



**CÍNTIA TAVARES ASSUNÇÃO
LETÍCIA ZANOTTO BARATTI**

**ENSAIOS TEÓRICOS-PRÁTICOS ACERCA DE
PARÂMETROS DE PROJETO E FUNCIONAMENTO
HIDRÁULICO DE SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA
DISPOSTOS NA NBR5626/2020**

**LAVRAS – MG
2021**

**CÍNTIA TAVARES ASSUNÇÃO
LETÍCIA ZANOTTO BARATTI**

**ENSAIOS TEÓRICOS-PRÁTICOS ACERCA DE PARÂMETROS DE PROJETO E
FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE SISTEMA PREDIAIS DE ÁGUA FRIA
DISPOSTOS NA NBR5626/2020**

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

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

**CÍNTIA TAVARES ASSUNÇÃO
LETÍCIA ZANOTTO BARATTI**

**ENSAIOS TEÓRICOS-PRÁTICOS ACERCA DE PARÂMETROS DE PROJETO E
FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE SISTEMA PREDIAIS DE ÁGUA FRIA
DISPOSTOS NA NBR5626/2020**

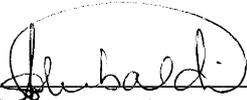
**THEORETICAL-PRACTICAL ESSAYS ABOUT DESIGN PARAMETERS AND
HYDRAULIC OPERATION OF BUILDING WATER SUPPLY SYSTEMS
PRESENTED BY NBR 5626/2020.**

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

APROVADAS em 14 de junho de 2021.

MSc. Karina Vilela Rodrigues – DRH/UFLA

MSc. Nathane Manuelle Silva Vilela


Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

*À força, coragem, paciência, à beleza, maturidade, à inteligência e o respeito,
dedicamos a todos aqueles que pregam a empatia em primeiro lugar!
À não desistir até o último segundo de oportunidade,
Dedicamos.*

AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais, Beatriz Tavares, João Eugênio, Leni Zanotto e Wagner Baratti, por todo o apoio, amor, carinho, educação e confiança, acreditando em nós ao longo de toda as nossas vidas. E aos nossos familiares Patrícia Tavares e Jack Zanotto.

Agradecemos também à memória de Marcus Paulo e Eunice Canova que nos ensinaram a ser fortes, humildes e nunca desistir.

Ao namorado da Cíntia, Gustavo Garcia, obrigada por ser companheiro, dedicado, amoroso e que sempre a incentivou a ser uma pessoa melhor e mais forte.

Ao nosso professor orientador, Michael Silveira Thebaldi, primeiramente, pela oportunidade de trabalharmos juntos, por sua paciência e dedicação e por todos os ensinamentos em nos guiar no nosso trabalho.

Gostaríamos também de agradecer aos profissionais Uelton, Mário, Camila, Thalita e Andrezza pelo esforço e suporte dado a nós nesse trabalho.

Aos nossos amigos, Isabella Y., Isabella P., Ana, Laura, Carlos J. que estiveram presentes ao longo de toda nossa graduação e que fizeram toda a diferença nessa jornada, divertindo-nos, apoiando-nos. Não esqueceremos nem mesmo das companhias em festas, e das maratonas de estudos junto. Um agradecimento especial a Ariane que foi uma excelente amiga para todas as horas, e que fez toda diferença em nossas vidas sorrindo.

A Natália e Silvinei por acolherem a Cíntia, e criarem o melhor ambiente familiar durante todo o período de graduação.

Não podemos deixar de agradecer àqueles que abriram a porta de seu espaço para nos ajudar e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse sonho.

E por fim agradecemos a Ele.

Muito obrigada!

RESUMO

A NBR 5626:2020 trouxe a atualização do dimensionamento de água fria excluindo o antigo roteiro de cálculo por meio do método do consumo máximo provável e passou a indicar que o projetista estime a carga de pressão nos aparelhos utilizando equações de desempenho vazão x carga de pressão dinâmica, além de não permitir uma variação de pressão superior a 10% para chuveiros em operação concomitante a outros aparelhos, em relação à pressão de projeto. Assim, foram desenvolvidas duas metodologias para determinar as pressões e os diâmetros dos trechos dos ramais, da coluna e do barrilete do sistema hidráulico estudado. O primeiro equacionamento utilizou da Equação de Bernoulli em duas partes: a primeira não levando em conta os sub-ramais conectados ao ramal, simplificando o equacionamento, e a segunda, considerando os sub-ramais no cálculo para verificar a diferença dessa consideração, contudo, ambas determinaram a carga de pressão e vazão nos aparelhos sanitários do ramal, bem como as pressões dinâmicas, até a cota mínima do reservatório do sistema hidráulico estudado. A segunda metodologia faz uso de um dimensionamento por variação de cargas hidráulicas dinâmicas no chuveiro à critério do projetista por meio de inequações desenvolvidas a fim de garantir maior flexibilidade ao profissional durante seu dimensionamento, desde que ele lembre de considerar o fator econômico durante o cálculo para determinar o diâmetro do projeto. Diante das metodologias apresentadas, o dimensionamento levando em conta os sub-ramais foi mais preciso que os outros dois, já que considera melhor a perda de carga devido a consideração dos sub-ramais da tubulação comparado aos demais métodos.

Palavras-chave: Aparelhos Hidráulicos. Desempenho. Dimensionamento. Hidráulica aplicada. Saneamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coluna de líquido de área de seção regular A.	16
Figura 2 - Linha de corrente.....	19
Figura 3 – Tudo com diversas linhas de corrente.....	19
Figura 4. Balanço energético de um líquido em escoamento, de acordo com o Teorema de Bernoulli	21
Figura 5 - Exemplo de instalação predial de água fria.	26
Figura 6 - Sistema de alimentação através da rede pública.....	27
Figura 7 - Sistema central privado.	28
Figura 8 – Sistema central coletivo.	28
Figura 9 – Sistema individual.....	29
Figura 10 - Projeto arquitetônico da edificação estudada.	30
Figura 11 - Diagrama vertical do sistema de distribuição da instalação estudada.	31
Figura 12 - Detalhamento isométrico da instalação estudada.	32
Figura 13 - Esquematização simplificada para dimensionamento do projeto.	36
Figura 14 - Localização de E1 e E2 no ramal hidráulico.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimento dos trechos.	32
Tabela 2 - Curvas vazão x carga de pressão dos aparelhos sanitários estudados.	34
Tabela 3 - Quantidade de peças especiais em cada trecho.	36
Tabela 4 - Dimensionamento da instalação pelo Método Simplificado.	46
Tabela 5 - Dimensionamento da instalação pelo Método Completo, em que se consideram os sub-ramais.	47
Tabela 6 - Obtenção dos diâmetros pelo método do consumo máximo provável.	50
Tabela 7 - Dimensionamento da instalação pelo Método Prático – Verificação.	50
Tabela 8 - Dimensionamento da instalação pelo Método Prático.	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Valores de diâmetros nominais em função da velocidade máxima x vazão.	35
Gráfico 2 – Comportamento do gradiente de projeto e da carga de projeto em função do gradiente de operação.	44
Gráfico 3 - Comparação entre as pressões e vazões encontradas para ambos os métodos.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	15
2.1.	Objetivo Geral.....	15
2.2.	Objetivos Específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1.	Pressão e carga de pressão	16
3.2.	Hidrodinâmica	17
3.2.1.	Equação da continuidade	18
3.2.2.	Equação de Bernoulli.....	20
3.3.	Escoamentos forçados.....	22
3.3.1.	Perda de carga.....	22
3.4.	Instalações Prediais de Água Quente e Água Fria	25
3.5.	Principais mudanças entre a NBR 5626:1998 e a NBR 5626:2020.....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1.	Projeto arquitetônico e sistema de distribuição	30
4.2.	Método de dimensionamento proposto – Equacionamento 1	32
4.2.1.	Carga de pressão no aparelho sanitário a montante.....	36
4.2.1.1.	Equação de Bernoulli entre o trecho F – E1 (Método simplificado).....	37
4.2.1.2.	Equação de Bernoulli entre o trecho F – E2 (Método dos sub-ramais).....	37
4.3.	Método de dimensionamento proposto – Equacionamento 2 (Método prático).....	40
4.3.1.	Gradiente de projeto	41
4.3.2.	Diâmetro nominal dos ramais.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1.	Comparação entre os métodos de dimensionamento propostos para o Equacionamento 1.....	46

5.2. Método de dimensionamento propostos para o Equacionamento 2.....	50
5.3. Comparação entre os Métodos Simplificados, dos Sub-ramais e Prático.....	52
6 - CONCLUSÃO	54
REFERENCIAL TEÓRICO.....	55
APÊNDICE I – Quadro com peças de utilização separadas por fabricantes, modelos e vazões	57
APÊNDICE II – Curva de vazão por pressão das peças utilizadas	59

1 INTRODUÇÃO

Em 2020, a ANBT substituiu as suas normas NBR 5626:1998, que era específica para água fria, e NBR 7198:1993, específica para água quente, pela NBR 5626:2020, uma norma que contempla tanto a água fria quanto água quente, nomeada de “Sistemas Prediais de Água Fria e Água Quente – Projeto, Execução, Operação e Manutenção”. Logo, para um sistema predial funcionar, este deve ser constituído por: aparelhos sanitários, peças de utilização, dispositivos necessários e reservatórios para abastecer os pontos estabelecidos de projeto.

Dessa forma, o fornecimento de água tem que ser em pressões, vazões e velocidades adequadas para os usuários, além de potabilidade, conforme o padrão estabelecido pelos departamentos de água nos quais se localizam a edificação (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Com a grande mudança proporcionada pela ANBT em 2020, o dimensionamento do sistema hidráulico predial foi alterado: houve a exclusão do roteiro de cálculo, das tabelas com pesos relativos de aparelhos sanitários e dos diâmetros sugeridos previamente. A NBR passou, então, a oferecer novas regras e diversas metodologias – que antes faziam parte do roteiro, contudo, agora, com elementos trabalhados de forma mais detalhada e específica para os projetistas seguirem. Em um dos pontos desta alteração, a NBR limitou algumas metodologias de dimensionamento para condutos forçados, no entanto, ela garantiu maior segurança para o projetista em outros pontos, o qual passou a poder estimar o dimensionamento em pressões mínimas e críticas com variação máxima de 10% no sistema contra 30% pelo dimensionamento antigo (THÓRUS, 2020).

Em vista disso, foi realizado um estudo de sistema hidráulico predial de água com objetivo de determinar dois métodos distintos de dimensionamento: o primeiro, em que se aplica a Equação de Bernoulli entre dois trechos da tubulação para determinar a perda de carga e pressão do trecho dos ramais e sub-ramais mais a montante do sistema; e o segundo, o equacionamento variando a carga hidráulica do chuveiro, a critério do projetista, como a norma de 2020 assim permitiu, de forma a se determinar os diâmetros utilizados no sistema, por meio do uso de inequações definidas a partir das diretrizes e parâmetros de projeto.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Realizar ensaios teórico-práticos que visam desenvolver e validar dois métodos distintos de dimensionamento de um sistema predial de água fria, que atenda aos critérios dispostos na NBR 5626/2020 (ABNT, 2020).

2.2. Objetivos Específicos

- Dedução do Equacionamento 1, que visa a aplicação da Equação de Bernoulli entre dois pontos dos trechos da tubulação, a fim de determinar sua aplicabilidade sobre os critérios de projetos definidos na NBR 5626/2020 (ABNT, 2020);
 - i. Conceber o traçado dos trechos dos ramais e sub-ramais, de forma a se ter dois trechos de aplicação para a equação: o primeiro trecho entre o aparelho mais a jusante e o ponto de ligação do sub-ramal e o segundo trecho entre o ponto de ligação do sub-ramal e o aparelho sanitário a jusante;
 - ii. Definir a carga de pressão e vazão no aparelho sanitário mais a jusante, terminal, do ramal, que neste estudo é o chuveiro, além das variáveis relativas ao funcionamento hidráulico dos trechos estudados;
 - iii. Determinar as perdas de cargas até todos os aparelhos sanitários do ramal estudado, bem como suas pressões dinâmicas e demais variáveis de funcionamento hidráulico, a partir das características definidas para o aparelho terminal;
- Dedução do Equacionamento 2, que visa o estudo do dimensionamento por meio de critérios de variação da carga hidráulica dinâmica no chuveiro a critério do projetista;
 - i. Definição da carga de pressão de projeto a critério do projetista, na qual deve-se respeitar os critérios normativos;
 - ii. Definição do gradiente de projeto a partir da carga de pressão de projeto. O gradiente garante que os critérios definidos pelo projetista atendam aos critérios normativos;
 - iii. Determinação dos diâmetros através do uso de inequações desenvolvidas, na qual garantem maior flexibilidade ao projetista durante o dimensionamento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Pressão e carga de pressão

A pressão é uma grandeza física que relaciona uma força aplicada a uma determinada unidade de área (Equação 1), agindo perpendicularmente à área da superfície (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015).

$$P = \frac{dF}{dA} \quad (1)$$

No sistema internacional de unidades, a força (dF) é medida por Newton (N), a área (dA) é medida por metros quadrados (m^2), assim, a unidade de pressão teria a unidade N/m^2 , que também é chamada de Pascal (Pa).

Em hidrostática, a pressão é a mesma em todas as direções, já que em qualquer ponto no interior de um líquido, este se encontra em repouso, como enuncia-se a Lei de Pascal. Em uma situação prática, estabelecida pelo engenheiro, físico e matemático Simon Stevin, no final do século XVI, a Lei de Stevin afirma que “A diferença de pressões entre dois pontos de massa de um líquido em equilíbrio é igual à diferença de profundidade multiplicada pelo peso específico do líquido” (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015, p. 38).

Figura 1- Coluna de líquido de área de seção regular A.



Fonte: Tipler e Mosca (2009)

Na Figura 1, para que a base suporte a coluna de líquido na coluna de altura Δh , a pressão na base deve ser maior que a pressão no topo da coluna de líquido (TIPLER; MOSCA, 2009,), assim a pressão pela Lei de Stevin é dada pela Equação 2.

$$P - P_0 = \Delta P = \rho g \Delta h \quad (2)$$

Onde, pelo sistema internacional de unidades, ρ é a massa específica do fluido (kg/m^3), g é a aceleração da gravidade (m/s^2), Δh é a diferença de altura entre pontos do fluido (m) e por fim ΔP é a diferença de pressão, também em Pascal (Pa).

Considerando que um desses pontos esteja na superfície do fluido em contato com a atmosfera, a pressão neste ponto então é conhecida por pressão atmosférica, P_{atm} , que também é dada em Pascal (Pa) e o outro à uma distância Δh , a pressão na base da coluna líquida pode ser calculada conforme a Equação 3 (FOX et al., 2018).

$$P = P_{atm} + \rho g \Delta h \quad (3)$$

Visto que pela Lei de Stevin (Equação 2) a altura e a pressão mantêm uma relação constante para um fluido, proporcional ao peso específico deste, na prática é muito usual utilizar o termo carga de pressão, que expressa a pressão de um fluido em unidade de comprimento conforme a Equação 4 (THIELLI, 2010):

$$h = \frac{P}{\gamma} \quad (4)$$

Onde, pelo sistema internacional de unidades, γ é o peso específico do fluido (N/m^3), P é a pressão (Pa), e h é a altura (m).

A carga de pressão (h) recria a pressão em um certo ponto, já que a coluna de um fluido sobe até alcançar a altura h , permanecendo em repouso, equilibrando exatamente com a pressão, por isso a denominação de carga de pressão. A sua unidade será sempre uma unidade de comprimento acrescida do fluido considerado (ÇENGEL, 2015), como metro de coluna de água ou milímetros de mercúrio.

3.2.Hidrodinâmica

A hidrodinâmica estuda fluidos (líquidos ou gases) em movimento, os quais passam a ter força, velocidade e aceleração (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015). Fluidos ideais, hipotéticos, não apresentam viscosidade, já os fluidos reais, devido as forças de atração entre si possuem coesão entre as partículas, o que é conhecido como viscosidade (LEMOS, 2015).

As principais hipóteses para resolver um problema de hidrodinâmica consistem em verificar o fluido por partes, começando por seu comportamento no tempo, espaço, massa e,

por fim, o grau de agitação de suas partículas durante a trajetória do fluido (LEMOS, 2015). Segundo Gomes (2005), dividindo o fluido em elementos de volume infinitesimais e sabendo as forças que atuam sobre esse volume, é possível determinar as equações que definem sua posição e sua velocidade.

