazão (L/s), por meio do ábaco de Carvalho Júnior (2016). Os diâmetros de cada trecho estão dispostos na rede representada nas Figuras 8, 9, 10, 11 e 12.

Figura 8 – Vista das colunas 1 e 2 que abastecem o banheiro.



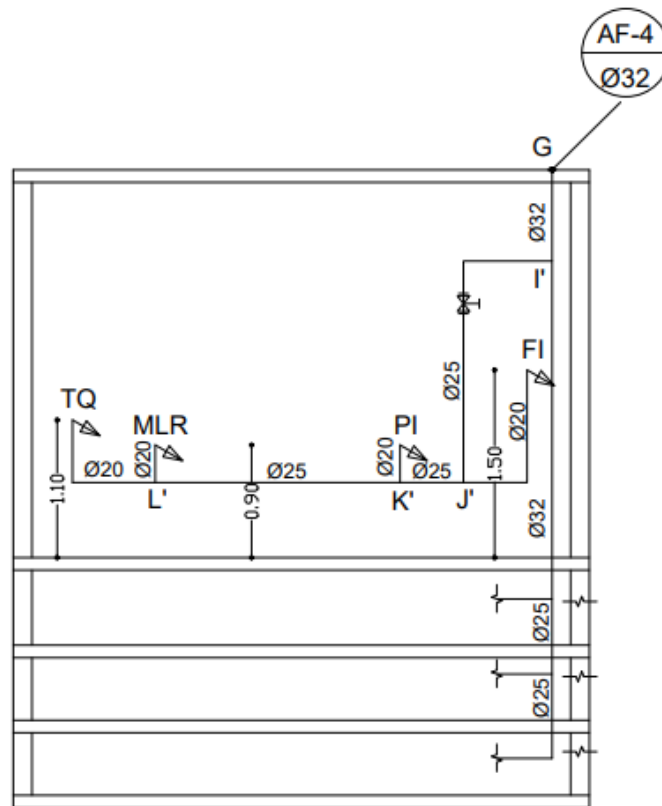
Fonte: Da autora (2022).

Figura 9 – Vista da coluna 3 que abastece a área de serviço e a cozinha.



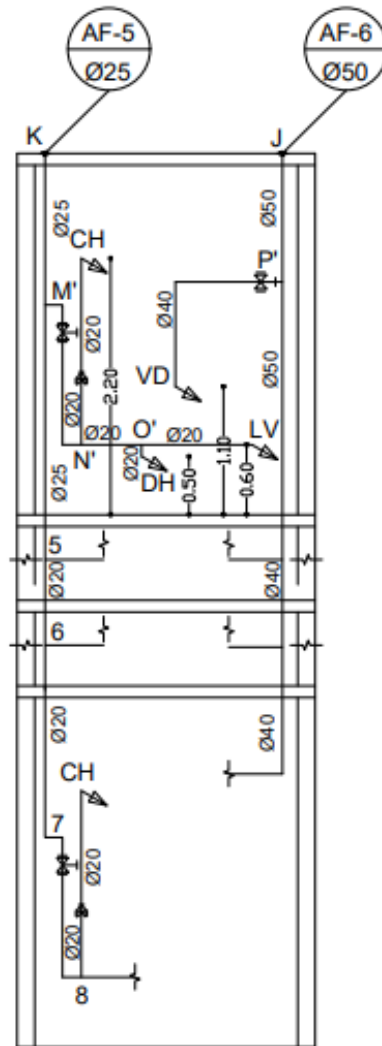
Fonte: Da autora (2022).

Figura 10 – Vista da coluna 4 que abastece a área de serviço e a cozinha.



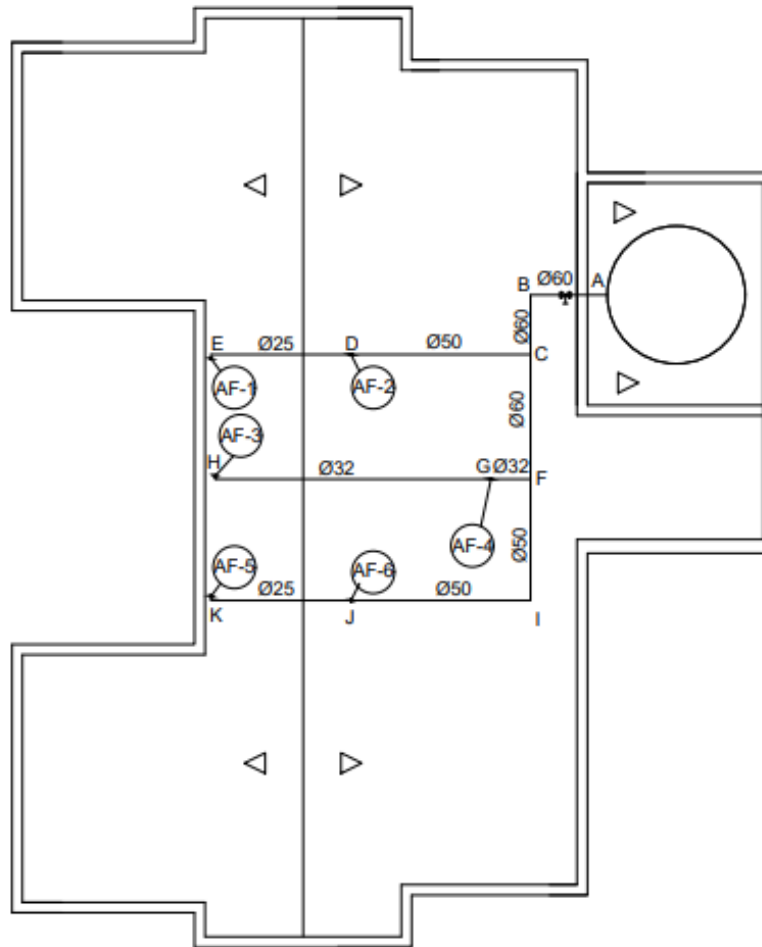
Fonte: Da autora (2022).

Figura 11 – Vista das colunas 5 e 6 que abastecem o banheiro.



Fonte: Da autora (2022).

Figura 12 – Vista do barrilete.



Fonte: Da autora (2022).

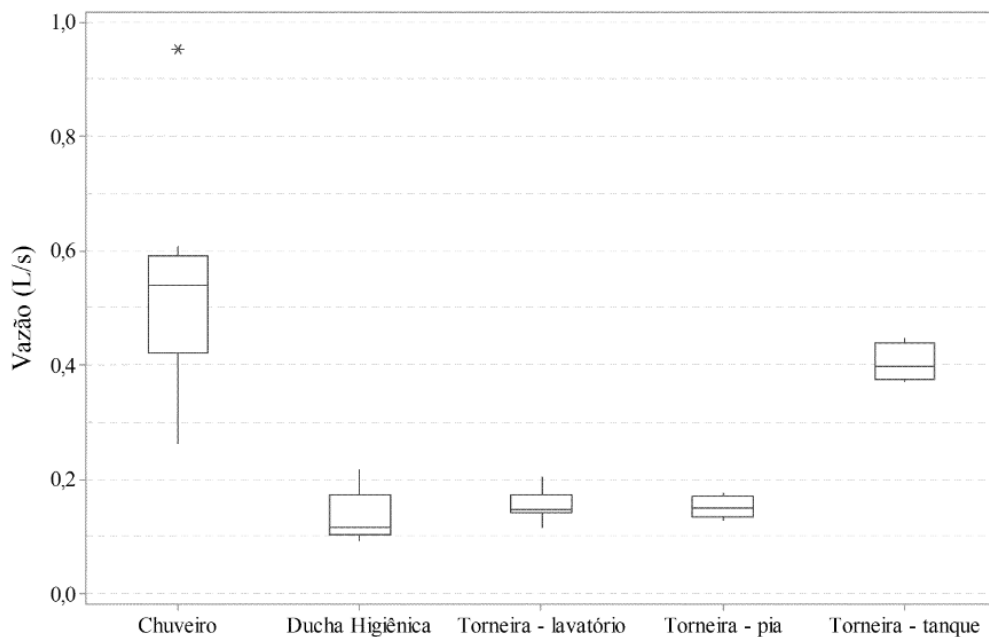
4.3 Coeficiente de vazão (K)