Sobre as hipóteses inferidas pelos regimes de escoamento, a primeira define seu comportamento ao passar do tempo: caso não varie com o tempo, ele é considerado um escoamento permanente, contudo, se seu escoamento varia em função do tempo o fluido é um escoamento não permanente ou comumente chamado de transitório. Quando o escoamento tem velocidade constante, é considerado um escoamento uniforme, caso contrário é não uniforme, assim pode concluir-se que as seções transversais não se mantêm, constante ao longo desse escoamento (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015). Em sequência, o fluido pode ser descrito como incompressível, quando a massa específica do fluido não varia conforme a mudança de temperatura ou pressão ao decorrer do escoamento (GOMES, 2005).

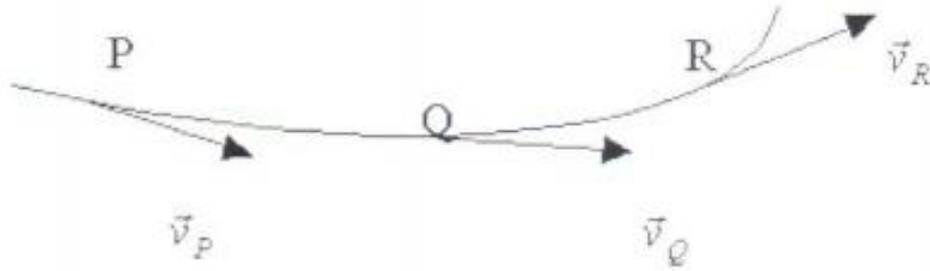
Já o grau de agitação das partículas define a trajetória destas. Caso estejam mais lentas, o escoamento é mais ordenado e as trajetórias não se cruzam, logo o regime de escoamento é laminar. Senão, o regime é considerado turbulento, onde a movimentação é das partículas desordenada e agitada (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015).

3.2.1. Equação da continuidade

Newton elaborou as leis da conservação relacionando propriedades intrínsecas a um sistema físico que está relacionado a uma simetria da natureza, abrangendo desde energia, momento, como a própria massa. Essas leis tratam de qualquer quantidade que não varia durante o escoamento, por isso, são equações da continuidade, pois o fluxo permanece constante (FOX et al., 2018).

No escoamento estacionário admitem-se linhas de corrente orientadas conforme a velocidade em um dado ponto do fluxo não variante com tempo, e nenhuma linha de corrente se cruza e mantêm tangentes em todos os pontos à velocidade, conforme a Figura 2 (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015).

Figura 2 - Linha de corrente



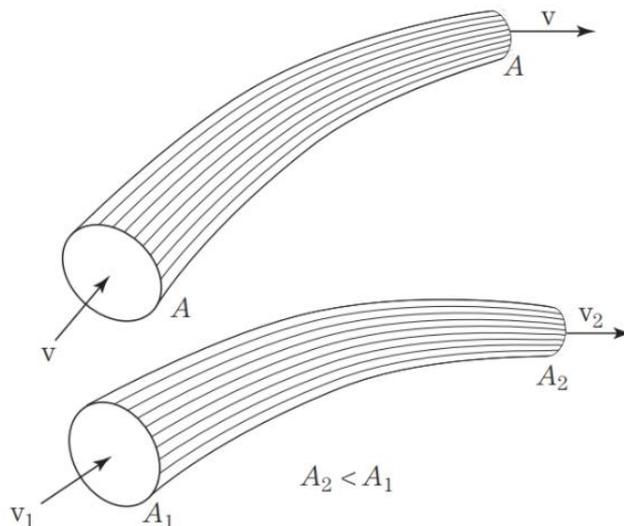
Fonte: Azevedo Netto e Fernandez, 2015

A Lei de conservação de massa admite que a massa de fluido, em escoamento, em um tubo de corrente impermeável é invariável (FOX et al., 2018). A quantidade de massa de fluido que escoou neste tubo em um certo intervalo de tempo, determina a vazão mássica (Equação 5).

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \rho Av \quad (5)$$

Ao considerar uma tubulação que tem seu início em uma área de seção transversal A_1 maior que a final A_2 de acordo com a Figura 3, e sabendo que o fluxo de massa deve ser manter constante durante todo o escoamento em qualquer região da tubulação e que o fluido é incompressível (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015), ou seja, sua massa específica não varia para as diferentes seções transversais, o fluido deve variar a velocidade a fim de não alterar o fluxo de massa (Equação 6).

Figura 3 – Tudo com diversas linhas de corrente.



Fonte: Azevedo Netto e Fernandez, 2008.

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = Av = \text{constante} \quad (6)$$

Onde, no sistema internacional: Q é a vazão (m³/s); v é a velocidade média na seção (m/s); e A é a área da seção transversal de escoamento (m²).

3.2.2. Equação de Bernoulli

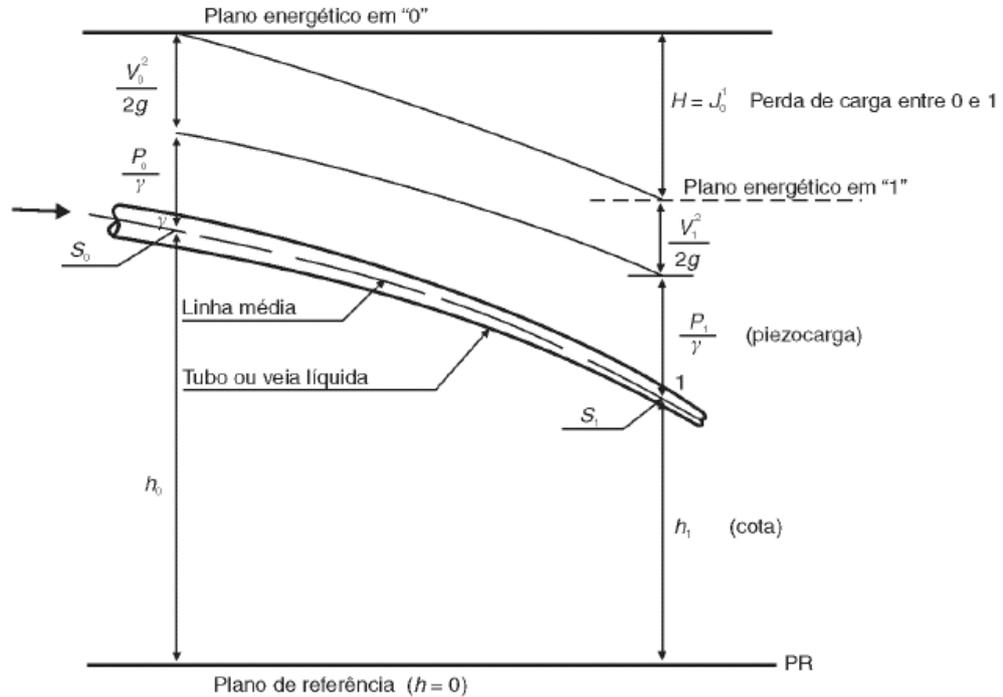
A equação da hidrodinâmica traduz o princípio de conservação de energia em um tubo de corrente em escoamento estacionário, incompressível, de viscosidade nula, sendo, portanto, normalmente aplicado a fluidos ideais (FOX et al., 2018). O Teorema de Bernoulli pode ser enunciado por “Ao longo de qualquer linha de corrente é constante a soma das cargas ou alturas: cinética $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$, piezométrica $\left(\frac{P}{\gamma}\right)$ e geométrica (Z)” (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2008, p. 65), como mostrado na Equação 7:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z = \text{constante} \quad (7)$$

No qual Z (Equação 8) é a altura do fluido até o plano de referência em metros (m), pelo sistema internacional e a cota piezométrica é dada pela soma das cargas geométricas e de piezométrica, conforme mostra a Figura 4 (MACINTYRE, 2018):

$$Z + \frac{P}{\gamma} \quad (8)$$

Figura 4. Balanço energético de um líquido em escoamento, de acordo com o Teorema de Bernoulli



Fonte: Macintyre (2018).

Já para os fluidos reais, a viscosidade do fluido gera tensões de cisalhamento no escoamento do fluxo, logo para que o fluido continue a escoar ele perde energia mecânica em forma de calor e trabalho, essa perda de energia em hidráulica é conhecida como perda de carga (h_f), e esta está diretamente ligada a turbulência do escoamento. Portanto é possível concluir que para um fluido real, a equação de Bernoulli (Equação 9) se assemelha a de um fluido ideal contudo subtrai-se o termo da perda de carga ao escoamento (MACINTYRE, 2018).

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + Z - h_f = \text{constante} \quad (9)$$

h_f , no sistema de unidades internacional é dado em metros (m). Ao analisar a figura 4, as linhas piezométricas e de energia do fluxo por causa da perda de carga a cota piezométrica, assim como a linha de energia tem valores menores que as do fluido ideal, pois perderam carga ao logo do escoamento na tubulação, sendo por perda de carga ao longo da tubulação ou por peças especiais, resultando na redução da pressão do fluido (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2008).

3.3. Escoamentos forçados

O escoamento de um fluido incompressível é classificado como livre quando a tubulação não possui sua seção transversal plenamente preenchida pelo fluido, e assim a pressão no fluido é menor que a atmosférica; e quando a tubulação possui sua seção plenamente preenchida pelo fluido, e assim a pressão na superfície da tubulação é igual a pressão atmosférica. Todavia, para escoamentos em que a seção transversal é plenamente preenchida e a pressão diferente da atmosférica, têm-se o escoamento forçado (FOX; McDONALD, 2001).

Nestes condutos, a análise quanto à perda de carga é indispensável, e consiste basicamente na perda gradual de energia do fluido devido ao contato entre este e as paredes dos condutos e devido à viscosidade interna (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015).

O fluido, quando escoar em condutos forçados, é submetido à variações de pressão. Essas variações podem ocorrer devido a velocidade de escoamento, a elevações da tubulação e pelo atrito interno intrínseco ao fluido e entre o fluido e as paredes internas do conduto (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015).

Esses fatores, que causam a variação de pressão, estão associados às características físicas das tubulações. A variação na área das seções transversais dos condutos está associada a variação da velocidade de escoamento, ampliando-a quando há uma redução na área da seção transversal e reduzindo-a quando há um aumento na área da seção transversal. A variação em função do atrito se dá devido à rugosidade da superfície interna da tubulação (RESENDE, 2007).

De acordo com o mesmo autor, em ambos os casos, essas variações de pressão causam uma perda de energia hidráulica, que é denominada como perda de carga. Os escoamentos turbulentos estão associados a perda de carga distribuída. Em grande maioria os condutos que são utilizados nas instalações hidráulicas são de seção circular e possuem singularidades, tais como curvas, válvulas, dentre outras; o que gera as perdas de cargas localizadas.

3.3.1. Perda de carga

Os conceitos relacionados à perda de carga são aplicados para fluidos reais, pois ocorre devido à resistência ao fluxo consumindo uma certa energia para vencer essas resistências do escoamento, ou seja, é resultante do atrito interno das paredes da tubulação com a viscosidade do fluido, como também de alterações das trajetórias impostas ao fluxo pelo próprio caminho da tubulação, incluindo peças especiais e dispositivos. Essa energia normalmente é dissipada

em forma de calor e, normalmente, resulta numa diminuição da pressão no escoamento (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ, 2015).

Na prática, as perdas de carga ocorrem principalmente devido a tubulação não ser retilínea e de mesmo diâmetro, por isso, quando o fluido precisa mudar a sua trajetória, há uma grande dissipação de energia, assim, as perdas de carga podem ser classificadas conforme o fluido sofre dissipação de energia manométrica (MACINTYRE, 2018).

I. Perda de carga contínua ou distribuída (h_f):

Ocorre quando o fluido encontra resistência ao fluxo devido à longa distância da tubulação, ou seja, perda de carga devido o atrito na tubulação. diâmetro constante.

II. Perda de carga acidental ou localizada (h_a):

Acontece quando a velocidade sofre alteração na direção do escoamento e/ou no seu valor, normalmente quando o escoamento encontra curvas, uniões de tubulações, reduções, ampliações de diâmetro ou válvulas, no seu fluxo.

III. Perda de carga total (h_t):

$$h_t = h_f + h_a \quad (10)$$

A perda de carga contínua h_f pode ser obtida de diversas formas, tanto pela formulação teórica que vem da Fórmula universal de Darcy-Weissbach, quanto que por diversas outras formulações empíricas, ou seja, formulações obtidas por ensaios práticos (MARTINS e GUKOVAS, 2010).

A fórmula universal (Equação 11) pode ser utilizada para qualquer escoamento, sendo laminar ou turbulento em qualquer tipo de fluido.

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

O h_f é a perda de carga contínua, em metros no sistema internacional; f é o coeficiente de atrito, adimensional; L é o comprimento virtual e D é o diâmetro. O coeficiente de atrito pode ser tanto calculado por Colebrook e White ou Prandtl, quanto retirado de ábacos como Diagrama de Moody ou Hunter-Rouse (CARVALHO, 2017).

Para Hazen-Willians utilizando-se de métodos empíricos foi elaborada primordialmente para tubulações em temperatura ambiente, com diâmetros maiores que 50 mm escoamento turbulento (Equação 12).

$$h_f = 10,643 \cdot \frac{L}{D^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85} \quad (12)$$

O C é o coeficiente de Hazen-Willians, que depende da natureza do material e estado de conservação dos tubos, os quais relacionam ε/D (ε é a rugosidade do material) (CARVALHO, 2017).

Já para a Equação de Flamant (Equação 13), que assim como a formulação Hazen-Willians é empírica, e logo há algumas limitações para sua aplicação, têm-se: instalação preferencialmente domiciliares, diâmetro máximo até 160 mm, velocidade média máxima de escoamento de 4 m/s, para os materiais ferro, aço-galvanizado e PVC (MACINTYRE, 2018 e CARVALHO, 2017).

$$h_f = k_e \cdot L \cdot \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (13)$$

Em que k_e é o coeficiente de rugosidade de Flamant, no sistema internacional de unidade é dado por S/m^2 .

E por fim, as equações de Fair-Whipple-Hisiao (Equações 14 e 15) que expressa essa fórmula em J expresso em kPa/m, para escoamento de água, onde os diâmetros variem até 100 mm, aplicados principalmente em instalações com diversas conexões, diferenciando os tipos de tubulação a qual a água escoar (MACINTYRE, 2018).

a) Tubos rugosos (aço-carbono, galvanizado ou não)

$$J = 20,2 \cdot 10^6 \cdot Q^{1,88} \cdot d^{-4,88} \quad (14)$$

b) Tubos lisos (plásticos, cobre ou liga de cobre)

$$J = 8,69 \cdot 10^6 \cdot Q^{1,75} \cdot d^{-4,75} \quad (15)$$

Assim perda de carga é diretamente proporcional ao comprimento da tubulação e a uma potência da velocidade ou vazão contudo ela é inversamente proporcional a uma potência do diâmetro, a perda de carga independe da pressão interna do fluido e varia com a natureza da tubulação.

Já as perdas de carga acidentais, também conhecidas como localizadas, ocorrem sempre quando há uma variação na forma, direção ou seção do escoamento do conduto, o que resulta na alteração da velocidade. A causa disso são as peças especiais como conexões, reduções, válvulas, curvas, entre outras. Essa perda de carga só se torna desprezível se a velocidade média do escoamento for menor que 1 m/s, presença de poucas peças especiais ou o comprimento da

tubulação for 4000 vezes o seu diâmetro (MACINTYRE, 2018). A perda de carga localizada deve ser uma adição a perda total, assim, mesmo quando for desprezível o projetista pode sim considerá-la no cálculo.

O método direto é utilizado com auxílio de tabelas, as quais foram obtidas empiricamente, para determinar o coeficiente K, que depende de cada peça, é um valor adimensional (CARVALHO, 2017).

$$h_{fl} = K \frac{v^2}{2g} \quad (16)$$

Se houver mais de uma peça especial, o que ocorrerá na maioria dos casos, a perda de carga localizada total poderá ser determinada somando todos os K de acordo com as peças e suas quantidades, e aplicando na Equação (17):

$$h_{fl} = \sum K \frac{v^2}{2g} \quad (17)$$

Agora para o método dos comprimentos virtuais ou equivalentes a ideia consiste em transformar a peça especial em uma perda de carga contínua, como se o fluido ao invés de encontrar uma peça especial percorre o comprimento equivalente para perder carga com o mesmo diâmetro da peça a qual ele encontrou (MACINTYRE, 2018).

O comprimento virtual (L_v) é o somatório do comprimento equivalente (L_{eq}) com o comprimento contínuo do restante da tubulação. Assim a perda de carga é calculada por uma das fórmulas da perda de carga contínua, substituindo o L por L_v (Equação 18).

$$L_v = L_{eq} + L \quad (18)$$

O comprimento equivalente pode também ser obtido por outro método que é em função dos diâmetros equivalentes, que nesse caso cada peça do projeto equivale a uma quantidade de diâmetros. O comprimento equivalente (Equação 19) passa a valer o diâmetro da peça vezes um n, que é o número de diâmetros tabelado de acordo com as peças especiais do projeto (CARVALHO, 2017).

$$L_{eq} = n \cdot D \quad (19)$$

E assim como no comprimento virtual, a perda de carga total é obtida substituindo L pelo comprimento virtual, em alguma fórmula de perda de carga contínua.