Para se obter o valor do coeficiente de vazão para cada modelo de aparelho sanitário, foi preciso realizar o levantamento de diversos valores de pressão e de vazão de diferentes aparelhos sanitários, sendo estes fornecidos pelos fabricantes como a DOCOL (2021), a DECA (2021) e a FABRIMAR (2021) e classificá-los, de acordo com a vazão, como de alto, médio ou baixo consumo. Esta classificação foi feita por meio de gráficos box-plot, em que se utilizou a vazão média dos modelos de aparelhos sanitários levantados, excetuando-se a bacia sanitária com válvula de descarga e filtro purificador de água, já que, para estes, foram obtidos apenas três modelos.

Aparelhos que tiveram sua vazão média no primeiro quartil, foram definidos como de baixa vazão, os que tiveram média entre o segundo e terceiro quartis foram definidos como de

média vazão, enquanto que aqueles que tiveram vazão média definida no quarto quartil, foram classificados como de alta vazão. Os gráficos box-plot das vazões médias dos aparelhos sanitários chuveiro elétrico, ducha higiênica, torneira para lavatórios e torneiras para pias, são mostrados na Figura 13.

Figura 13 – Gráficos box-plot das vazões médias dos aparelhos sanitários.



Fonte: Da autora (2022).

Em seguida, foi ajustada uma curva de vazão x pressão utilizando o módulo Solver em planilha eletrônica do software Excel. O ajuste foi realizado com o objetivo de minimização do somatório do quadrado dos erros, ao se utilizar do Método GRG Não Linear. Para cada nível de consumo de cada aparelho sanitário por meio do modelo matemático representado na Equação 11 e, assim, foi possível obter, por meio da curva, o valor do coeficiente de vazão (K). Estes valores estão representados na Tabela 2 e foram utilizados no software EPANET 2.2, para a modelagem dos aparelhos sanitários na rede. Para a máquina de lavar roupa, o valor do coeficiente de vazão (K) foi igual para todos os níveis de vazão e ele foi obtido por meio da Equação 11, considerando o valor da vazão de projeto descrito na Tabela 1 e a carga de pressão de 15 m.c.a. (VERÓL et al., 2018).

$$Q = K \times \sqrt{H_p} \quad (11)$$

Em que:

Q: vazão de projeto dos aparelhos sanitários (Ls^{-1});

K: coeficiente de vazão ($Ls^{-1} m.c.a^{-0,5}$); e

H_p: carga de pressão (m.c.a.).

Tabela 2 – Valores de coeficiente de vazão (K) para cada modelo de aparelho sanitário e nível de vazão classificado.

Aparelho sanitário	Nível de vazão	Coeficiente de vazão ($Ls^{-1} m.c.a.^{-0,5}$)
Chuveiro	Baixo	0,0613
	Médio	0,1197
	Alto	0,2185
Ducha Higiênica	Baixo	0,0207
	Médio	0,0291
	Alto	0,0843
Lavatório	Baixo	0,0272
	Médio	0,0350
	Alto	0,0446
Pia	Baixo	0,0297
	Médio	0,0350
	Alto	0,0412
Válvula de descarga	Baixo	0,8124
	Médio	1,9586
	Alto	2,3709
Filtro	Baixo	0,0056
	Médio	0,0058
	Alto	0,0066
Tanque	Baixo	0,0810
	Médio	0,0870
	Alto	0,0980
Máquina de lavar roupa	Baixo	0,0770
	Médio	0,0770
	Alto	0,0770

Fonte: Da autora (2022).

4.4 Simulação hidráulica no EPANET 2.2

Para a simulação do funcionamento hidráulico da instalação predial de água fria, foram inseridos no EPANET 2.2 os valores iniciais de diâmetro e dos coeficientes de vazão, já encontrados, após modelada a estrutura física da rede. Para a estimativa da perda de carga localizada foi utilizado o Método dos Comprimentos Equivalentes, ou seja, os trechos foram modelados com comprimentos virtuais (Equação 9).

Contudo, para encontrar os valores dos comprimentos virtuais, são necessários os valores de comprimento equivalente resultantes da Equação 12 e, para este cálculo, foram utilizados os valores de comprimento equivalente expressos em diâmetro descritos na Tabela 3. Este valor para o registro de pressão foi retirado de Nhamússua (2022).

$$Leq = \frac{Leq}{D_i} \times D_i \quad (12)$$

Em que:

Leq : comprimento equivalente (m);

$\frac{Leq}{D_i}$: comprimentos equivalentes expressos em diâmetros (adimensional); e

D_i : diâmetro interno (m).

Tabela 3 – Comprimentos equivalentes expressos em diâmetros.

Peça	Comprimentos equivalentes expressos em diâmetros (número de diâmetro)
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
Registro de pressão (DN 20mm)	43*
Registro de pressão (DN 25mm)	25*
Saída de canalização	35
Tê, passagem direta	20
Tê, saída de lado	50
Tê, saída bilateral	65
Válvula-de-pé e crivo	250
Válvula de retenção	100

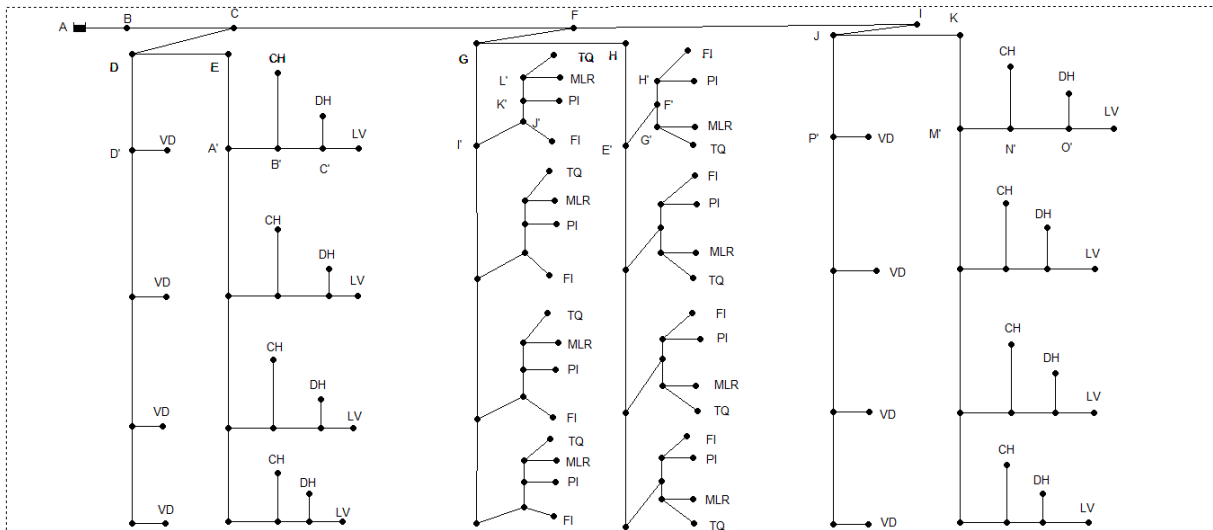
(*) Valores retirados de Nhamússua (2022).