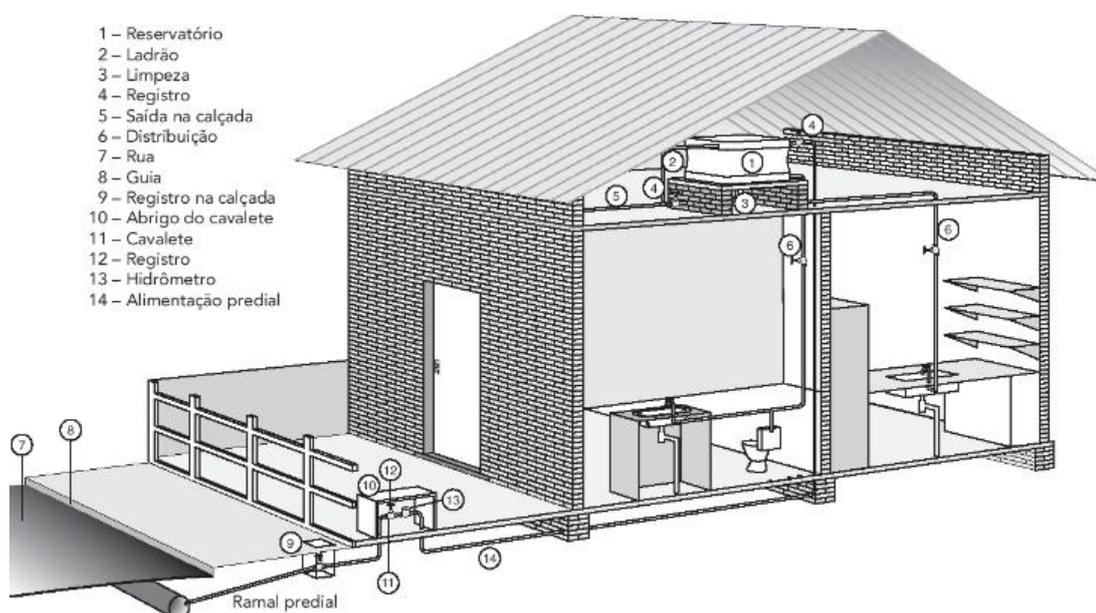
3.4. Instalações Prediais de Água Quente e Água Fria

Os sistemas prediais de água fria e quente tem por objetivo o fornecimento de água potável aos usuários das edificações, com a capacidade de fornecer um serviço contínuo, com

pressões adequadas, para o funcionamento das diversas peças de utilização (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

Segundo Carvalho Júnior (2018), as instalações prediais de água fria podem ser definidas como equipamentos, condutos, reservatórios e dispositivos que em conjunto formam um sistema de abastecimento de pontos que necessitam da utilização de água e de determinados aparelhos. Um exemplo de instalação predial de água fria com seus respectivos aparelhos pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Exemplo de instalação predial de água fria.



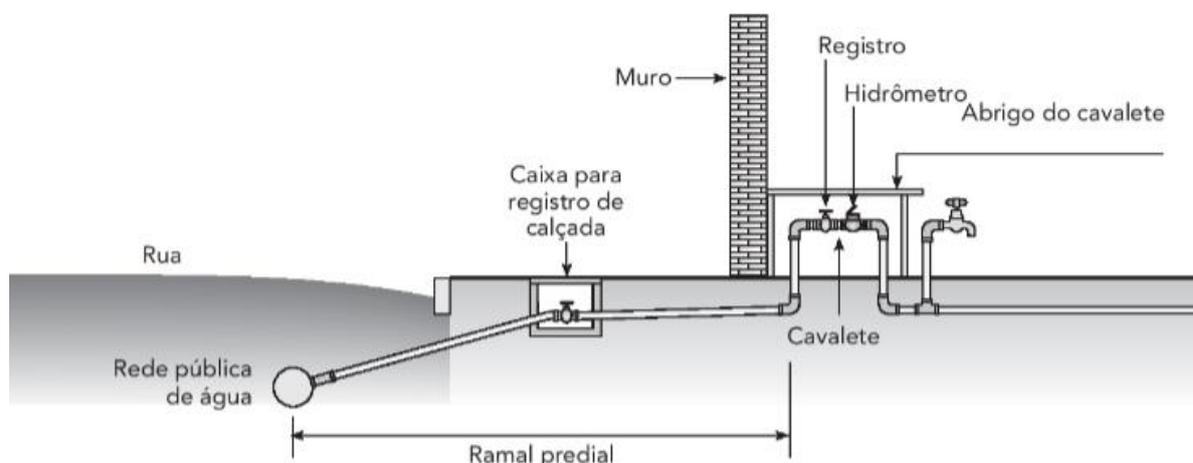
Fonte: CARVALHO JÚNIOR (2018).

A fim de garantir o abastecimento em quantidades adequadas e manter a qualidade da água fornecida, é de suma importância o bom planejamento das instalações. O sistema de água fria deve ser distinto de qualquer instalação de outras naturezas, como instalações destinadas a captação de águas pluviais, instalações destinadas ao reuso, ou qualquer outra natureza que tenha a qualidade da água questionável (BARRÊTO JÚNIOR, 2006).

A alimentação da instalação predial pode ser realizada por meio da rede pública ou por rede privada. Para a captação de água através da rede privada, deve ser previsto um sistema de tratamento para garantir a qualidade da água ao consumo humano. Todavia, se a captação de água for através da rede pública, a concessionária é a responsável pelo tratamento e garantia da qualidade da água (LOBATO, 2005).

A captação de água da rede pública é composta por ramal predial, um hidrômetro, aparelho destinado a aferir o consumo de água e um alimentador predial (Figura 6). O sistema de distribuição de água tem a função de transportar a água até os pontos de consumo, que podem ser ascendentes e descendentes. Após a captação, tem-se a fase de abastecimento, que é realizado por meio de uma ligação predial, que é chamado de ramal predial (LOBATO, 2005).

Figura 6 - Sistema de alimentação através da rede pública.



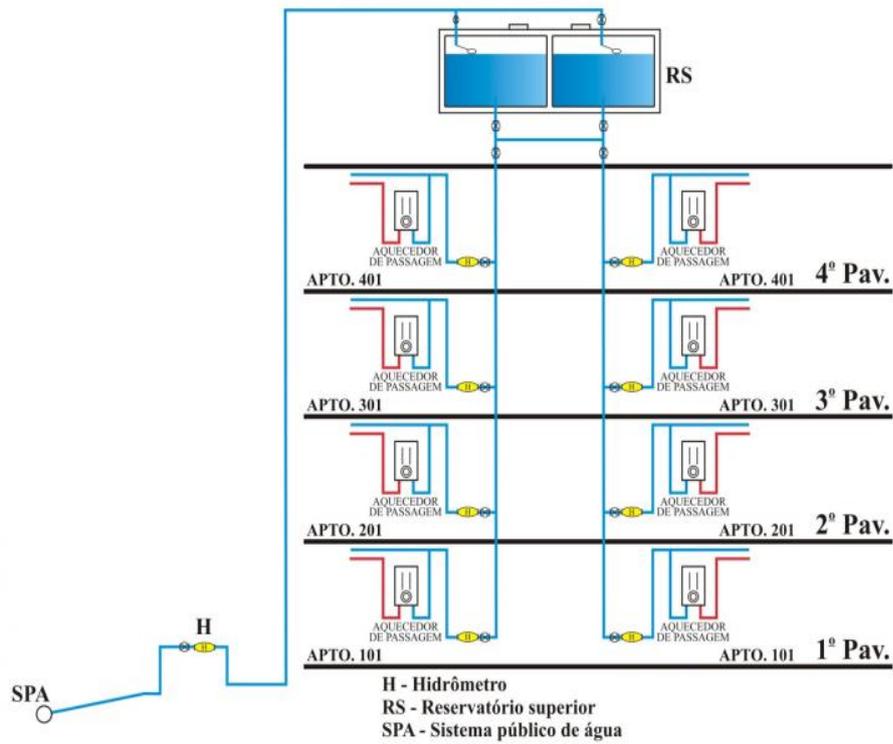
Fonte: CARVALHO JÚNIOR (2018).

Além do sistema de abastecimento de água fria, tem-se o sistema de abastecimento de água quente, que compreende em um sistema que proporciona maiores temperaturas a determinados usos da água, podendo ocorrer a dosagem com o uso da água fria para proporcionar maior conforto ao usuário (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

Há a dispensa de rede de distribuição quando o sistema de aquecimento ocorre no ponto de consumo, como por exemplo, no caso do chuveiro elétrico. As redes de distribuição do sistema de abastecimento de água quente contam com sistema individual, sistema central privado e sistema central coletivo. O sistema individual ocorre quando o sistema de aquecimento abastece um único ponto da unidade residencial. O sistema central privado consiste no sistema de aquecimento que abastece diversos pontos da unidade residencial. E, por fim, o sistema central coletivo consiste no sistema de aquecimento que abastece diversas unidades habitacionais de um edifício (BENEDICTO, 2009).

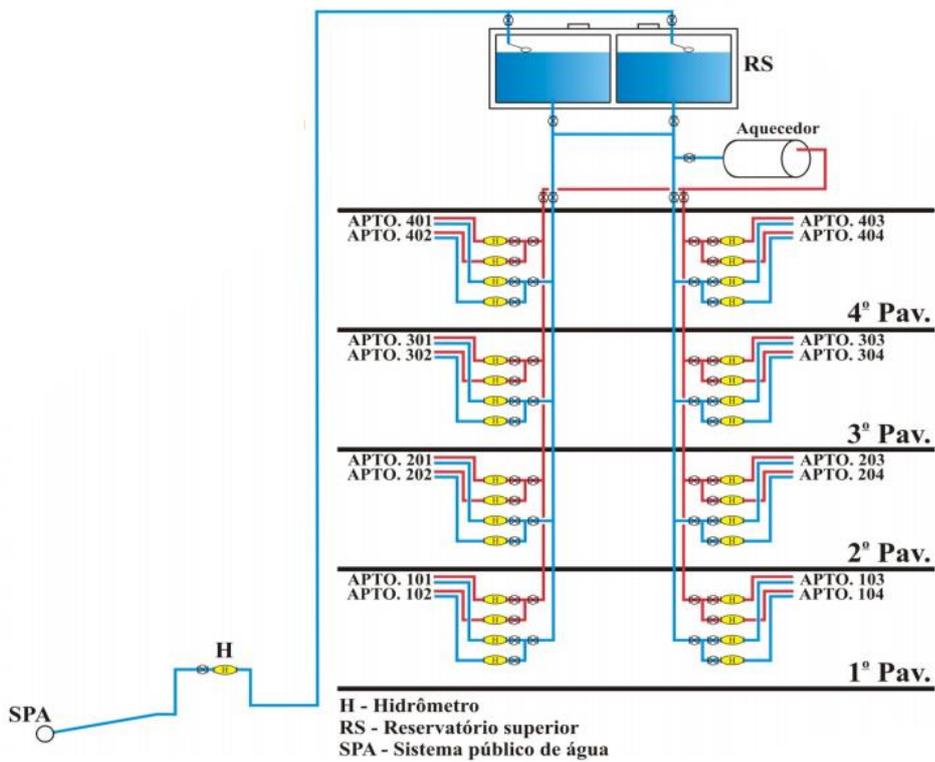
A Figura 7 apresenta um esquema do sistema central privado e a Figura 8 apresenta um esquema do sistema central coletivo; já a Figura 9 apresenta um exemplo de aquecimento individual para a pia da cozinha e para o lavatório.

Figura 7 - Sistema central privado.



Fonte: Oliveira, Graça e Gonçalves (2019).

Figura 8 – Sistema central coletivo.

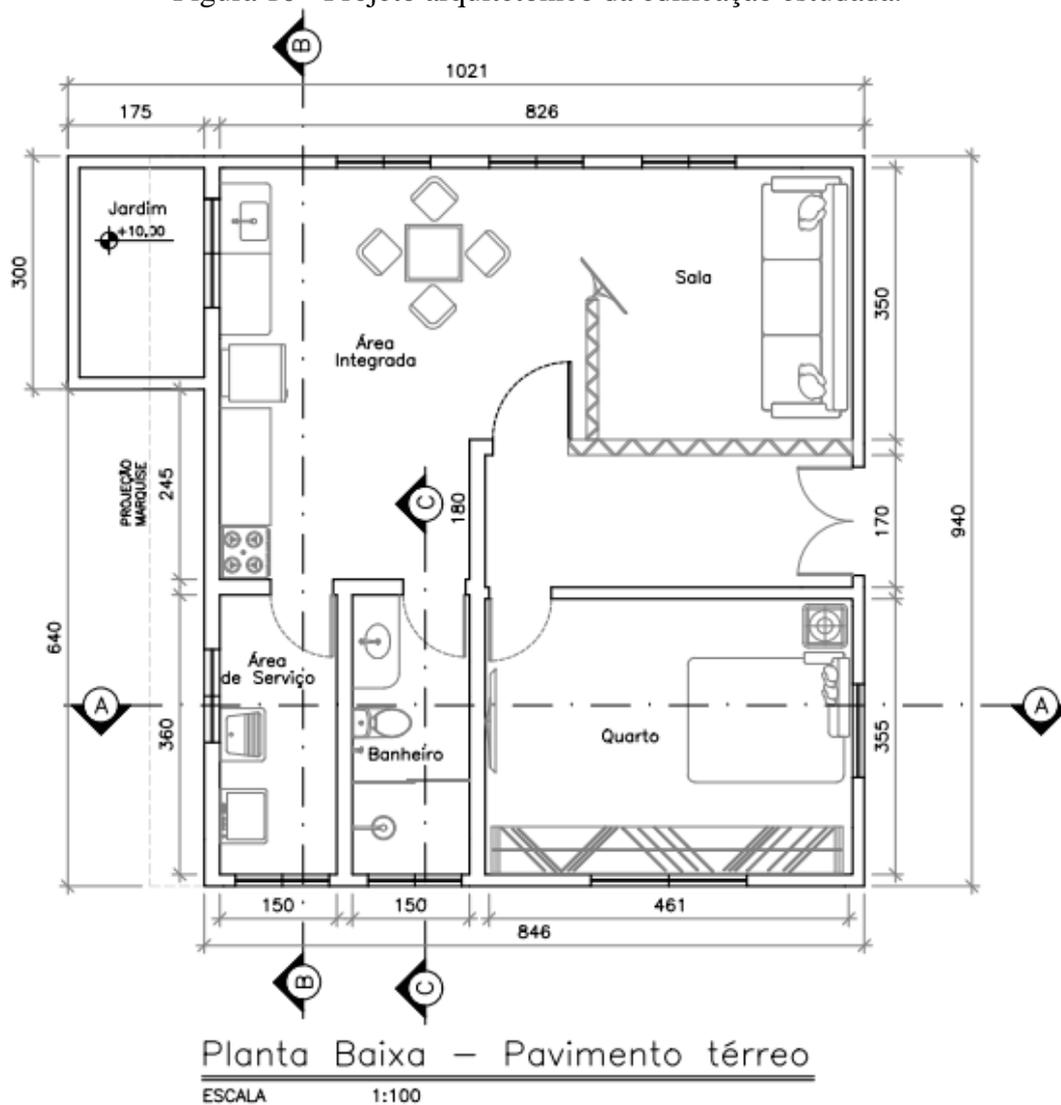


4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Projeto arquitetônico e sistema de distribuição

Na Figura 10 é representado o projeto arquitetônico do apartamento objeto de estudo dos ensaios dos métodos de dimensionamento.

Figura 10 - Projeto arquitetônico da edificação estudada.