Fonte: Adaptado de Azevedo Netto (2015).

No software, para o cálculo da perda de carga foi utilizada a Equação 7 de Darcy Weisbach, a unidade de vazão usada foi em L/s e a rugosidade considerada para tubos lisos (PVC) foi de 0,005 mm.

O traçado da rede no EPANET 2.2 está mostrado na Figura 14. No software foi feita a análise do funcionamento hidráulico de todos os aparelhos funcionando ao mesmo tempo e também foram feitas cinco combinações, para todos os pavimentos, de uso simultâneo dos aparelhos sanitários, como mostra a Tabela 4. Para que a pressão dinâmica mínima nos aparelhos sanitários definida pela ABNT (2020) fosse atendida, foi necessária a alteração de alguns valores de diâmetro e, deste modo, foi obtido o dimensionamento pelo consumo máximo possível para cada uma das combinações.

Figura 14 – Traçado da rede no EPANET 2.2.



Fonte: Da autora (2022).

Tabela 4 – Combinações de uso simultâneo dos aparelhos sanitários.

Combinações	Aparelhos funcionando simultaneamente
1°	Todos os aparelhos
2°	CH + VD
3°	CH + LV + DH
4°	CH + FI + PI
5°	CH + MLR + TQ
6°	CH + DH + LV + PI + FI + MLR + TQ

Fonte: Da autora (2022).

4.5 Dimensionamento pelo Método do Consumo Máximo Provável

Por fim, para se obter o dimensionamento final pelo consumo máximo provável, foi analisado o funcionamento hidráulico dos aparelhos sanitários do último pavimento separadamente, com base nos diâmetros obtidos no pré-dimensionamento. Os cálculos foram realizados na planilha eletrônica excel e, para isto, foi utilizada a Equação 8 para calcular a perda de carga e a Equação 11 para o cálculo do coeficiente de atrito.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{e}{3,71 \times D_i} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (11)$$

Em que:

f: coeficiente de atrito (adimensional);

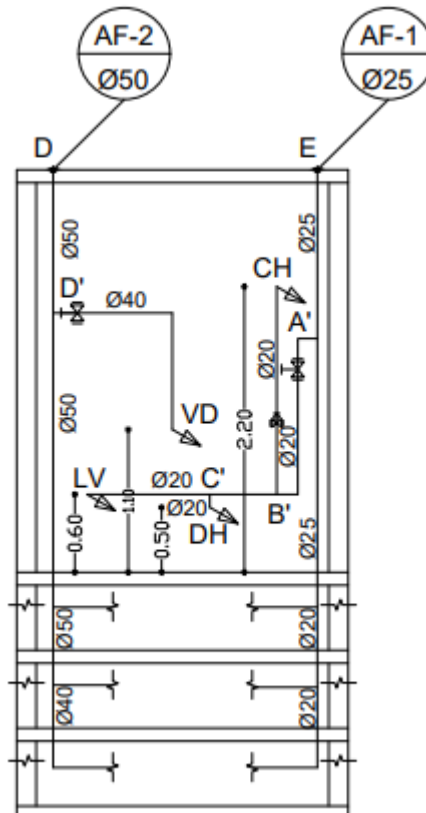
e: rugosidade do tubo liso (0,005 mm);

Di: diâmetro interno (mm); e

Re: número de Reynolds (mm).

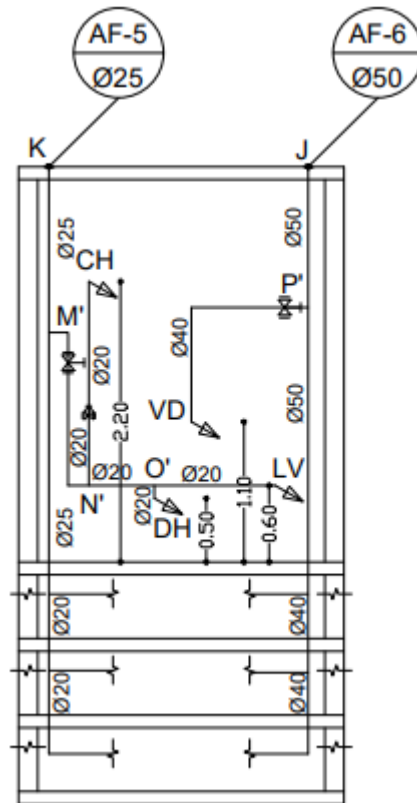
Sendo assim, foi feita a mudança dos diâmetros nos trechos do barrilete e das colunas 1 e 5 para que as pressões mínimas definidas na ABNT (2020) fossem atendidas. As pressões nas demais colunas foram suficientes para o funcionamento adequado dos aparelhos sanitários e, por isso, não foi necessária a alteração dos diâmetros. O dimensionamento final pelo Método do Consumo Máximo Provável está representado nas Figuras 9, 10, 15, 16 e 17.

Figura 15 – Dimensionamento das colunas 1 e 2 que abastecem o banheiro.



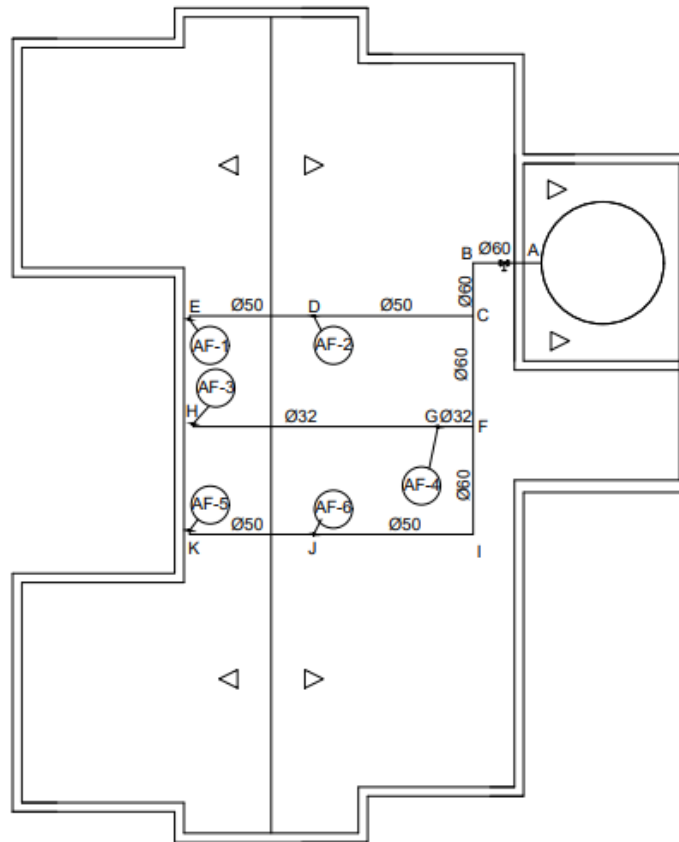
Fonte: Da autora (2022).

Figura 16 – Dimensionamento das colunas 5 e 6 que abastecem o banheiro.



Fonte: Da autora (2022).

Figura 17 – Dimensionamento do barrilete.



Fonte: Da autora (2022).

4.6 Comparação entre os dimensionamentos

Foi comparado o emprego dos aparelhos sanitários de alta, média e baixa vazão, por meio da análise do funcionamento hidráulico da rede e dimensionamento final, utilizando o software EPANET 2.2, além do dimensionamento obtido pelo Método do Consumo Máximo Provável.

Para realizar essa análise, foram gerados gráficos de barras em que foram comparados os diâmetros de cada trecho em relação ao método de dimensionamento utilizado. A primeira análise foi dos trechos A-B, B-C, C-F e F-I presentes no barrilete, a segunda foi dos trechos C-D, D-E, E-A', A'-B' e B'-CH que abastecem o chuveiro 1 do último pavimento, na terceira os trechos analisados I-J, J-K, K-M', M'-N' e N'-CH abastecem o chuveiro 2 do último pavimento, a quarta foram dos trechos A'-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-CH que abastecem o chuveiro 1 do primeiro pavimento, já a quinta análise foi dos trechos M'-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-CH que abastecem o chuveiro 2 do primeiro pavimento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar o dimensionamento foi analisado o funcionamento hidráulico dos chuveiros do último pavimento, já que este é o aparelho sanitário que possui a situação mais crítica em toda a instalação, devido à menor carga de pressão estática. Os valores da carga de pressão dinâmica nos chuveiros estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Carga de pressão dinâmica nos chuveiros do último pavimento para os diferentes cenários de funcionamento hidráulico e nível de vazão classificado para os aparelhos sanitários.

Vazão	Combinações	Carga de pressão dinâmica (m.c.a.)	
		Chuveiro 1	Chuveiro 2
-	Consumo máximo provável	1,11	1,12
	1°	0,92*	0,41*
	2°	1,07	0,53*
	3°	1,33	1,32
	4°	1,15	1,06
	5°	1,22	1,06
	6°	1,31	1,28
Baixa	1°	0,52*	-0,01*
	2°	-0,27*	-0,15*
	3°	1,36	1,03
	4°	1,25	1,02
	5°	1,15	1,08
	6°	1,56	1,48
Média	1°	0,41*	-0,13*
	2°	0,87*	0,47*
	3°	1,4	1,31
	4°	1,03	1,11
	5°	1,14	1,04
	6°	1,13	1,01
Alta	1°	0,41*	-0,13*
	2°	0,87*	0,47*
	3°	1,4	1,31
	4°	1,03	1,11
	5°	1,14	1,04
	6°	1,13	1,01

(*) Não atendeu à carga de pressão mínima descrita na ABNT NBR 5626:2020.

Fonte: Da autora (2022).

O dimensionamento foi realizado de forma que os valores de carga de pressão nos chuveiros atendessem ao valor mínimo de 10 kPa (aproximadamente 1,01 m.c.a.), estipulado pela ABNT NBR 5626:2020 (ABNT, 2020), contudo, pôde-se observar que a carga de pressão

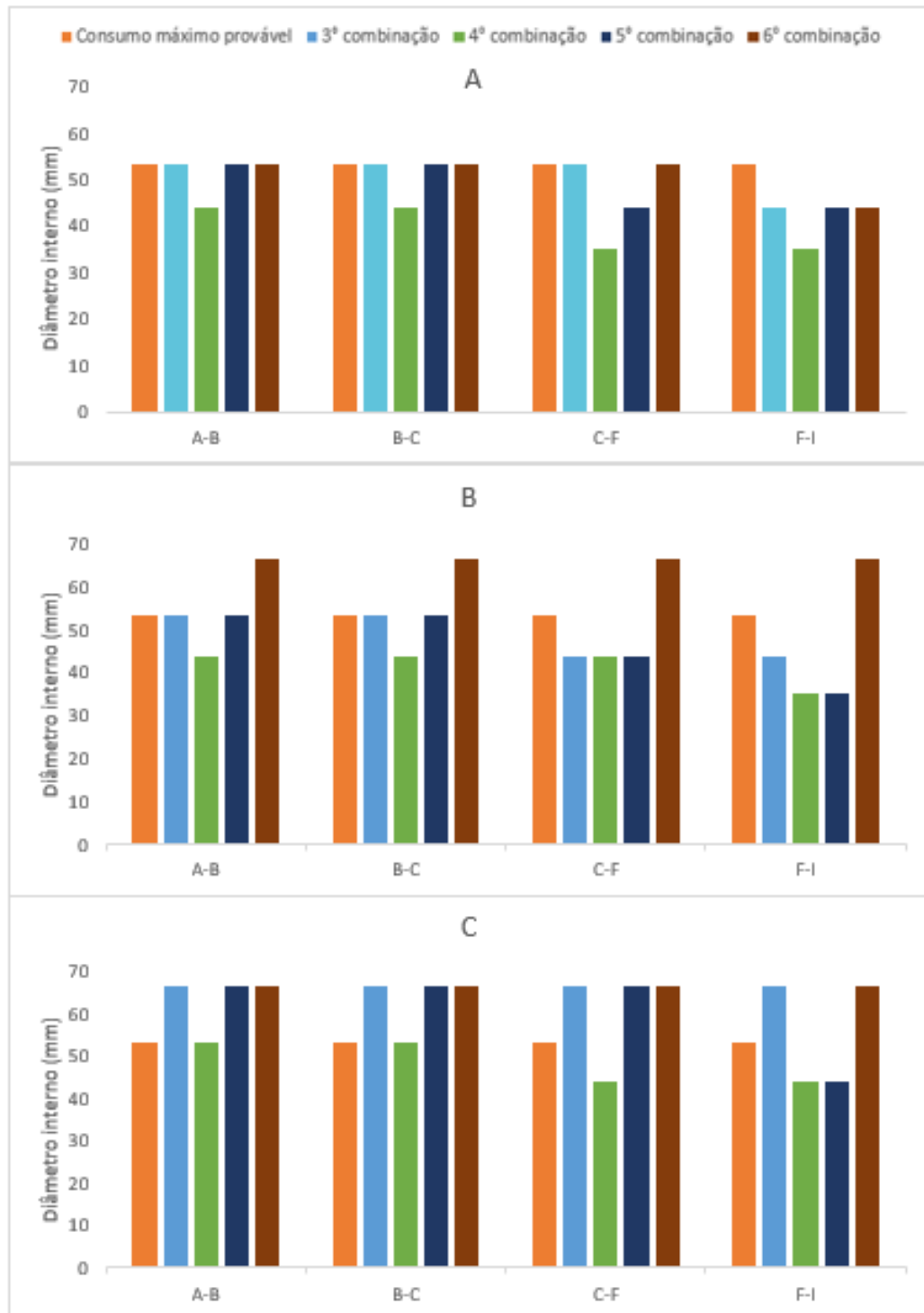
dinâmica nos chuveiros nas combinações 1 e 2, para todas as vazões, não foi suficiente para que eles funcionassem adequadamente, mesmo utilizando diâmetros maiores nos trechos de barrilete. Isso se justifica pela alta vazão demandada. Logo, as combinações 1 e 2, de uso simultâneo dos aparelhos sanitários, não foram passíveis de dimensionamento. Vale ressaltar que para a 2ª combinação para os aparelhos de baixa vazão, o chuveiro 1 atingiu a pressão necessária para o funcionamento, mas o chuveiro 2 não e, por isso, não foi possível realizar o dimensionamento por meio dessa combinação.