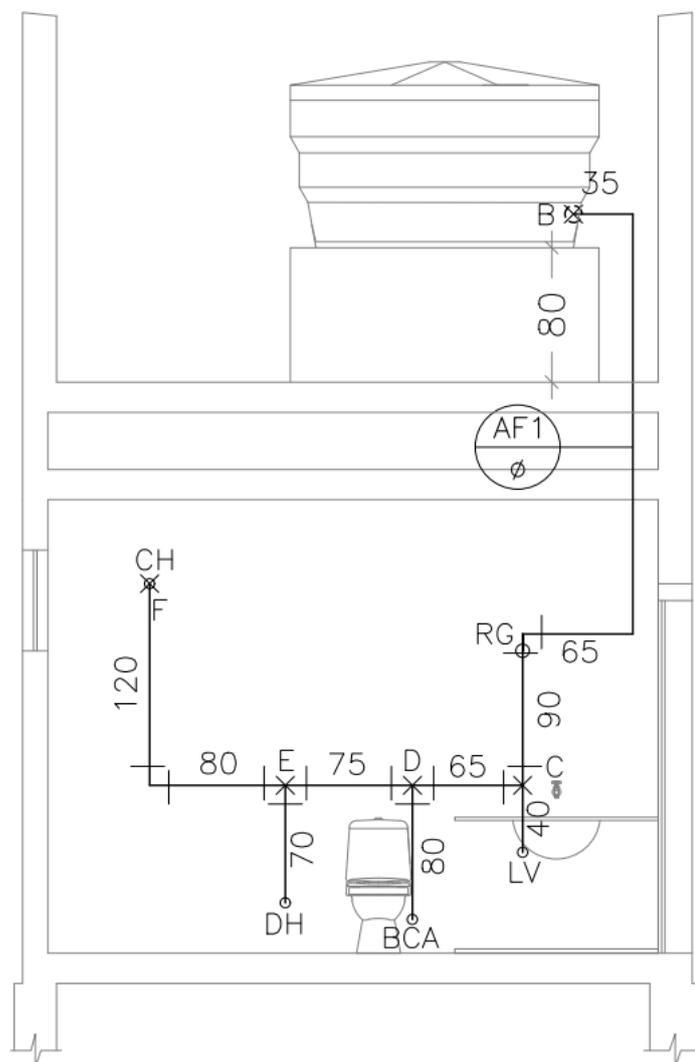
Fonte: Das autoras (2021).

A planta baixa de uma edificação unifamiliar de aproximadamente 80 m², para um casal de moradores, seus ambientes são distribuídos da seguinte forma: um quarto orientado para o lado leste do caminho do sol, uma sala separada da entrada e da área integrada por alvenaria não convencional e a área integrada da cozinha com a sala de jantar, também dispõe de uma

área de serviço e um banheiro. A ideia principal foi deixar as paredes hidráulicas e a área molhada da alvenaria do mesmo lado da construção.

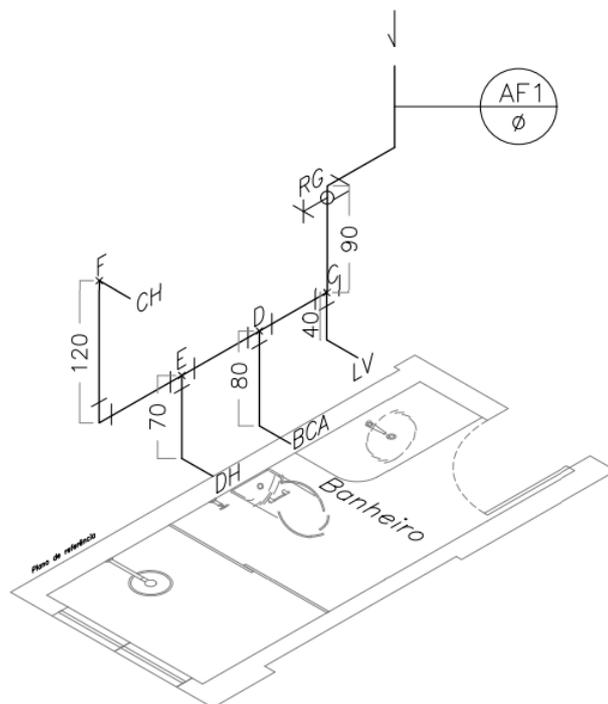
No banheiro foi identificado 1 lavatório, uma bacia com caixa acoplada, uma ducha higiênica e, no trecho terminal do ramal, o chuveiro, conforme a Figura 11, que mostra a distribuição em planta da coluna, ramais e sub-ramais da distribuição de água no edifício. Na Figura 12, o detalhamento isométrico desse trecho em análise é apresentado.

Figura 11 - Diagrama vertical do sistema de distribuição da instalação estudada.



Fonte: das autoras (2021).

Figura 12 - Detalhamento isométrico da instalação estudada.



Isométrico 1

ESCALA 1:100

Fonte: das autoras (2021).

4.2.Método de dimensionamento proposto – Equacionamento 1

Com a definição dos trechos no detalhamento isométrico (Figura 11), foi possível determinar o comprimento (L) de cada trecho dos ramais e sub-ramais do trecho em estudo. A Tabela 1 apresenta de forma sucinta os comprimentos entre os trechos.

Tabela 1 - Comprimento dos trechos.

Trecho		L (m)
F	E1	2,00
E1	E2	0,70
E1	D1	1,55
D1	D2	0,80
D1	C1	1,05
C1	C2	0,40
C1	B	4,20

Fonte: Das autoras (2021).

A NBR 5626 (ABNT, 2020) apresenta a definição de que a carga mínima de operação no ponto de utilização não deve ser menor que 10 kPa (1,01968 m.c.a.). Considerando-se um cenário em que uma ducha esteja em funcionamento, e ao se abrir simultaneamente um ponto de utilização do ramal, não deve ocorrer redução na vazão dinâmica que seja superior a 10% em relação a vazão anterior. Portanto, tem-se que a adoção da carga de operação fica a critério do projetista, desde que atenda aos critérios apontados pela norma.

A pressão dinâmica da água em um determinado ponto de utilização deve assegurar a vazão necessária de projeto. O item 6.9.2 de ABNT (2020) afirma que a pressão dinâmica requerida para o funcionamento da peça de utilização ou do aparelho sanitário deve ser obtida junto ao fabricante ou a especificação técnica do componente em si. Como alternativa, a norma aponta que pode ser obtido o fator de vazão da peça de utilização ou do aparelho sanitário, no qual deve ser constante para uma faixa de operação de vazões previstas, que deve atender a Equação 20.

$$Q = k \sqrt{P} \quad (20)$$

Em que:

k – fator de vazão da peça de utilização ou aparelho sanitário ($L \cdot s^{-1} \cdot kPa^{-0,5}$).

Diante disso, foi determinado o fator de vazão da peça de utilização ou aparelho sanitário por meio da coleta de dados por amostragem de diferentes fabricantes de um determinado aparelho e suas respectivas curvas de vazão. Com isso, foi possível determinar um valor de fator de vazão média para cada aparelho ou peça sanitária, para que seja possível a realização do dimensionamento antes mesmo de pré-definir um aparelho ou peça sanitária específica, visando maior aplicabilidade pois possibilita ao projetista valores que atendem a baixas vazões, médias vazões e altas vazões.

As vazões de projeto das peças de utilização ou aparelhos sanitários obtidas através do estudo estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Curvas vazão x carga de pressão dos aparelhos sanitários estudados.

Peça de utilização	Nível de Vazão	Equação da Vazão (L/s)
Chuveiro	Baixa Vazão	$Q = 0,0462\sqrt{P}$
	Vazão intermediária	$Q = 0,0842\sqrt{P}$
	Alta Vazão	$Q = 0,1254\sqrt{P}$
Torneiras	Baixa Vazão	$Q = 0,0277\sqrt{P}$
	Vazão intermediária	$Q = 0,0385\sqrt{P}$
	Alta Vazão	$Q = 0,0450\sqrt{P}$
Ducha Higiênica	Baixa Vazão	$Q = 0,0062\sqrt{P}$
	Vazão intermediária	$Q = 0,0303\sqrt{P}$
	Alta Vazão	$Q = 0,0421\sqrt{P}$
Válvula de Descarga	Baixa Vazão	$Q = 0,0029\sqrt{P}$
	Vazão intermediária	$Q = 0,0094\sqrt{P}$
	Alta Vazão	$Q = 0,0247\sqrt{P}$

Fonte: Das autoras (2021).

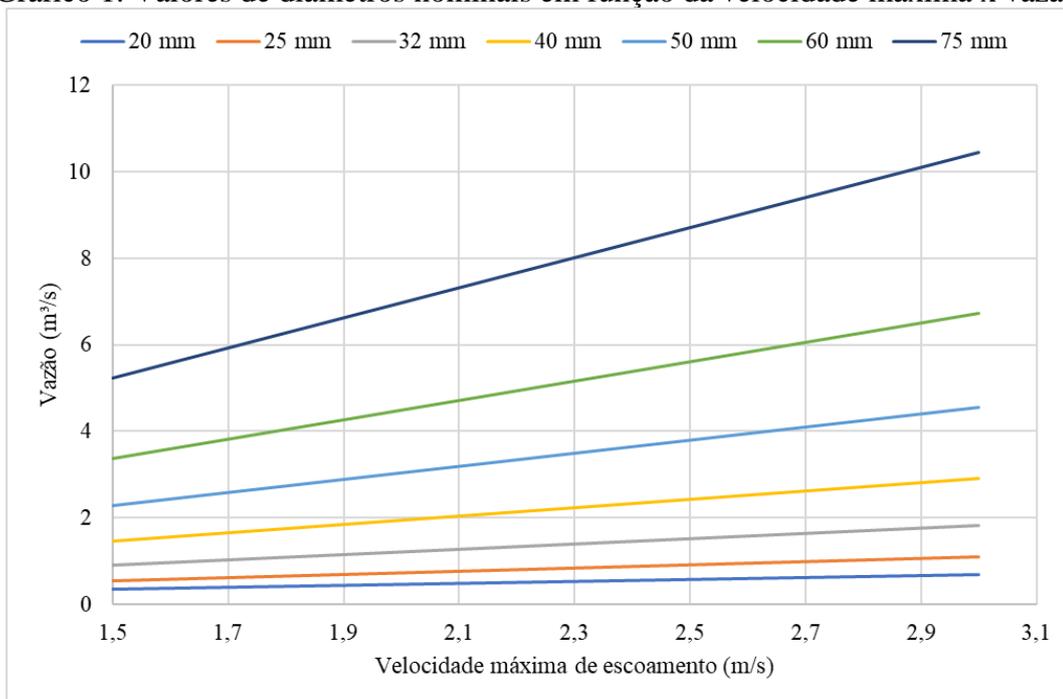
O Apêndice I apresenta as peças coletadas, seus respectivos fabricantes e o modelo dos aparelhos; e o Apêndice II apresenta as curvas médias obtidas para cada aparelho sanitário.

Para determinar o diâmetro nominal do ramal, deve-se considerar a velocidade máxima de escoamento no ramal e por conseguinte, a vazão de projeto. O item 6.14.3 de ABNT (2020) afirma que os diâmetros devem ser adotados em função dos valores das velocidades e das vazões de projeto consideradas.

Para a determinação da velocidade de projeto, o item 6.8 da norma aponta algumas considerações, em que afirma que as tubulações devem ser dimensionadas de forma a limitar a velocidade de escoamento a valores que evitem a propagação de ruídos em níveis que excedam as normativas de conforto. Aponta também que as tubulações devem ser dimensionadas de forma que limite a velocidade de escoamento a valores que evitem golpes de aríete com intensidades prejudiciais aos componentes.

Diante disso, o projetista deve determinar a velocidade máxima de escoamento da tubulação e a vazão de projeto, para determinar o diâmetro nominal do ramal. Assim, foi construído um ábaco em função da vazão de projeto e da velocidade máxima de escoamento, levando-se em consideração o uso de diâmetros comerciais (Gráfico 1).

Gráfico 1. Valores de diâmetros nominais em função da velocidade máxima x vazão.



Fonte: Das autoras (2021).

A determinação da velocidade de escoamento no ramal se deu por meio da Equação da Continuidade (Equação 6), em função da vazão de projeto e do diâmetro nominal determinados, respectivamente.

Determinou-se a perda de carga do escoamento para a verificação da pressão dinâmica nos trechos a montante e a jusante do aparelho sanitário, sendo a perda de carga determinada numericamente a jusante e a montante determinada algebricamente, em função da pressão do aparelho a jusante.

De acordo com o item 6.14.4 da norma, a perda de carga deve ser realizada aplicando-se equações pertinentes, e faz nota a utilização da equação universal de perda de carga (Equação 10). Para a determinação da perda de carga localizada, utilizou-se o Método dos diâmetros Equivalentes de acordo com a Tabela 3 de peças especiais para cada trecho especificado. Conforme definido na Equação 12, para este dimensionamento, será considerado o modelo de Flamant.

Tabela 3 - Quantidade de peças especiais em cada trecho.

Trecho		Peças especiais
F	E2	1 Saída, 2 joelhos de 90°, 1 tê de saída lateral, 1 registro de pressão
E2	E2 subramal	1 Saída
E	D2	1 tê de saída lateral
D2	D2 subramal	1 Saída, 1 redução
D	C2	1 tê de saída lateral
C2	C2 subramal	1 Saída, 1 redução
C	B	1 Entrada de bordo, 3 joelhos de 90°, 1 tê de saída bilateral

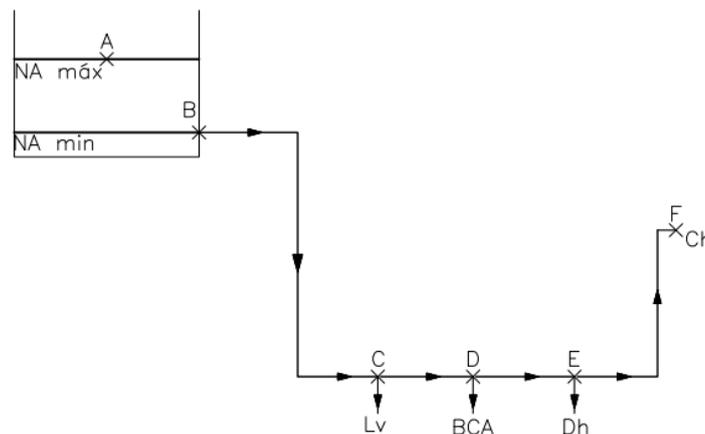
Fonte: Das autoras (2021).

4.2.1. Carga de pressão no aparelho sanitário a montante

No dimensionamento das instalações hidráulicas prediais, faz-se necessária a verificação das pressões atuantes nos ramais. Nos itens 6.9.3 e 6.9.4 de ABNT (2020) é apontado que qualquer ponto da rede predial de distribuição e do sistema de distribuição, a pressão dinâmica da água não pode ser inferior a 5 kPa (aproximadamente 0,5 mca). Em relação a pressão estática, o item 6.9.5 indica que nos pontos de utilização não pode ser superior a 400 kPa (aproximadamente 40 mca).

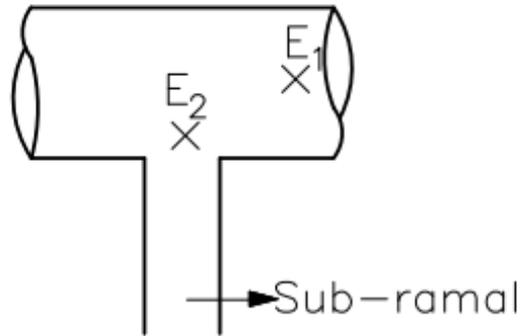
Diante disso, para a verificação da pressão dinâmica, será aplicada a Equação de Bernoulli para fluidos reais (Equação 9), entre os nós pré-definidos na Figura 13. Assim, tendo o chuveiro (ponto F), como o ponto mais à jusante do sistema de distribuição, será realizada a aplicação da Equação de Bernoulli para o trecho entre F e E1 (ponto imediatamente a montante do ponto F) e a aplicação para o trecho entre F e E2, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 13 - Esquematização simplificada para dimensionamento do projeto.



Fonte: Das autoras (2021).

Figura 14 - Localização de E1 e E2 no ramal hidráulico.



Fonte: Das autoras (2021).

4.2.1.1. Equação de Bernoulli entre o trecho F – E1 (Método simplificado)

Na aplicação entre F – E1, considera-se a aplicação apenas no ramal que abastece o chuveiro, fazendo com que a vazão que considerada no ponto E é a mesma considerada no ponto F (Equação 21).

$$Z_{E1} + \frac{V_{E1}^2}{2g} + \frac{P_{E1}}{\gamma} - \Delta H_{E1-F} = Z_F + \frac{V_F^2}{2g} + \frac{P_F}{\gamma} \quad (21)$$

Como os pontos estão localizados no ramal que possuem mesma área da seção transversal e a mesma vazão, as velocidades nos dois pontos são iguais.

$$V_{E1} = V_F$$

$$\therefore Z_{E1} + \frac{P_{E1}}{\gamma} - \Delta H_{E1-F} = Z_F + \frac{P_F}{\gamma} \quad (22)$$

$$\frac{P_{E1}}{\gamma} = Z_F + \frac{P_F}{\gamma} - Z_{E1} + \Delta H_{E1-F} \quad (23)$$

4.2.1.2. Equação de Bernoulli entre o trecho F – E2 (Método dos sub-ramais)

Na aplicação entre F – E2, considera-se a aplicação no ramal que abastece o chuveiro e nos sub-ramais que abastecem os aparelhos a montante do chuveiro, sendo assim, a vazão que escoar no ponto E2 é a soma entre as vazões dos aparelhos em F e em E (Equação 24).

$$Z_{E2} + \frac{V_{E2}^2}{2g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} - \Delta H_{E2-F} = Z_F + \frac{V_F^2}{2g} + \frac{P_F}{\gamma} \quad (24)$$

O ponto E2 trata-se do sub-ramal da ducha higiênica, na qual não possui a mesma vazão do chuveiro, e assim possuem velocidade diferentes.

$$V_{E2} \neq V_F$$

$$\left(\frac{V_{E2}^2}{2g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} \right) = Z_F + \frac{V_F^2}{2g} + \frac{P_F}{\gamma} - Z_{E2} + \Delta H_{E2-F} \quad (25)$$

Sendo que a velocidade descrita por:

$$Q = v \times S$$

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \therefore$$

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (26)$$

Substituindo a velocidade no termo da energia cinética, e então na equação de Bernoulli, tem-se:

$$\frac{8(Q_1 + Q_2)^2}{\pi^2 D^4 g} = \frac{8(Q_1 + 2Q_1 Q_2 + Q_2)^2}{\pi^2 D^4 g} \therefore \quad (27)$$

$$\frac{8(Q_1 + 2Q_1 Q_2 + Q_2)^2}{\pi^2 D^4 g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} = Z_F + \frac{V_F^2}{2g} + \frac{P_F}{\gamma} - Z_{E2} + \Delta H_{E2-F} \quad (28)$$

A perda de carga neste trecho é dada por:

$$\Delta H_{E2-F} = \beta \frac{L}{D^m} (Q_1 + Q_2)^n + \beta \frac{L}{D^m} (Q_1)^n \quad (29)$$

Em que:

β, m e n : são coeficientes dependentes da equação da perda de carga.

$$\frac{8(Q_1 + 2Q_1Q_2 + Q_2)^2}{\pi^2D^4g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} - \left[\beta \frac{L}{D^m} (Q_1 + Q_2)^n + \beta \frac{L}{D^m} (Q_1)^n \right] = Z_F + \frac{V_F^2}{2g} + \frac{P_F}{\gamma} - Z_{E2} \quad (30)$$

- Equação de Bernoulli entre o trecho E2 – E2, sub-ramal:

Perda de carga no sub-ramal + Entrada do sub-ramal:

$$\Delta H_{E2-E2SUB} = \beta \times \frac{L}{D^m} \times (Q_1 + Q_2)^n + \beta \times \frac{L}{D^m} \times (Q_1)^n \quad (31)$$

Então:

$$\frac{8(Q_1 + 2Q_1Q_2 + Q_2)^2}{\pi^2D^4g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} - \Delta H_{E2-E2SUB} = Z_F + \frac{V_F^2}{2g} + \frac{P_F}{\gamma} - Z_{E2} \quad (32)$$

$$Z_{E2} + \frac{8(Q_1 + 2Q_1Q_2 + Q_2)^2}{\pi^2D^4g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} - \Delta H_{E2-F} = Z_{E2SUB} + \frac{V_{E2SUB}^2}{2g} + \frac{P_{E2SUB}}{\gamma} \quad (33)$$

$$\frac{P_{E2}}{\gamma} = Z_{E2SUB} + \frac{8Q_2^2}{\pi^2D^4g} + \frac{P_{E2SUB}}{\gamma} - Z_{E2} - \frac{8(Q_1 + 2Q_1Q_2 + Q_2)^2}{\pi^2D^4g} + \beta \frac{L}{D^m} (Q_1 + Q_2)^n + \beta \frac{L}{D^m} (Q_2)^n \quad (34)$$

A fim de determinar a pressão no sub-ramal, a equação (34) será aplicada na equação (30).

$$\frac{8Q_2^2}{\pi^2D^4g} + \frac{P_{E2SUB}}{\gamma} + \beta \frac{L}{D^m} (Q_2)^n = Z_F + \frac{V_F^2}{2g} + \frac{P_F}{\gamma} - Z_{E2SUB} + \beta \frac{L}{D^m} (Q_1)^n \quad (35)$$

$$\frac{8(K\sqrt{P_{E2SUB}})^2}{\pi^2D^4g} + \frac{P_{E2SUB}}{\gamma} + \beta \frac{L}{D^m} (K\sqrt{P_{E2SUB}})^n = Z_F + \frac{V_F^2}{2g} + \frac{P_F}{\gamma} - Z_{E2SUB} + \beta \frac{L}{D^m} (Q_1)^n \quad (36)$$

Assim, por meio da Equação 36, pode-se determinar a pressão P_{E2SUB} .

Determinada a pressão P_{E2SUB} , determina-se a vazão Q_2 , referente ao aparelho sanitário conectado ao nó E por meio do seu sub-ramal, por meio da equação de vazão correspondente ao aparelho sanitário em questão.

4.3.Método de dimensionamento proposto – Equacionamento 2 (Método prático)

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020), no item 6.14.4, a determinação das perdas de carga e o cálculo das pressões dinâmicas nos pontos de utilização devem ser feitos mediante aplicação de equações pertinentes. Diante disso, para o cálculo da perda de carga total será considerado o método dos comprimentos equivalentes, conforme apresentado na Equação 37.

$$H_{PCH} = \Delta Z_{ch} - \Delta H_{R-Ch} \quad (37)$$

Em que:

H_{pch} :carga de pressão dinâmica no chuveiro;

ΔZ_{ch} : desnível entre o NA do reservatório e o chuveiro;

ΔH_{r-ch} : perda de carga entre o reservatório e o chuveiro.

A norma define que a carga mínima de operação no ponto de utilização não deve ser menor que 10 kPa (1,01968 m.c.a.). A carga mínima de pressão no aparelho deve ser definida a critério do projetista, desde que atenda aos critérios apresentados a seguir.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta Z_{ch} - \Delta H_{R-Chsim} = 1,01968 \text{ (desde que } H_{pch} \geq 1,01968) \\ \Delta Z_{ch} - \Delta H_{R-Chproj} > 1,01968 \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (1^\circ) \\ (2^\circ) \end{array}$$

O primeiro critério verifica a condição normativa, na qual a carga de pressão dinâmica deve atender ao valor mínimo de 1,01968 m.c.a. quando ocorrer o uso simultâneo do chuveiro com outros aparelhos sanitários. Já o segundo critério verifica que, para o caso do funcionamento unicamente do chuveiro, a carga de pressão deve ser maior que 1,01968 m.c.a.. No uso simultâneo ocorre a redução da carga de pressão no chuveiro, assim, a carga de pressão a ser adotada deve ser maior que a carga mínima.

Vale ressaltar que, desde que a carga de pressão tenha o valor mínimo apresentado, o valor para a carga de pressão deve ser critério do projetista durante o dimensionamento.

4.3.1. Gradiente de projeto

De acordo com a norma, para efeitos de dimensionamento, considerando-se um cenário em que há uma ducha em funcionamento com vazão de projeto, ao se abrir simultaneamente um ponto de utilização do ramal, não deve ocorrer redução na vazão dinâmica superior a 10% em relação a vazão anterior.

Portanto, tem-se que a adoção da carga de operação fica a critério do projetista, possibilitando maior flexibilidade no dimensionamento, desde que atenda aos critérios apontados pela norma. Com isso, quanto maior a carga de projeto no chuveiro, maior poderá ser a variação de carga nele. O critério da variação máxima de 10% implica também em uma perda de carga unitária de 10%, ou seja, 0,1 m.c.a. a cada metro de tubulação, fazendo com que o projetista também se atente a esse critério no dimensionamento.

Diante deste exposto, determinou-se a Equação 38, que atende aos critérios de dimensionamento da norma.

$$\begin{aligned}\frac{H_{pchproj} - H_{pchsim}}{H_{pchproj}} &\leq 0,10 \\ 1 - \frac{H_{pchsim}}{H_{pchproj}} &\leq 0,10 \\ \therefore \frac{H_{pchsim}}{H_{pchproj}} &\geq 0,90\end{aligned}\tag{38}$$

Em que:

$H_{pchproj}$ - carga dinâmica no chuveiro com vazão de projeto do chuveiro;

H_{pchsim} - carga dinâmica no chuveiro em operação simultânea com um ou mais aparelhos.

Para definir o gradiente de projeto, que será a relação entre a perda de carga e a diferença de nível geométrico, parte-se da equação 37 da carga de pressão apresentada no item 4.3.1 e da relação apresentada em na equação 38.

$$H_{p\text{chproj}} = \Delta Z_{\text{ch}} - \beta Q_{\text{Ch}}^n \sum_{i=k}^k \frac{L_i}{D_i^m} \quad (39)$$

Para a carga de pressão de projeto, quando há o funcionamento apenas do chuveiro, tem-se que a vazão de projeto é vazão do chuveiro, sendo possível fazê-la constante.

$$H_{p\text{chproj}}, Q_k = Q_{\text{proj}} = \text{constante}$$

$$\frac{\Delta Z_{\text{ch}} - \beta \sum_{i=1}^L \left(\frac{L_i Q_i^n}{D_i^m} \right)}{\Delta Z_{\text{ch}} - \beta Q_{\text{proj}}^n \left(\frac{L_i}{D_i^m} \right)} \geq 0,90 \quad (40)$$

$$\frac{\Delta Z_{\text{ch}} - \Delta H_{\text{R-Chsim}}}{\Delta Z_{\text{ch}} - \Delta H_{\text{R-Chproj}}} \geq 0,90 \quad (41)$$

$$\frac{\Delta Z_{\text{ch}} \left(1 - \frac{\Delta H_{\text{R-Chsim}}}{\Delta Z_{\text{ch}}} \right)}{\Delta Z_{\text{ch}} \left(1 - \frac{\Delta H_{\text{R-Chproj}}}{\Delta Z_{\text{ch}}} \right)} \geq 0,90 \quad (42)$$

Como o gradiente de projeto (φ) é o produto entre a perda de carga e o nível geométrico, tem-se a seguinte definição:

$$\varphi_{\text{R-Ch}} = \frac{\Delta H_{\text{R-Ch}}}{\Delta Z_{\text{ch}}}$$

$$\frac{1 - \varphi_{\text{R-Chsim}}}{1 - \varphi_{\text{R-Chproj}}} \geq 0,90$$

$$1 - \varphi_{\text{R-Chsim}} \geq 0,90(1 - \varphi_{\text{R-Chproj}})$$

$$1 - \varphi_{\text{R-Chsim}} \geq 0,90 - 0,90\varphi_{\text{R-Chproj}}$$

$$0,1 - \varphi_{\text{R-Chsim}} \geq -0,90\varphi_{\text{R-Chproj}}$$

$$\frac{0,1 - \varphi_{R-Chsim}}{-0,90} \geq \varphi_{R-Chproj}$$

$$1,1111\varphi_{R-Chsim} - 0,1111 \geq \varphi_{R-Chproj}$$

$$\varphi_{R-Chproj} \leq 1,1111\varphi_{R-Chsim} - 0,1111 \quad (43)$$

Em que:

$\varphi_{R-Chproj}$ – gradiente de projeto somente com o chuveiro em funcionamento;

$\varphi_{R-Chsim}$ – gradiente de projeto com o chuveiro em uso simultâneo com outros aparelhos sanitários.

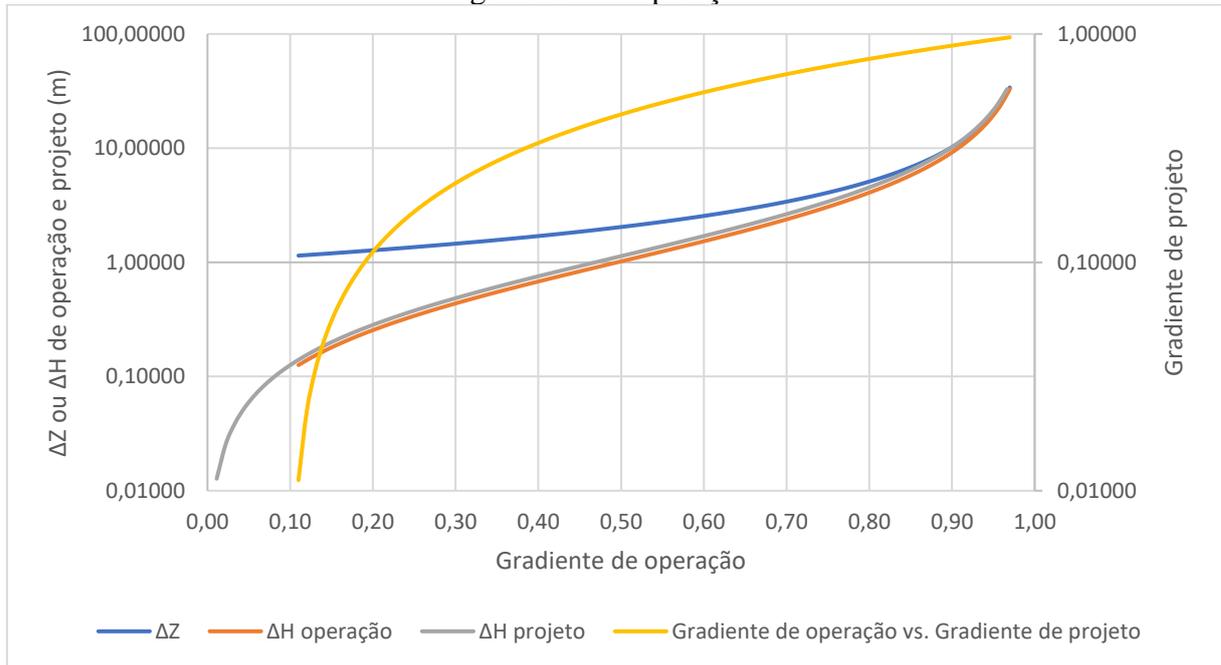
Vale ressaltar que o valor mínimo que o produto $1,1111\varphi_{R-Chsim}$ pode apresentar é de 0,1111, uma vez que, na prática, é improvável que o gradiente de projeto apresente valores negativos.

Conforme definido no item 4.3.1, quando ocorre o funcionamento simultâneo de diferentes pontos de utilização dos ramais, a carga de pressão de projeto deve atender ao 2º critério apresentado. Partindo dessa premissa, pode-se definir o gradiente de projeto simultâneo.

$$\begin{aligned} \Delta Z_{ch} - \Delta H_{R-Chproj} &> 1,01968 \\ \Delta Z_{ch} \left(1 - \frac{\Delta H_{R-Chsim}}{\Delta Z_{ch}} \right) &= 1,01968 \\ 1 - \frac{\Delta H_{R-Chsim}}{\Delta Z_{ch}} &= \frac{1,01968}{\Delta Z_{ch}} \\ -\varphi_{R-Chsim} &= \frac{1,01968}{\Delta Z_{ch}} - 1 \\ \varphi_{R-Chsim} &= 1 - \frac{1,01968}{\Delta Z_{ch}} \end{aligned} \quad (44)$$

Com isso, a partir da definição do projetista de carga mínima no chuveiro, que atenda à NBR 5628/2020 (ABNT, 2020), pode-se calcular $\varphi_{R-Chsim}$ por meio da Equação 44, sendo possível obter $\varphi_{R-Chproj}$ por meio da Equação 43, para que se atenda o critério de redução de pressão permitida. O Gráfico 2 apresenta o comportamento do gradiente de projeto e da carga de projeto em relação ao gradiente de operação.

Gráfico 2 – Comportamento do gradiente de projeto e da carga de projeto em função do gradiente de operação.



Fonte: Das autoras (2021).

4.3.2. Diâmetro nominal dos ramais

Para definir os diâmetros dos ramais de cada trecho, será definida uma inequação que atenda aos critérios normativos apresentados nos itens 4.3.1 e 4.3.2. A partir do 2º critério apresentado no item 4.3.1, tem-se:

$$\begin{aligned} \Delta Z_{ch} - \Delta H_{R-Chproj} &> 1,01968 \\ \frac{1,01968}{1 - \varphi_{R-Chsim}} - \Delta H_{R-Chproj} &> 1,01968 \\ -\Delta H_{R-Chproj} &> 1,01968 - \left(\frac{1,01968}{1 - \varphi_{R-Chsim}} \right) \\ \Delta H_{R-Chproj} &< \frac{1,01968}{1 - \varphi_{R-Chsim}} - 1,01968 \\ \beta Q_{Ch}^n \sum_{i=1}^k \frac{L_i}{D_i^m} &< \frac{1,01968}{1 - \varphi_{R-Chsim}} - 1,01968 \end{aligned} \quad (45)$$

Com a inequação apresentada em (45), serão adotados diâmetros para cada um dos ramais presentes no trecho a ser dimensionado, a fim de chegar em um resultado menor que a relação da direita. Com essa relação atendida, os critérios normativos apresentados serão atendidos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Comparação entre os métodos de dimensionamento propostos para o Equacionamento 1

Para a análise dos resultados, foi realizado o dimensionamento nos ramais pelo método de dimensionamento proposto pelo Equacionamento 1. Vale ressaltar que o dimensionamento conta com duas metodologias: Método simplificado e Método dos sub-ramais. As Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados de vazões à jusante e à montante, diâmetros, pressões à jusante e à montante de cada trecho, para o Método simplificado e o Método dos sub-ramais respectivamente.