Já nas demais combinações de uso simultâneo dos aparelhos sanitários, os valores de carga de pressão dinâmica nos chuveiros foram suficientes para o funcionamento deste aparelho e, por isso, o dimensionamento pôde ser realizado.

Além disso, é notório que nas duas combinações em que não foi possível realizar dimensionamento, a válvula de descarga da bacia sanitária estava incluída, logo, pode-se associar a dificuldade do dimensionamento pelo Método do Consumo Máximo Possível em combinação que utilize este tipo de peça de utilização, devido à sua alta vazão. Sendo assim, a utilização da bacia sanitária com caixa acoplada pode ser uma alternativa que possibilite a sua inclusão em cenários de uso simultâneo, uma vez que seu valor de vazão de projeto é significativamente menor que o da válvula de descarga, como mostra a Tabela 1.

Após realizar o dimensionamento pelo Método do Consumo Máximo Provável e pelo Método do Consumo Máximo Possível, utilizando a 3ª, 4ª, 5ª e 6ª combinação, foi possível obter os resultados apresentados nas Figuras 18, 19, 20, 21 e 22, em que podem ser vistos gráficos de barras em que são comparados os diâmetros obtidos em cada trecho da rede.

Figura 18 – Comparação dos diâmetros dos trechos do barrilete para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).



Fonte: Da autora (2022).

No barrilete, para os aparelhos classificados como de baixa vazão, é possível perceber nos trechos a montante que os diâmetros são semelhantes ao do Método do Consumo Máximo

Provável, porém, após o trecho B-C, onde ocorre a primeira derivação para coluna, os diâmetros diminuem, já que a vazão também diminui. Portanto, nota-se que quanto maior o somatório de pesos dos aparelhos sanitários no dimensionamento pelo Método do Consumo Máximo Provável, maior a semelhança entre este e as simulações de combinações entre aparelhos sanitários em uso simultâneo.

Para os aparelhos de média vazão, os diâmetros tiveram o mesmo comportamento dos aparelhos de baixa vazão, excetuando a 6ª combinação que resultou em um diâmetro maior que o do Método do Consumo Máximo Provável. Esta possui mais aparelhos sendo utilizados simultaneamente e, conseqüentemente, possui uma vazão demandada maior.

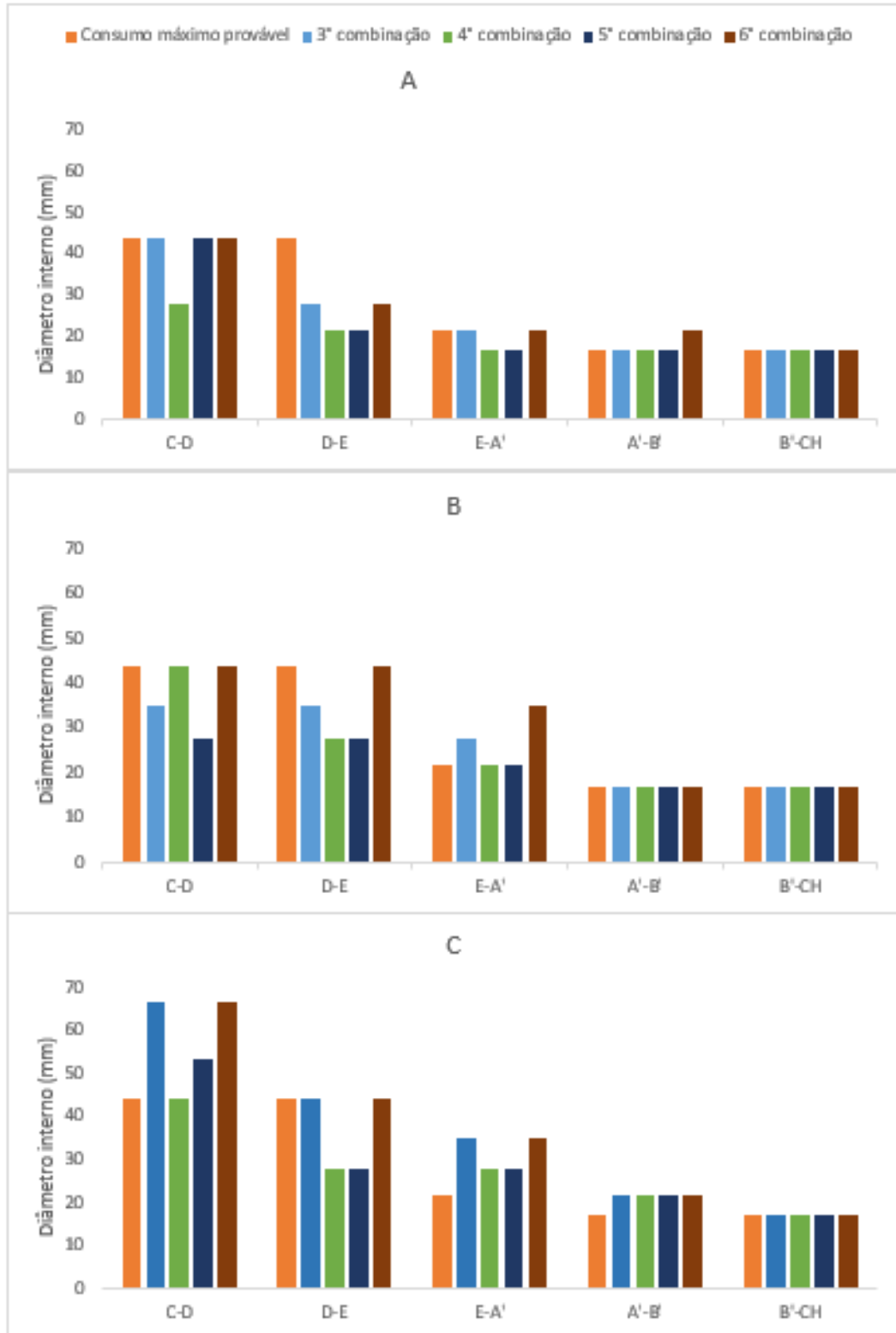
Já para os aparelhos de alta vazão, nos trechos a montante do barrilete, os diâmetros foram maiores em comparação às Figuras 18A e 18B e superaram os do Método do Consumo Máximo Provável. Já nos trechos de derivação às colunas, os diâmetros se mantiveram, exceto os das combinações 4 e 5, que diminuíram devido ao menor somatório de vazão e também pelo fato da maioria dos aparelhos considerados nestas combinações já terem sido abastecidos.

Além disso, é possível perceber o aumento dos diâmetros de cada trecho concomitante com o aumento da vazão. Isto não aconteceu na combinação 3 no trecho C-F, já que, durante o dimensionamento, o aumento dos valores de diâmetro nos trechos do barrilete não estavam contribuindo com o aumento da carga de pressão dinâmica no chuveiro e, por isso, foram aumentados diâmetros mais à extremidade de jusante, ou seja, colunas e ramais, sendo então, possível, reduzir diâmetros empregados no barrilete.

Ademais, é preciso evidenciar a combinação 6, em que todos os aparelhos sanitários estão sendo utilizados, exceto a válvula de descarga. Esta combinação, para baixa, média e alta vazão, se comportou de forma semelhante com o Método do Consumo Máximo Provável. Este fato é interessante, uma vez que o dimensionamento por este método foi realizado em três etapas, até que se conseguisse combinação de diâmetros que proporcionasse funcionamento hidráulico ótimo nos aparelhos sanitários e, por isso, foi mais laborioso. Já o dimensionamento realizado no software EPANET 2.2 foi realizado de forma dinâmica, além de possuir mais sentido hidráulico, uma vez que as vazões na rede são balanceadas quanto à entradas e saídas.

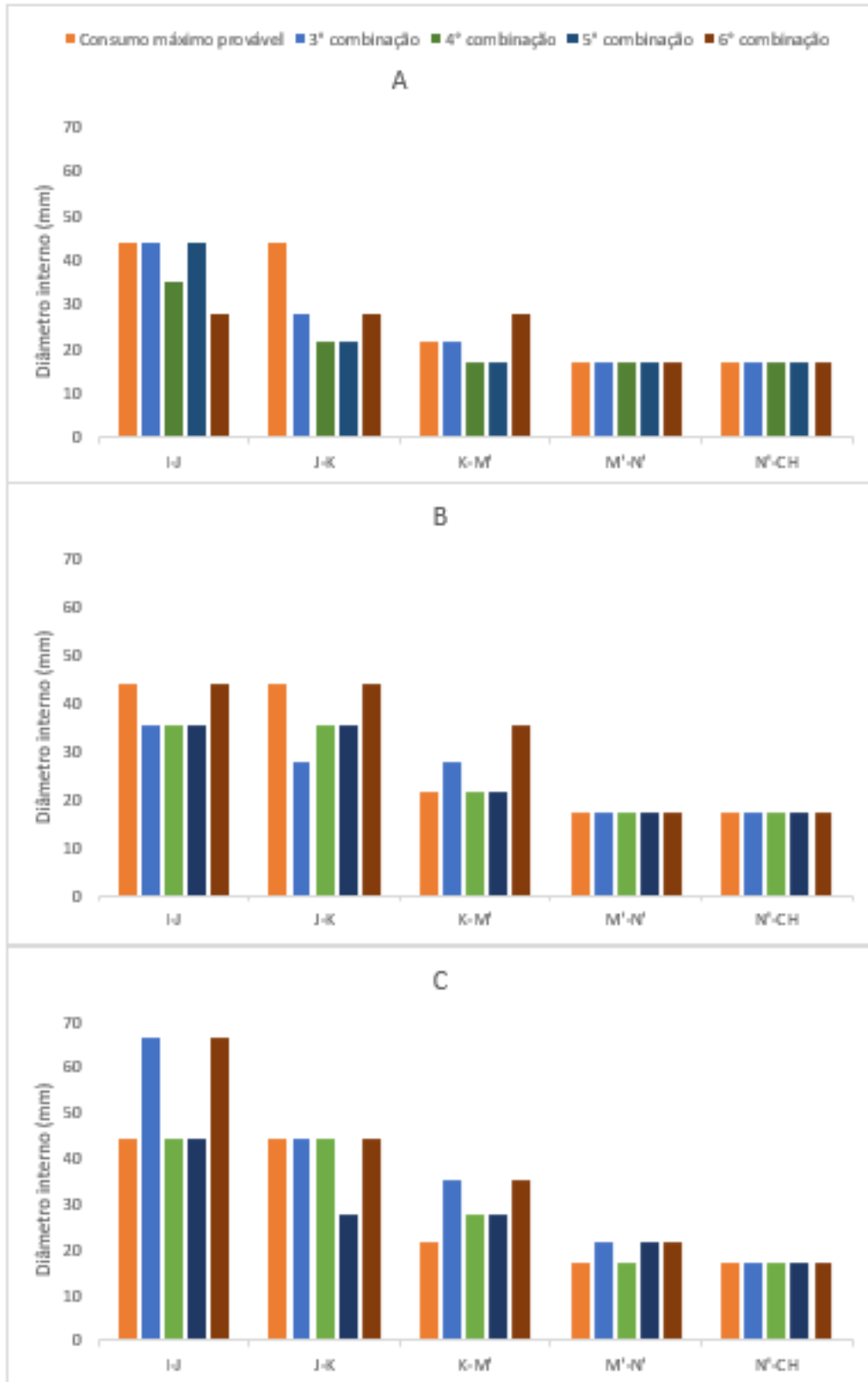
As Figuras 19 e 20 representam os resultados da comparação entre os métodos de dimensionamento utilizados nos trechos que abastecem os chuveiros do último pavimento.

Figura 19 – Comparação dos diâmetros dos trechos que abastecem o chuveiro 1 do último pavimento. A (aparelhos de baixa vazão); B (aparelhos de média vazão) e C (aparelhos de alta vazão).



Fonte: Da autora (2022).

Figura 20 – Comparação dos diâmetros dos trechos que abastecem o chuveiro 2 do último pavimento. A (aparelhos de baixa vazão); B (aparelhos de média vazão) e C (aparelhos de alta vazão).



Fonte: Da autora (2022).

Nas Figuras 19 e 20 são apresentados os valores de diâmetro interno nos trechos que abastecem os chuveiros do último pavimento. Nestas é possível ser verificado que, para os aparelhos de baixa vazão, os diâmetros foram iguais ou menores que os do Método do Consumo Máximo Provável e, à medida que aconteceram derivações na tubulação, os diâmetros diminuíram.