Tabela 4 - Dimensionamento da instalação pelo Método Simplificado.

Trecho		L (m)	Zj (m)	Zm (m)	ΔZ (m)	Leq (m)	Lvirt. (m)	Q (m ³ /s)	Di (m)	ΔH , j-m (m)	Pm (m)
F	E	2,00	2,2	1	1,2	8,075	10,08	0,000134	0,017	0,35	2,70
E	D	0,75	1	1	0	0,85	1,60	0,000145	0,017	0,06	2,77
D	C	0,65	1	1	0	0,85	1,50	0,000186	0,017	0,09	2,86
C	B	4,20	1	4,2	-3,2	5,21	9,41	0,000262	0,0216	0,34	0,00 ¹

¹ Pressão em zero ou próxima de zero significa que existe carga de pressão suficiente para o funcionamento simultâneo dos aparelhos sanitários, uma vez que o dimensionamento é realizado de jusante a montante.

Fonte: Das autoras (2021).

Onde:

L – comprimento geométrico dos trechos;

Zj – cota a jusante;

Zm – cota a montante;

ΔZ – diferença de cotas;

Leq – comprimento equivalente;

Lvirt. – comprimento virtual;

Q – vazão;

Di – diâmetro interno;

ΔH , j-m – perda de carga de jusante à montante;

Pm – Pressão à montante.

Tabela 5 - Dimensionamento da instalação pelo Método Completo, em que se consideram os sub-ramais.

Trecho	L (m)	Zj (m)	Zm (m)	ΔZ (m)	Leq (m)	Lvirt. (m)	Qj (m ³ /s)	Qm (m ³ /s)	Di (m)	Pm (m)
F E2	2	2,2	1	1,2	8,93	10,93	0,00013	0,00021	0,017	2,9
E2 E2 subramal	0,7	1	0,3	0,7	0,6	1,3	0,00021	0,00008	0,017	3,43
E D2	1,55	1	1	0	1,08	2,63	0,00021	0,00026	0,0216	3,32
D2 D2 subramal	0,8	1	0,2	0,8	0,7	1,5	0,00026	0,00005	0,017	3,91
D C2	1,05	1	1	0	1,08	2,13	0,00026	0,00035	0,0216	3,75
C2 C2 subramal	0,4	1	0,6	0,4	0,7	1,1	0,00035	0,00009	0,017	3,8
C B	4,2	1	4,2	-3,2	10,6	14,8	0,00035	0,00035	0,044	0,58 ¹

¹ Pressão em zero ou próxima de zero significa que existe carga de pressão suficiente para o funcionamento simultâneo dos aparelhos sanitários, uma vez que o dimensionamento é realizado de jusante a montante.

Fonte: Das autoras (2021).

O primeiro ponto a ser observado são os parâmetros de vazão. Nota-se que para o trecho mais a jusante do ramal (F – E), tanto para o método simplificado quanto para o método dos sub-ramais, apresentaram valor de vazão menor quando comparado ao trecho mais a montante do ramal (C – B). Esse resultado está relacionado com o fato do dimensionamento se iniciar pelo trecho mais a jusante do ramal e ter caminhamento até o trecho mais a montante; o trecho mais a montante deve receber vazão suficiente para abastecer todos os aparelhos a jusante.

Visando a análise do dimensionamento em um cenário mais crítico, as vazões foram calculadas considerando aparelhos operando em situação de alta vazão (conforme apresentado na Tabela 2). Em relação as pressões, conforme descrito no item 4.2.1, adotou-se a carga mínima recomendada ao aparelho mais a jusante, que atenda aos critérios normativos para o funcionamento simultâneo de todos os aparelhos.

Em relação as pressões disponíveis, a pressão disponível no trecho mais montante da tubulação, no qual corresponde a pressão na saída do reservatório, deve apresentar resultados próximos de zero. Esse resultado é satisfatório pois o dimensionamento foi realizado de maneira inversa, portanto, uma pressão disponível próxima de zero significa que há carga de pressão suficiente para o funcionamento simultâneo dos aparelhos sanitários, atendendo aos critérios normativos.

Em um cenário em que a pressão seja próxima de zero com um desvio negativo, significa que há carga de pressão além do necessário para o funcionamento, e, portanto, não há necessidade de acréscimo de pressão por meio da lâmina d'água. Se o desvio apresentar valores expressivos, o projetista pode optar por diminuir os diâmetros das tubulações ou diminuir a carga de pressão estimada no aparelho mais a jusante afim de realizar um dimensionamento mais econômico.

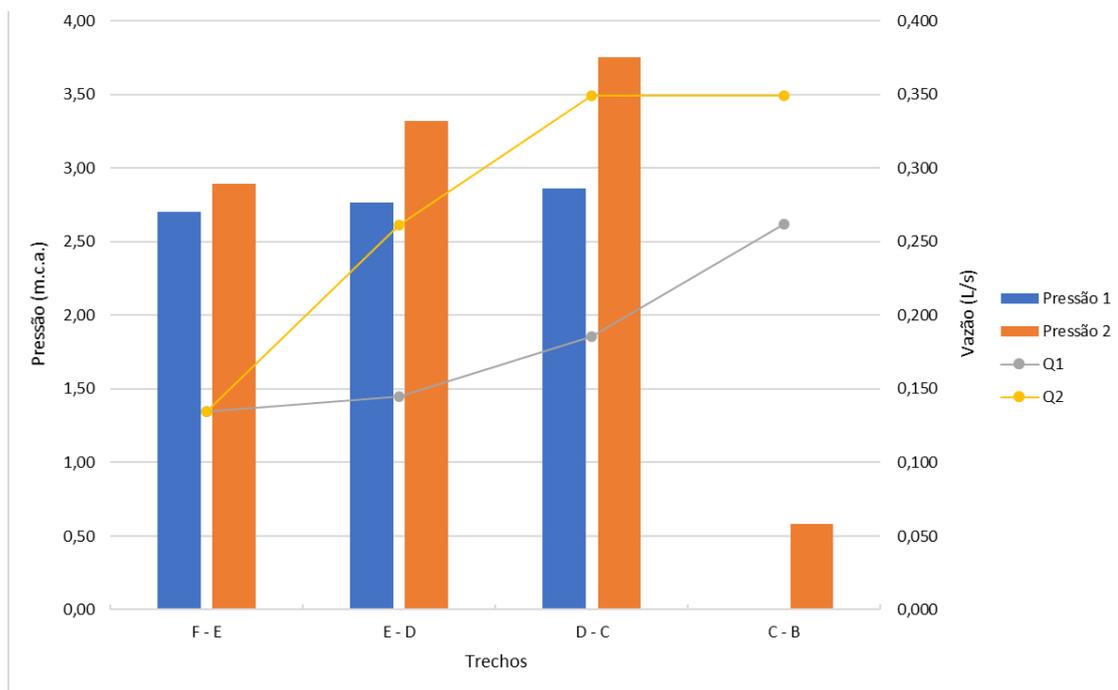
Já em um cenário em que a pressão apresenta um desvio positivo, essa compensação de pressão deve ser realizada através da lâmina d'água do reservatório. Caso o desvio apresente valores significantes, o projetista deve aumentar os diâmetros das tubulações ou aumentar a carga de pressão estimada no aparelho mais a jusante, até que se atinja um valor ótimo da pressão mais a montante.

Em relação aos diâmetros dos ramais e sub-ramais, a critério das projetistas, utilizou-se os diâmetros mínimos recomendados inicialmente, afim de obter resultados viáveis economicamente além de analisar o uso de tais diâmetros para uma situação com vazões satisfatórias. Para o dimensionamento através do método simplificado, tem-se uma situação ótima, em que com os diâmetros mínimos atendem aos critérios e a pressão indica que há carga de pressão suficiente que atenda ao dimensionamento.

Para o dimensionamento através do método dos sub-ramais, para os diâmetros mínimos encontrou-se uma compensação alta de pressão através da lâmina d'água, tornando o uso dos diâmetros mínimo inviáveis. Assim, foi necessário o aumento dos diâmetros das tubulações de maneira a reduzir o déficit de carga de pressão a ser compensada pela lâmina d'água do reservatório.

O Gráfico 3 relaciona as pressões nos trechos em comum para os dois casos, com suas respectivas vazões. As colunas do gráfico indicam os valores de pressão nos dois métodos analisados. Já as linhas se referem as vazões encontradas para cada um desses trechos. Os resultados apresentados para a Pressão 1 e a vazão Q1 correspondem ao método simplificado, e os resultados para a Pressão 2 e vazão Q2 correspondem ao método dos sub-ramais para cada trecho.

Gráfico 3 - Comparação entre as pressões e vazões encontradas para ambos os métodos.



Fonte: Das autoras (2021).

As diferenças de pressão apresentadas para cada método, tem-se que no início do dimensionamento, ou seja, no ponto mais a jusante do ramal, a pressão é ligeiramente menor para o método simplificado. Porém, no decorrer do dimensionamento, as pressões ficam cada vez mais distintas entre si, tornando as diferenças entre os métodos de dimensionamento expressiva.

Esses resultados apontam que com o uso do método de dimensionamento simplificado ocorre um déficit de pressão requerida para o bom funcionamento dos aparelhos sanitários em uso simultâneo, uma vez que comparado ao método de dimensionamento dos sub-ramais a pressão requerida para o bom funcionamento dos aparelhos sanitários em uso simultâneo deve ser maior.

Em relação as diferenças apresentadas pelas vazões, tem-se que as vazões requeridas para o bom funcionamento dos aparelhos em uso simultâneo são maiores quando aplicado o método dos sub-ramais. Portanto tem-se que quanto maior a pressão, maior a vazão requerida.

Além disso, a título de comparação, serão obtidos os diâmetros através do método do consumo máximo provável, proposta pela antiga norma ABNT NBR 5626 (1998). Esse método

atribui um peso para cada aparelho sanitário e relaciona a soma total dos pesos dos aparelhos as vazões máximas prováveis (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2018). Os pesos são obtidos por comparação dos efeitos que cada tipo de aparelho produz. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Obtenção dos diâmetros pelo método do consumo máximo provável.

Trecho		Pesos	Q (L/s)	Di (m)
F	E	Ch	0,4	0,19
E	D	Ch + DH	0,5	0,21
D	C	Ch + DH + BCA	0,8	0,27
C	B	Ch + DH + BCA + Lv	1,1	0,31

Fonte: Das autoras (2021).

Para o método simplificado, se encontrou os mesmos valores de diâmetros; já para o método dos sub-ramais, tem-se valores de diâmetros menores. Vale ressaltar que não se verificou o funcionamento hidráulico da instalação pelo Método dos Consumos Máximos Prováveis, o que se pode levar à inferência que teríamos diâmetros superiores com este método, tornando mais expressiva a proximidade dos resultados ao método dos sub-ramais.

5.2. Método de dimensionamento propostos para o Equacionamento 2

Para a análise dos resultados foi realizado o dimensionamento nos ramais pelo método de dimensionamento proposto pelo Equacionamento 2 (Método prático). A Tabela 7 apresenta os valores de diâmetros adotados pelas projetistas juntamente com as verificações quanto aos gradientes de projeto.

Tabela 7 - Dimensionamento da instalação pelo Método Prático – Verificação.

Trecho	L (m)	Zj (m)	Zm (m)	ΔZ (m)	Leq (m)	Lvirt. (m)	D (m)	Verificação Perda de carga	
F	E2	2,00	2,2	1	1,2	8,93	10,93	0,017	0,384
E2	E2 subramal	0,70	1	0,3	0,7	0,60	1,30	0,017	0,046
E	D2	1,55	1	1	0	0,85	2,40	0,017	0,084
D2	D2 subramal	0,80	1	0,2	0,8	0,70	1,50	0,017	0,053
D	C2	1,05	1	1	0	0,85	1,90	0,017	0,067
C2	C2 subramal	0,40	1	0,6	0,4	0,70	1,10	0,017	0,039
C	B	4,20	1	4,2	-3,2	5,21	9,41	0,0216	0,106
Σ									0,779

Tabela 8 - Dimensionamento da instalação pelo Método Prático – Verificação.

Verificação Gradiente	
φ simul	0,658
φ proj	0,620
Verificação Gradiente	1,960
Dimensionamento aceito	

Fonte: Das autoras (2021).

O primeiro parâmetro a ser destacado nesse dimensionamento são os diâmetros. Este propõe uma maneira prática e rápida do projetista verificar se os diâmetros estabelecidos atendem aos critérios de funcionamento requeridos pela norma, levando em consideração que a vazão de projeto é referente a vazão do aparelho mais a jusante do ramal.

A título de comparação com o Método dos Consumos Máximos Prováveis, analisando os resultados apresentados na Tabela 6, tem-se que em ambos os métodos se encontrou os mesmos valores de diâmetros, sendo um resultado satisfatório, uma vez que ambos apresentaram um dimensionamento econômico. Há de se salientar que não foi verificado o funcionamento hidráulico pelo Método dos Consumos Máximos Prováveis, o que pode-se levar à inferência que teria-se diâmetros superior com este, em comparação à metodologia proposta, que já considera funcionamento simultâneo da instalação.

Com as verificações atendidas, tendo assim a determinação dos diâmetros, realizou-se a verificação do funcionamento da pressão nos trechos do ramal, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Dimensionamento da instalação pelo Método Prático.

Trecho	ΔH (m)	Pressão (m.c.a)
F E2	0,38	1,97
E2 E2 subramal	0,05	2,62
E D2	0,08	2,54
D2 D2 subramal	0,05	3,28
D C2	0,07	3,22
C2 C2 subramal	0,04	3,58
C B	0,11	0,27

Fonte: Das autoras (2021).

Conforme já mencionado, a pressão disponível no trecho mais montante da tubulação deve apresentar resultados próximos de zero para o caso em que o dimensionamento é realizado

de maneira inversa, portanto, os resultados apresentados para as pressões são satisfatórios conforme o esperado.

5.3.Comparação entre os Métodos Simplificados, dos Sub-ramais e Prático

Analisando os resultados apresentados para a edificação estudada, referente a comparação do dimensionamento entre os Métodos Simplificado e o que considera a hidráulica dos sub-ramais propostos no Equacionamento 1, tem-se que em alguns trechos os diâmetros encontrados foram menores através do Método Simplificado. Além disso, os resultados de vazão e de pressão foram menores com o uso do Método Simplificado, quando comparado ao Método dos Sub-ramais. A maior porcentagem de variação de pressão entre os métodos ocorreu no trecho D – C, com 23,73%, sendo uma diferença expressiva.

Diante disso, analisando os resultados apresentados pelo Método Simplificado, este não levaria à eficiência suficiente para atender os aparelhos sanitários em funcionamento simultâneo. Os diâmetros encontrados, quando comparado ao Método que considera a hidráulica dos sub-ramais, não são suficientes para atender a vazão de todos os equipamentos em uso simultâneo, uma vez que o dimensionamento através do Método dos Sub-ramais apresentou diâmetros requeridos maiores.

O dimensionamento através do Método dos Sub-ramais, em relação ao Método Simplificado, parte de um princípio com maior precisão, uma vez que leva em consideração as perdas de carga nos sub-ramais. Através da aplicação desse método, há uma elevação na perda de carga nos trechos, fazendo com que a carga de pressão requerida para um bom funcionamento dos aparelhos seja maior. Sendo assim, o método mais indicado para garantir o bom funcionamento dos aparelhos é o Método dos Sub-ramais.

A aplicação dos métodos de dimensionamento analisados foi realizado para um cenário em que o chuveiro é o aparelho mais a jusante no traçado do ramal, uma vez que os critérios normativos restringem a variação de carga máxima no chuveiro em 10% para o uso simultâneo. Caso ocorra a aplicação da metodologia em que há aparelhos a montante do chuveiro na instalação, parte-se do mesmo princípio em que se define uma carga de pressão no chuveiro, porém, a vazão que deve haver para o funcionamento do chuveiro será maior, uma vez que tem-se a vazão residual dos aparelhos a montante do chuveiro.

Analisando os resultados apresentados pela proposta do Equacionamento 2, tem-se que esse dimensionamento proporciona que o projetista verifique de maneira rápida a perda de carga em cada trecho, de forma a atender a verificação de variação máxima de 10% da carga de

pressão no chuveiro em um cenário de uso simultâneo dos aparelhos sanitários. Os diâmetros obtidos, quando comparado ao método dos consumos máximos prováveis, foram satisfatórios. Vale ressaltar que essa metodologia é aplicável apenas para o caso em que o aparelho sanitário mais a jusante é o chuveiro, tendo a vazão de projeto considerada como a própria vazão do chuveiro.

6 - CONCLUSÃO

Para cada trecho da instalação predial de água fria foram determinados os seus respectivos diâmetros e vazões, perante aplicação das metodologias desenvolvidas conforme recomendado pela ABNT NBR 5626 (2020). Ao analisar o Método Simplificado, no qual apresenta a vantagem de ser uma proposta de dimensionamento simples e prática, este não apresenta boa precisão, uma vez que não leva em consideração as perdas de carga nos sub-ramais da instalação.

O Método dos Sub-ramais, dentre as demais propostas de dimensionamento, possui maior precisão. Este método leva em consideração a hidráulica dos sub-ramais e suas respectivas perdas de carga, e por consequência há mais trechos a serem analisados nos cálculos. Em termos de desenvolvimento dos cálculos, este possui menor praticidade.

Apresentado pelo Equacionamento 2, o Método Prático proporciona ao projetista uma verificação rápida da perda de carga em cada trecho, de forma a atender a verificação de variação máxima de 10% da carga de pressão no chuveiro, tendo também a vantagem de ser um método simples e rápido, em um cenário de uso simultâneo dos aparelhos sanitários.

Analisando os resultados apresentados pelos Método Simplificado e o Método Prático, estes não apresentam a eficiência suficiente para atender os aparelhos sanitários em funcionamento simultâneo, como é o caso da aplicação pelo Método dos Sub-ramais. Diante das verificações entre as propostas e das diferenças expressivas entre as aplicações em relação ao Método dos Sub-ramais, se consolidou a importância da precisão na metodologia de dimensionamento proposta, tornando o Método dos Sub-ramais uma alternativa mais viável para a garantia do funcionamento dos aparelhos sanitários em uso simultâneo.

REFERENCIAL TEÓRICO

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Sistemas prediais de água fria e água quente** – projeto, execução, operação e manutenção. NBR 5626, 2020.

AZEVEDO NETTO J. M. d.; FERNÁNDEZ, M. F., **Manual de Hidráulica**. 9ª Ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BARRÊTO JÚNIOR, M., **Otimização de um sistema de distribuição predial de água fria estudo de caso**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

BENEDICTO, S. M. O. **Desempenho de sistema predial de água quente**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, 2009.

BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CARVALHO, J. de. **Captação, elevação e condução de água**. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 2004. (Textos acadêmicos 41).

CARVALHO JÚNIOR, R. de. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. 1ª Ed – São Paulo: Blucher, 2013.

DECA. **Catálogo e publicações**. Disponível em: <https://www.deca.com.br/biblioteca/catalogos-e-publicacoes/>. Acessado em: 19 de janeiro de 2021.

DOCOL. **Catálogo comercial em homepage**. Disponível em: <https://www.docol.com.br/>. Acessado em: 17 de setembro de 2020.

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

FABRIMAR. **Catálogo de produtos e informações técnicas**. Disponível em: https://www.fabrimar.com.br/arquivos/catalogos/catalogo_de_produtos_2013.pdf. Acessado em: 17 de setembro de 2020.

FOX, R. W.; McDONALD A. T.; PRITCHARD, P. J., **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. 8ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GOMES, R. A., **As aplicações da equação de Bernoulli na dinâmica de fluidos**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Física) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

LEMOS, D. d. S., **Mecânica de fluidos e sua aplicação nas colisões ultrarrelativísticas de Íons pesados**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Física) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2015.

LOBATO, M. B. **Sistema de hierarquização de ações de conservação da água em edificações com aplicação do método electre III**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MACINTYRE, A. J., **Instalações Hidráulicas: Prediais e industriais**. 4ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MARANI, E. A. H., **Funcionamento Hidráulico de Instalação predial de água fria em função do uso simultânea dos aparelhos sanitário**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

MARTINS, J. R. S.; GUKOVAS, M., **Hidráulica Básica Guia de Estudo: Conduitos Forçados Instalações de Recalque**. São Paulo: EPUSP, 2010.

RESENDE, M. F. d., **A variação das características hidráulicas em condutos forçados devido à infestações pelo *Limnoperna fortunei***. Dissertação (Pós-graduação em Saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

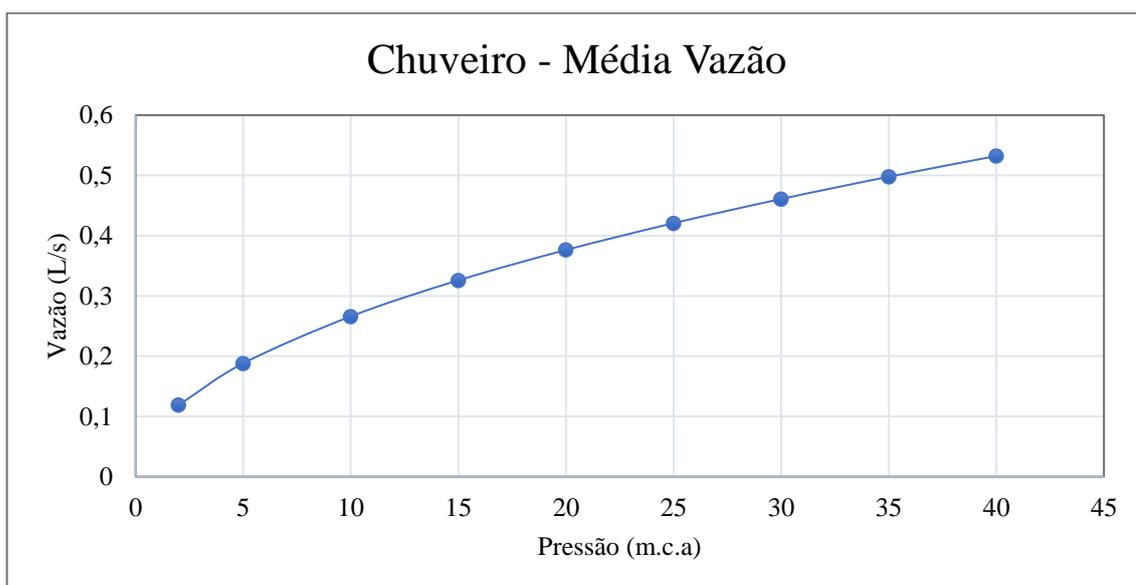
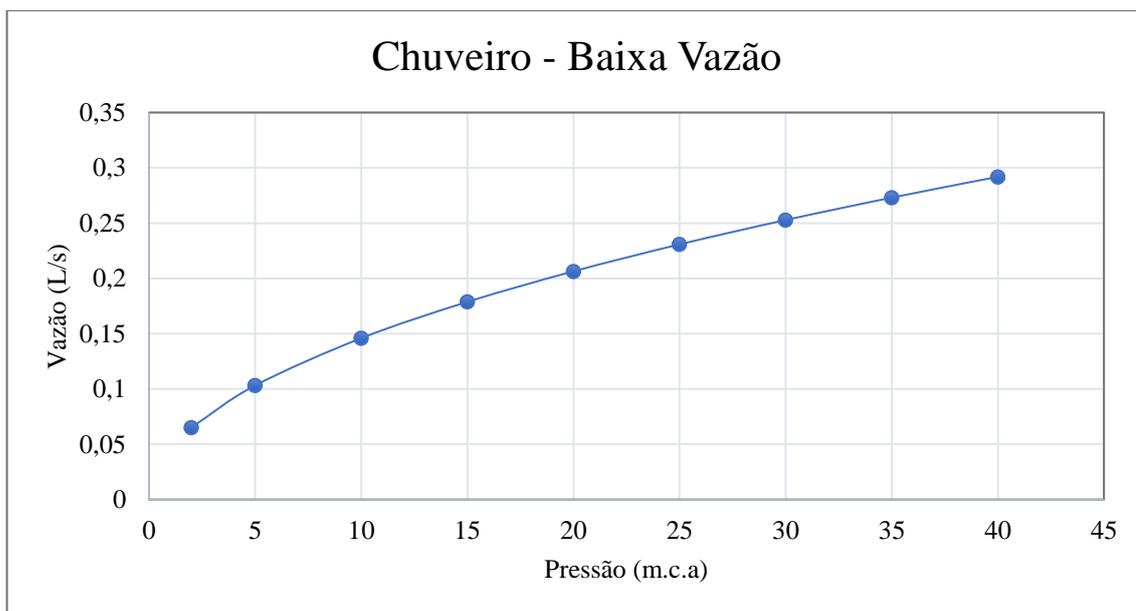
TIPLER, P.A.; MOSCA, G., **Física para Cientistas e Engenheiros – Vol. 1, 6ª Ed.** Rio de Janeiro: LTC, 2009.

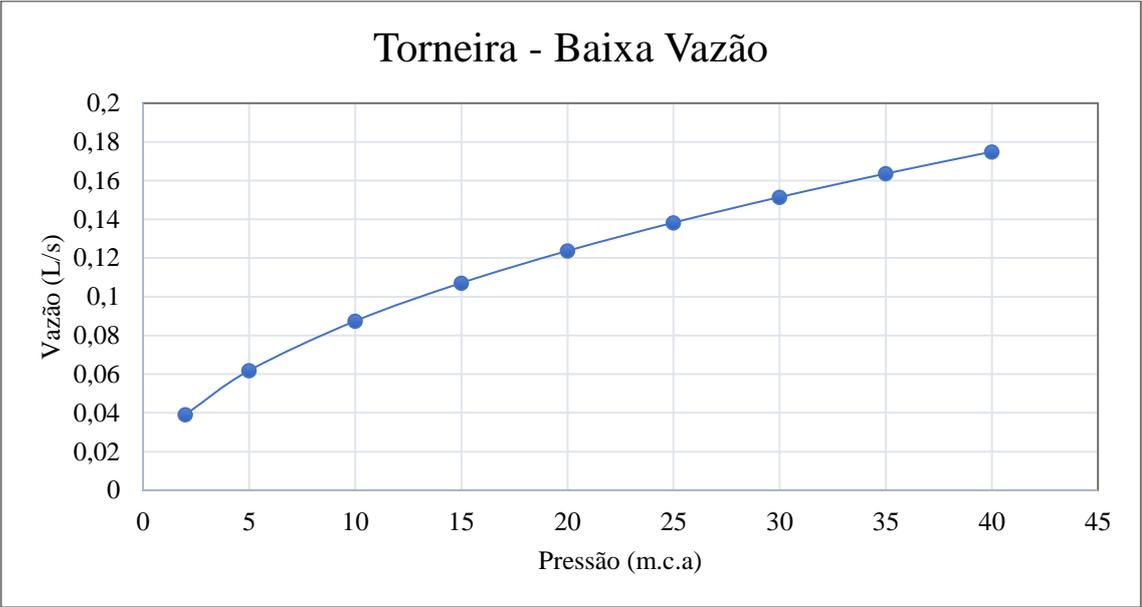
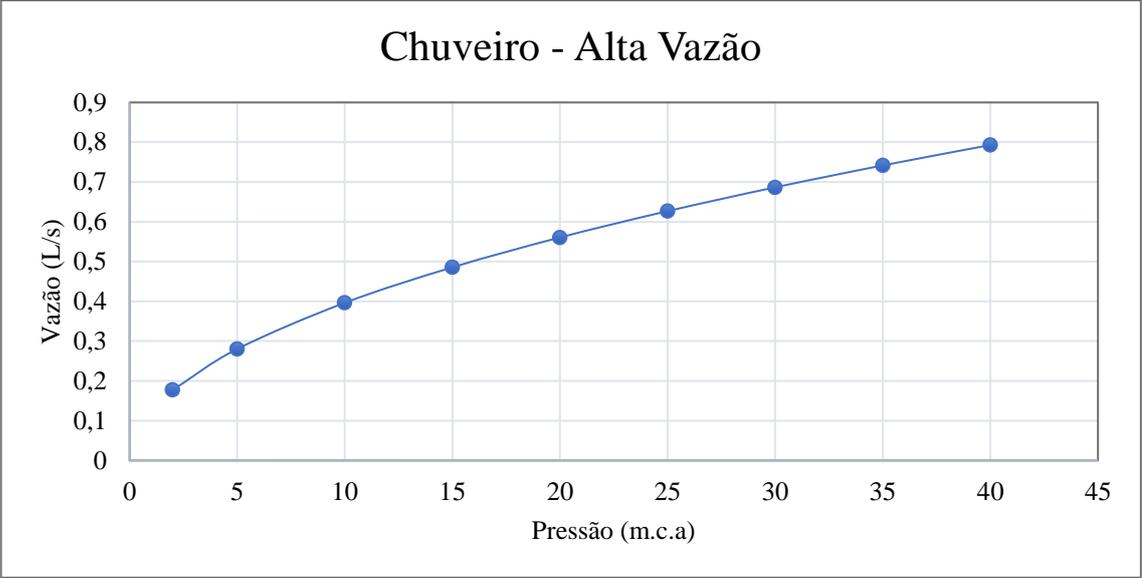
APÊNDICE I – Quadro com peças de utilização separadas por fabricantes, modelos e vazões

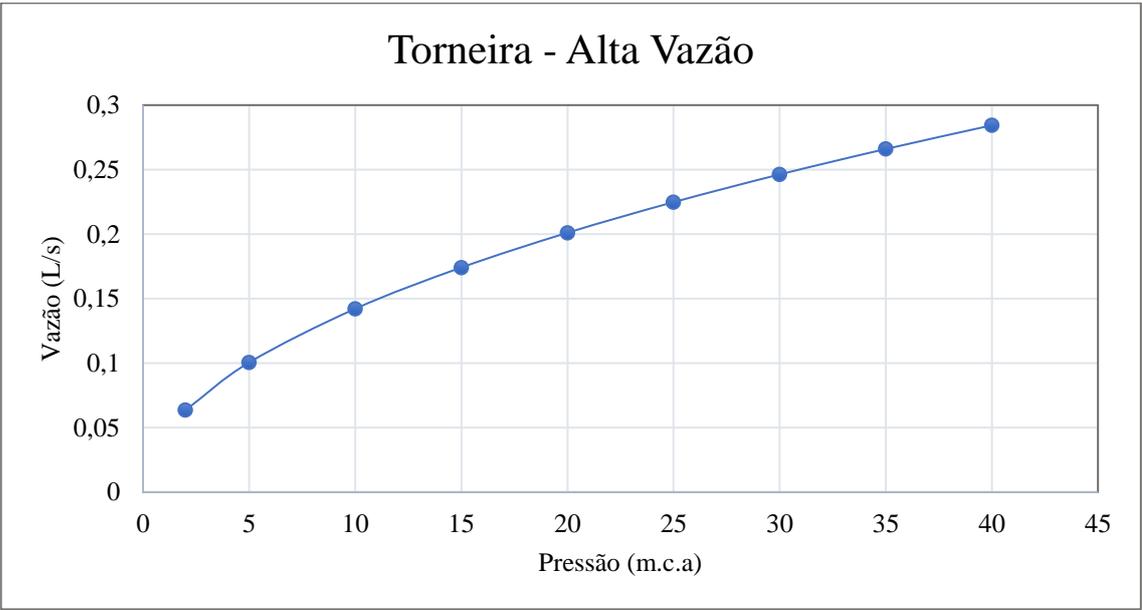
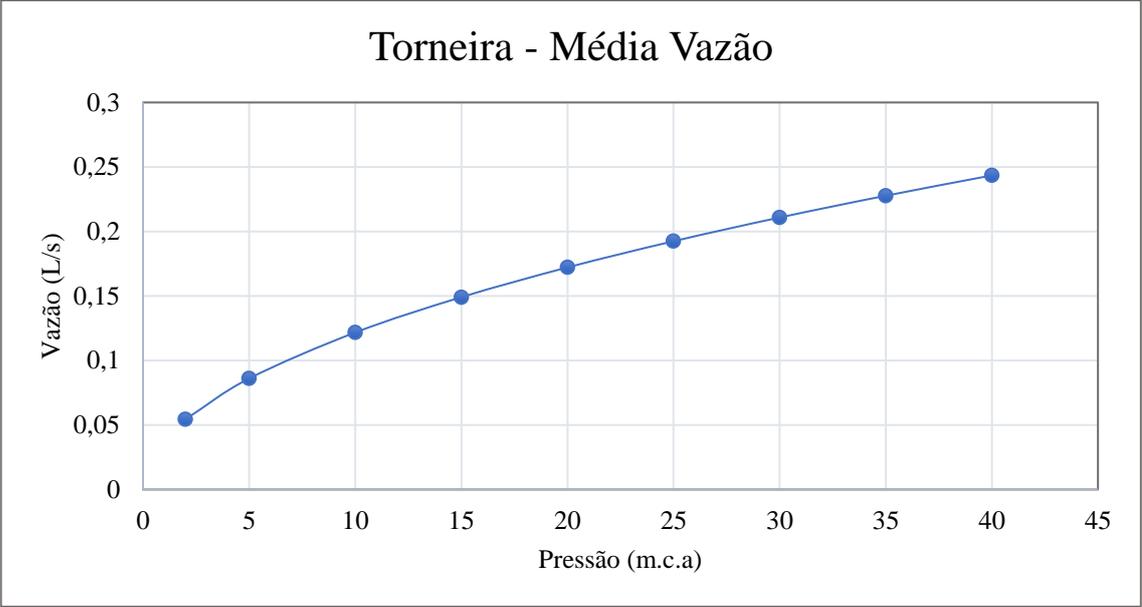
Peça de utilização	Fabricantes	Modelos		Agrupamento	
Chuveiro	Deca	Unic, Deca Flex, Chuveiro Acqua Plus Quadratta, Chuveiro Max, Chuveiro Aspen, Chuveiro Quadrado, Unic parede, Acqua Plus parede, Balance parede, Max parede, Quadrado parede, Acqua plus parede 2, Aquamax parede, Aspen parede, Quadratta parede, Quadrado parede 2 e Jander.	Baixa Vazão	Jander, Chuveiro Aspen, Deca Flex, Balance parede, Aspen parede, Aspen Pro, Quadratta parede 2 e Acqua Plus parede.	
			Vazão intermediária	Chuveiro Max, Unic, Unic parede, Chuveiro Quadrado.	
			Alta Vazão	Max parede, Aquamax parede, Quadratta parede, Acqua plus parede 2 e Quadrado parede e Quadrado parede 2.	
	Fabrimar	Acquaclean, Viscaya quadrado, Viscaya redondo, Geribá, Verano, Ipanema, Mandachuva, Piccolo, Jazz, Exacta, Ella, Vega e Eco	Baixa Vazão	Viscaya redondo, Ella, Jazz, Eco.	
			Vazão intermediária	Piccolo, Geribá, Viscaya quadrado, Veja e Exacta.	
			Alta Vazão	Acquaclean, Verano, Ipanema e Mandachuva.	
	Docol	Heaven Q150, Heaven Q150 2, Heaven Q200, Heaven Q200 2, Heaven Q200 3, Heaven E400, Heaven Q150 Teto e Heaven Q200 Teto.	Vazão baixa	Heaven E400	
			Vazão intermediária	Heaven Q150, Heaven Q200 2 e Heaven Q200 Teto. Heaven Q150 2, Heaven Q200, Heaven Q200 3 e Heaven Q150 Teto.	
			Alta Vazão		
	Torneira	Fabrimar	Banca Vision, Vision de parede, Vision embutida, Banca Biopress, Parede Biopress, Banca Acquapress e Parede Acquapress	Baixa Vazão	Parede Biopress e Banca Biopress.
				Vazão intermediária	Banca Acquapress.
				Alta Vazão	Vision de parede, Vision embutida, Parede Acquapress e Banca Vision.