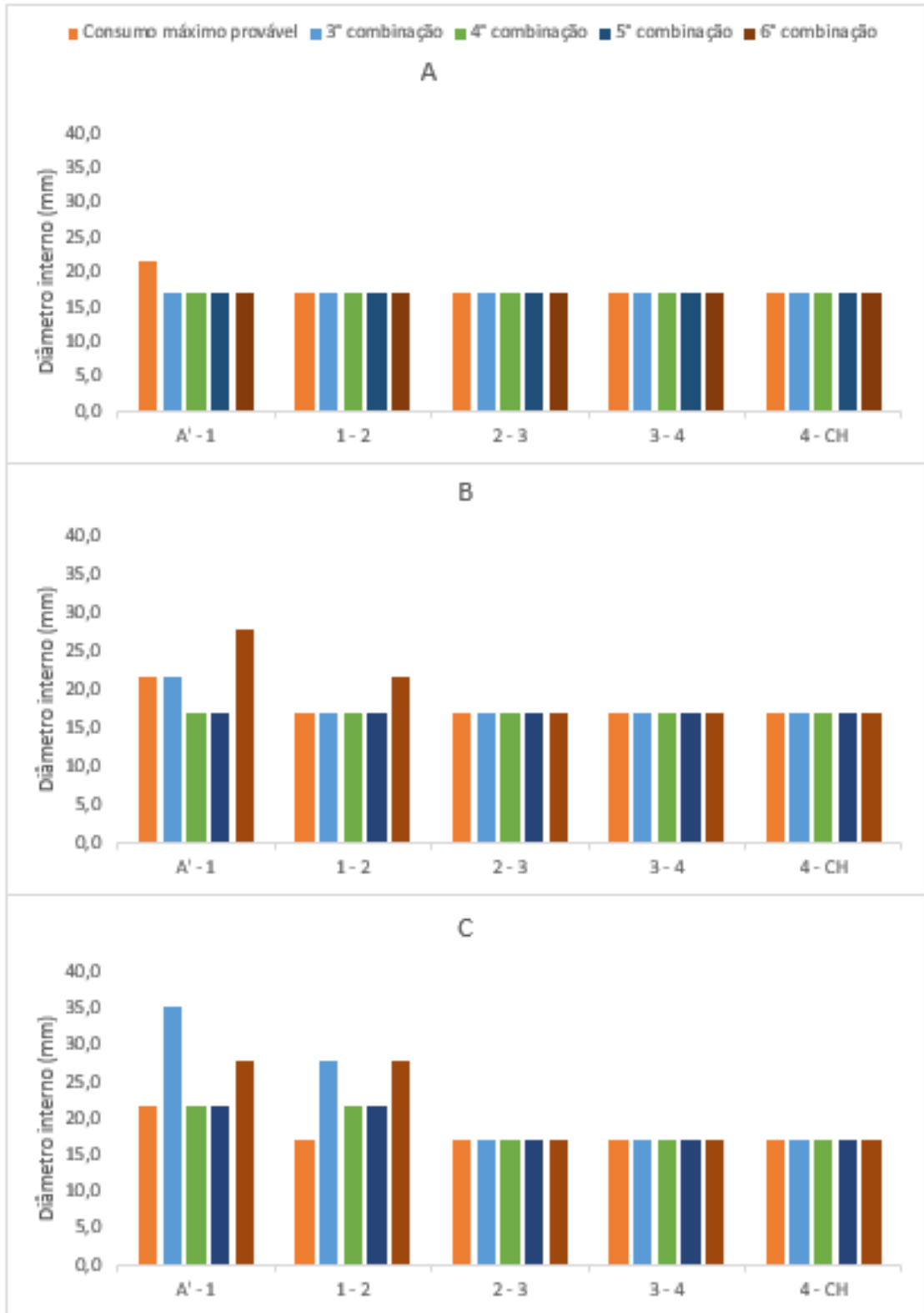
Já para os aparelhos classificados como de média vazão, os diâmetros também diminuíram com a mudança de trecho. Contudo, é evidente que a 6^o combinação resultou em um diâmetro maior que as demais combinações nos trechos E-A' e K-M', já que estes estão abastecendo todos os aparelhos sanitários desta coluna. Logo, por este motivo, essa combinação se torna interessante, visto que este ainda é um diâmetro baixo para o início de uma coluna que abastece 4 pavimentos.

Para os aparelhos de alta vazão, os diâmetros dos primeiros trechos foram maiores em comparação com o método do Consumo Máximo Provável, principalmente nas combinações 3 e 6, que abastecem todos os aparelhos desta coluna. Neste caso, está sendo analisado os trechos que abastecem os chuveiros 1 e o 2, logo, as combinações 4 e 5, que abastecem o chuveiro e outros aparelhos que não estão nesse trecho, resultaram em diâmetro menores que as demais combinações, em todos os níveis de vazão.

Além disso, é notório que no último trecho os diâmetros para todos os métodos de dimensionamento foram iguais e possuem o menor valor possível de diâmetro comercializado, já que este trecho possui apenas a vazão do chuveiro.

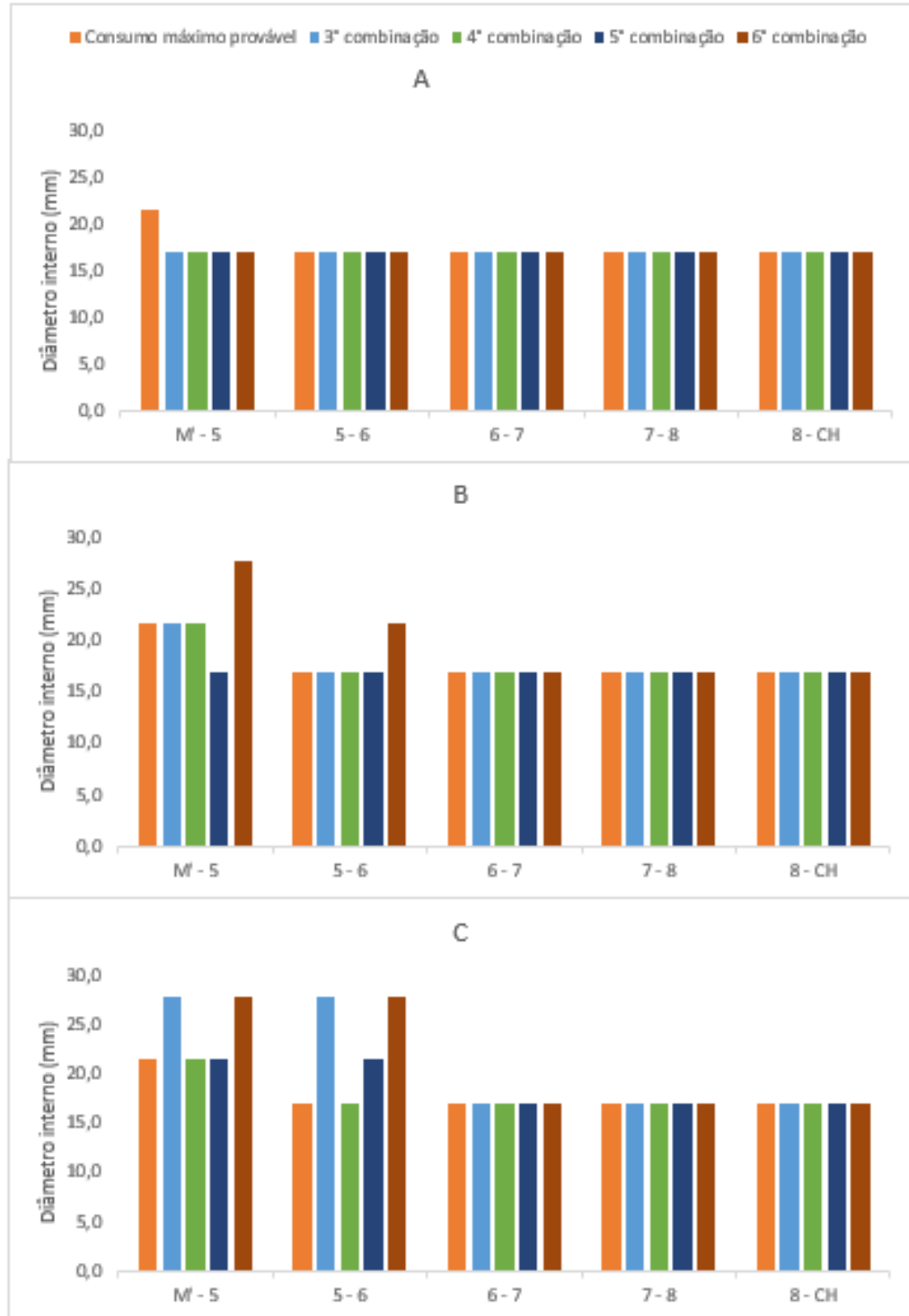
A seguir são apresentadas as Figuras 21 e 22, que fornecem a comparação entre os métodos de dimensionamentos utilizados para os trechos que abastecem os chuveiros do primeiro pavimento.

Figura 21 – Comparação dos diâmetros dos trechos dos trechos que abastecem o chuveiro 1 do primeiro pavimento para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).



Fonte: Da autora (2022).

Figura 22 – Comparação dos diâmetros dos trechos que abastecem o chuveiro 2 do primeiro pavimento para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).



Fonte: Da autora (2022).

Para os gráficos dos aparelhos classificados como de baixa vazão, é notório a diferença

obtida pelo Método do Consumo Máximo Provável para primeiro trecho e a linearidade nos diâmetros nos demais trechos, sendo estes os valores mínimos. Este comportamento é justificado pelo fato de serem trechos de colunas e estas possuem grande carga de pressão estática, assim, os diâmetros menores não interferem no funcionamento hidráulico. A combinação 6, por exemplo, em que possui um maior número de aparelhos sanitários sendo utilizados, obteve diâmetro mínimo em todos os trechos, logo todos os cenários, com diferentes combinações de uso simultâneo, possuem confiabilidade.

Já para os de média vazão, os diâmetros são próximos aos do Método do Consumo Máximo Provável, contudo, no trecho a montante das colunas estes valores são maiores. Isto se justifica por ser o trecho mais alto da coluna, onde todos os apartamentos são abastecidos.

Durante o dimensionamento dos trechos a montante das colunas para os aparelhos de alta vazão, foi possível perceber que mesmo com as vazões mais altas, os diâmetros poderiam ser próximos ao mínimo para a maioria das combinações, uma vez que os valores das cargas de pressão estática nos aparelhos sanitários dos pavimentos inferiores eram grandes e estes estavam funcionando adequadamente. Contudo, ao considerar os valores mínimos de diâmetro, a velocidade na tubulação excedia o valor máximo descrito na ABNT NBR 5626:2020 (ABNT, 2020) e, por isso, foi necessário realizar a alteração para diâmetros superiores nas colunas do segundo e terceiro pavimento.

Portanto, percebe-se pelos valores menores de diâmetro, que para os pavimentos inferiores o funcionamento hidráulico dos aparelhos sanitários não foi um problema devido a alta carga de pressão estática, contudo, foi preciso atentar para o valor máximo de velocidade, o que levou a diâmetros maiores que pelo Método do Consumo Máximo Provável. Para tal, as velocidades são então determinadas trecho a trecho por meio da Equação da Continuidade, o que não leva em conta as diferenças de energia entre os diversos nós da instalação e que, na realidade, podem estabelecer grandes velocidades de escoamento em zonas mais baixas da rede, ou seja, em que se tem maior energia potencial gravitacional, já que os aparelhos sanitários possuem funcionamento dinâmico, dada as relações de vazão versus carga de pressão e solução numérica de funcionamento da rede como um todo.

Neste caso, todas as combinações foram interessantes por resultarem em diâmetros próximos aos do Método do Consumo Máximo Provável. Contudo, mais uma vez, o dimensionamento por meio da 6ª combinação pode ser definido como o de maior interesse prático, uma vez que são considerados mais aparelhos sanitários sendo abastecidos concomitantemente, e mesmo assim, teve-se diâmetros comparáveis ao do Método do Consumo

Máximo Provável, o que denota segurança e confiabilidade no dimensionamento por meio dessa combinação.

6. CONCLUSÃO

Diante dos resultados, foi notória a impossibilidade do dimensionamento da instalação hidráulica por meio das combinações em que a bacia sanitária com válvula de descarga foi considerada. Logo, conclui-se que o uso da bacia sanitária com caixa acoplada, aparelho com menor vazão, pode ser uma alternativa para obter sucesso no dimensionamento.

Além disso, pôde-se concluir que as combinações 3, 4 e 5, embora tenham resultado em um dimensionamento semelhante ao do Método do Consumo Máximo Provável, o somatório da vazão de projeto é menor que o das demais combinações, além destas considerarem apenas três aparelhos sanitários sendo utilizados simultaneamente. Isto pode proporcionar aos projetistas, uma menor confiança no dimensionamento utilizando estas combinações.

Com a combinação 6, obteve-se maior interesse prático, uma vez que são considerados todos aparelhos sanitários sendo abastecidos concomitantemente, exceto a bacia sanitária com válvula de descarga. Além disso, resultou em diâmetros comparáveis ao Método do Consumo Máximo Provável, fato que gera confiabilidade e segurança no dimensionamento por meio desta combinação. Sendo assim, conclui-se que a utilização deste cenário de uso simultâneo é o mais vantajoso para realizar o dimensionamento, comparado ao Método do Consumo Máximo Provável e as demais combinações, já que foi realizado de forma racional além de garantir o funcionamento dos aparelhos sanitários mesmo se todos estiverem sendo utilizados ao mesmo tempo.

Ademais, pôde-se concluir que os diferentes modelos de aparelhos sanitários influenciam no dimensionamento da rede, já que, ao aumentar o coeficiente de vazão nos pontos de utilização, também foi preciso aumentar os diâmetros para que fosse possível obter o funcionamento adequado dos aparelhos sanitários.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 5626** - Sistemas prediais de água fria e água quente – projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020.
- ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M. **Sistemas Prediais de Água Fria**. São Paulo: EPUSP, 1994. 113 p. Série Texto Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/08 - Sistemas prediais de água fria.
- VERÓL, A. P.; VAZQUEZ, E. G.; MIGUEZ, M. G. **Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários - Projetos Práticos e Sustentáveis**. Grupo GEN, 2018.
- JÚNIOR, R. C. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias**. Editora Blucher, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208389/>. Acesso em: 11 mai. 2022.
- REALI, M. A. P.; MORUZZI, R. B.; PICANÇO, A. P.; CARVALHO, K. Q. **Instalações Hidráulicas de Água Fria**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002.
- GHISI, E. **Instalações Prediais de Água Fria**. Florianópolis – SC, 2013.
- JAGNEZI, L.; FERNANDES, I. R. **Estudo sobre a escolha do fator de vazão no dimensionamento do sistema de chuveiros automáticos**. Foz do Iguaçu – PR, 2016.
- MACINTYRE, A, J. **Manual de Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. Editora Guanabara, 1990. Rio de Janeiro – RJ.
- CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 6° ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- NETTO, J. M. A.; FERNÁNDEZ, M. F.Y. **Manual de hidráulica**. 9° ed. Editora Blucher, 2015
- ROSSMAN, L. A.; WOO, H.; TRYBY, M.; SHANG, F.; JANKE, R.; HAXTON, T. **EPANET 2.2 User Manual**. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 2020

SILVA. L. D. B., CARVALHO, D. F. **Fundamentos de hidráulica**. 2006

BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. 2º ed. São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2008

AMARAL. A. B.; VASCO. C.; BARBOSA. G. G.; NETTO, H. B.; CAMARGO. J. H. M.; FILHO. M. A. C.; MARTINEZ. M. A. C.; DUTRA. P.; SILVA. P. C.; NUNES. P. A.; CHRESTENZEN. R. M. M.; PIERALISI. R.; DALMAGRO. T.; MATOS. T. S.; KRAMER. V. C. **Simulações de comportamento hidráulicos**. PET engenharia Civil, Curitiba – PR, 2010.

NHÁMUSSUA, S. M. S. **Comportamento hidráulico de registros de gaveta, esfera e pressão**. 2022. 82 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.

DOCOL. **Catálogo comercial em homepage**. Disponível em: <https://www.docol.com.br/>.

DECA. **Catálogo e publicações**. Disponível em: <https://www.deca.com.br/biblioteca/catalogos-e-publicacoes/>.

FABRIMAR. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. Disponível em: https://www.fabrimar.com.br/arquivos/catalogos/catalogo_de_produtos_2013.pdf.