Peça de utilização	Fabricantes	Modelos	Agrupamento	Peça de utilização
	Docol	Lift Docol, Stillo Docol, Lóggica Docol, Lift Docol 2, M&M Docol, Breezy Docol, New Edge Docol, Gali Docol, Breezy Docol (2), Next Docol, Pertutti Docol, Benefit Docol, Liss Docol, Square Docol, Primor Docol, Dix Docol, Argon Docol, Chess Docol, Kaila Docol, Vougan Docol, GaliFlex Docol, Spice Docol, Quad Docol, Trio Docol, Navitá Docol, Evoluto Docol, Uno Docol, Degusto Docol, Riva Docol, Itapema Bella Docol, Vitta Docol, Vitalis Docol e Ozonio Docol.	Baixa Vazão	Gali Docol, M&M Docol, Benefit Docol, Vougan Docol, Argon Docol, New Edge Docol, Breezy Docol (2), Breezy Docol, Next Docol, Vitalis Docol, Pertutti Docol e Ozonio Docol.
			Vazão intermediária	Dix Docol, Itapema Bella Docol, Vitta Docol, Liss Docol, Uno Docol, Navitá Docol, Degusto Docol, Evoluto Docol, GaliFlex Docol, Quad Docol e Spice Docol.
			Alta Vazão	Square Docol, Lift Docol 2, Lift Docol, Riva Docol, Kaila Docol, Primor Docol, Lóggica Docol, Trio Docol, Stillo Docol e Chess Docol. Blend Flex Docol, Provence Docol, Itapema Bella Docol, Invicta Docol, Riva Docol, Nexus Docol, Vougan Docol, Trio Docol, Edge Docol, Chess Docol, Argon Docol, Breezy Docol, Square Docol, Next Docol, Gali Docol, Lóggica Docol e Lift Docol.
Ducha Higiênica	Docol	Blend Flex Docol, Provence Docol, Itapema Bella Docol, Invicta Docol, Riva Docol, Nexus Docol, Vougan Docol, Trio Docol, Edge Docol, Chess Docol, Argon Docol, Breezy Docol, Square Docol, Next Docol, Gali Docol, Lóggica Docol, Lift Docol, Nova Pertutti Docol, New Edge Docol (derivação), Liss Docol, City Docol, Mix&M Docol, Vougan Docol, Triplus Docol, Kaila Docol, Stillo Docol e Ducha Higiênica Docol.	Baixa Vazão	Nova Pertutti Docol, New Edge Docol (derivação), Liss Docol, City Docol e Mix&M Docol.
			Vazão intermediária	Vougan Docol, Triplus Docol, Kaila Docol, Stillo Docol e Ducha Higiênica Docol.
			Alta Vazão	Válvula de Descarga 1.1/2" Válvula de Descarga 1.1/2" com acabamento
Válvula de Descarga	Docol	Válvula de Descarga 1.1/4", Válvula de Descarga 1.1/2", Válvula de Descarga 1.1/" com acabamento.	Baixa Vazão Vazão intermediária Alta Vazão	Válvula de Descarga 1.1/4"

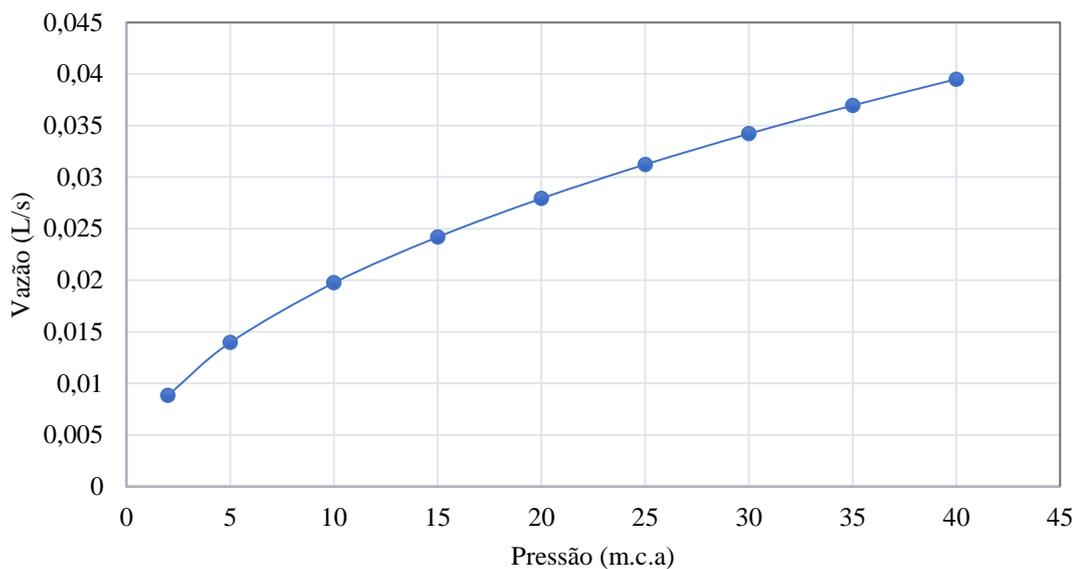
APÊNDICE II – Curva de vazão por pressão das peças utilizadas



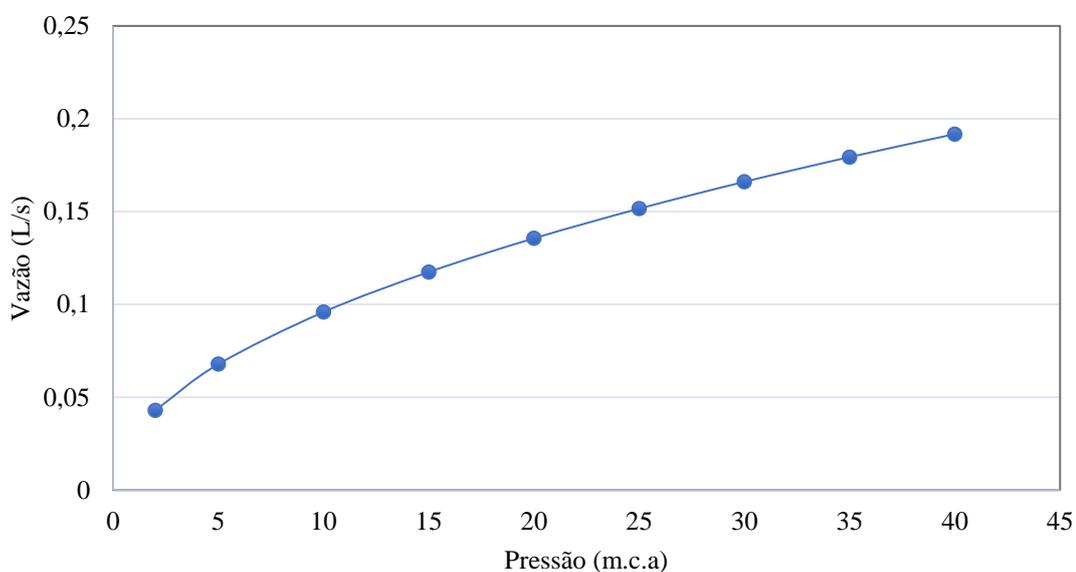


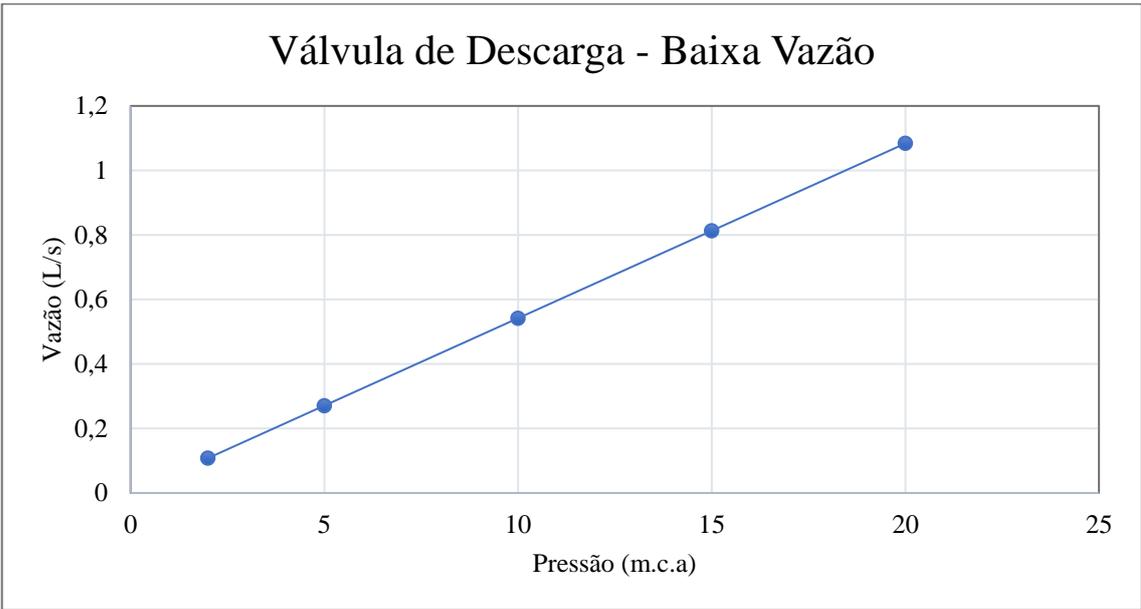
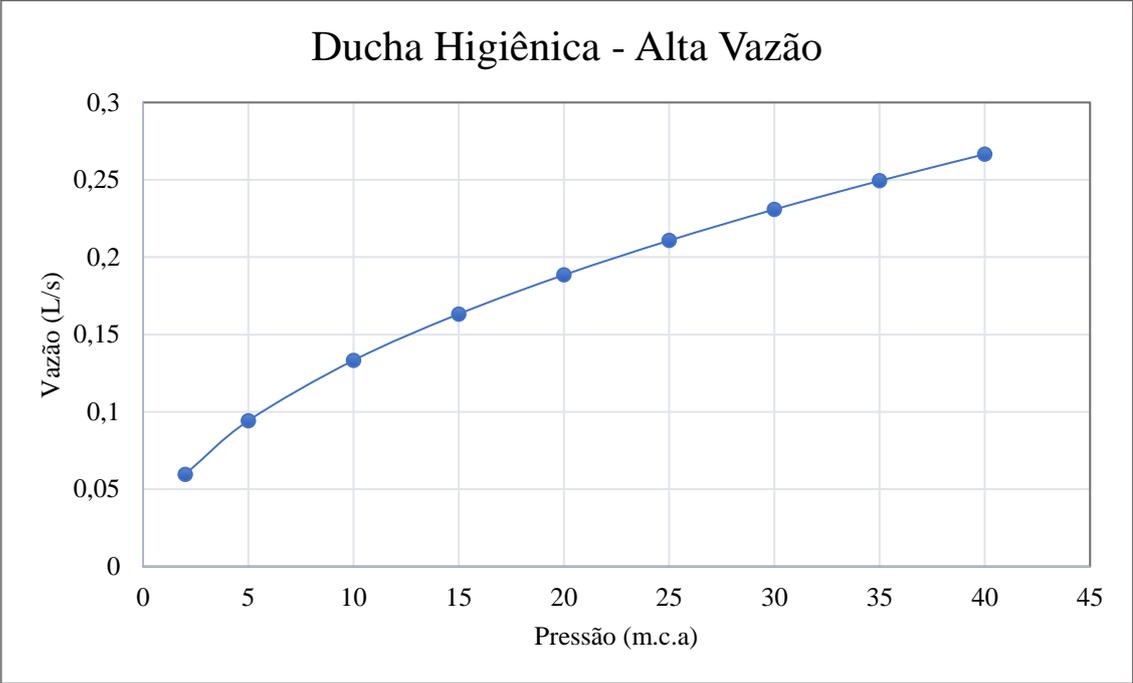


Ducha Higiênica - Baixa Vazão

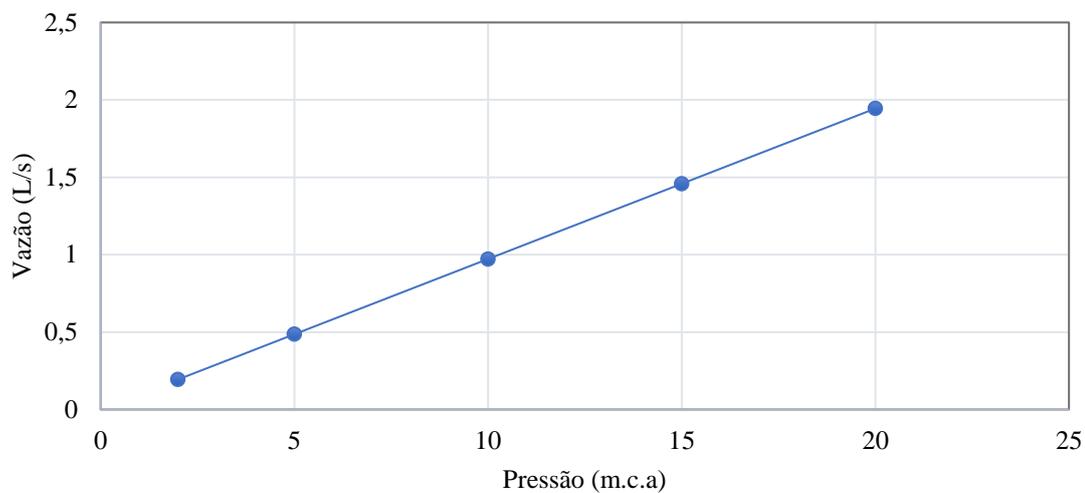


Ducha Higiênica - Média Vazão





Válvula de Descarga - Média Vazão



Válvula de Descarga - Alta Vazão

