

REVISTA
DESAFIOS

ISSN: 2359-3652

V.11, n.5, jul/2024 – DOI: http://dx.doi.org/10.20873/2024_jul_13066

METODOLOGIAS PARA A SIMULAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA DE ACORDO COM DIRETRIZES DA NBR 5626/2020

METHODOLOGIES FOR THE SIMULATION AND VERIFICATION OF THE HYDRAULIC OPERATION OF COLD WATER BUILDING SYSTEMS ACCORDING TO THE GUIDELINES OF NBR 5626/2020

METODOLOGÍAS PARA LA SIMULACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN DE AGUA FRÍA SEGÚN LAS DIRECTRICES DE NBR 5626/2020

Michael Silveira Thebaldi:

Professor do Departamento de Recursos Hídricos. Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: michael.thebaldi@ufla.com.br | [Orcid.org/0000-0002-4579-6714](https://orcid.org/0000-0002-4579-6714)

Óntia Tavares Assunção:

Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: cintiatavares18@gmail.com

Letícia Zanotto Baratti:

Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: leticiazanotto.b@hotmail.com

Mateus Alexandre da Silva:

Doutor em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: mateus4lexandre@outlook.com | [Orcid.org/0000-0002-2849-0668](https://orcid.org/0000-0002-2849-0668)

Marina Neves Merlo:

Doutoranda em Recursos Hídricos pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. Universidade Federal de Lavras (UFLA). E-mail: marinanevesmerlo@gmail.com | [Orcid.org/0000-0002-9518-6033](https://orcid.org/0000-0002-9518-6033)

Como citar este artigo:

Silveira Thebaldi, M., Tavares Assunção, C., Zanotto Baratti, L., Alexandre da Silva, M., & Neves Merlo, M. METODOLOGIAS PARA A SIMULAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE SISTEMAS PREDIAIS DE ÁGUA FRIA DE ACORDO COM DIRETRIZES DA NBR 5626/2020. DESAFIOS - Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins. https://doi.org/10.20873/2024_jul_13066

RESUMO

A ABNT NBR 5626:2020 apresentou a possibilidade de desenvolvimento de metodologias para o dimensionamento dos sistemas prediais de água fria, excluindo o antigo roteiro de cálculo (método do Consumo Máximo Provável), e passou a indicar que o projetista estime a pressão nos aparelhos utilizando equações de desempenho vazão x pressão, além de não permitir uma redução de pressão superior a 10% para chuveiros em operação concomitante a outro aparelho, em relação à sua pressão de projeto. Assim, desenvolveu-se duas metodologias para verificação do funcionamento hidráulico de sistemas prediais de água fria. A primeira teve como preceito a Equação de Bernoulli, de duas maneiras: não considerando a influência dos sub-ramais (Abordagem 1A) e levando em consideração estes (Abordagem 1B). Na segunda, é definida, por critério do projetista, uma variação permissível da pressão no chuveiro, verificando o funcionamento hidráulico com inequações desenvolvidas, garantindo maior flexibilidade ao projetista durante o dimensionamento. As metodologias desenvolvidas se adequaram às diretrizes de projeto de sistemas hidráulicos prediais de água fria e facilitaram o processo de dimensionamento, pois já possibilitam a simulação e verificação do funcionamento hidráulico do sistema. Para a primeira metodologia a simplificação não superou as perdas de precisão

PALAVRAS-CHAVE: Aparelhos Sanitários; Desempenho Hidráulico; Saneamento.

ABSTRACT:

The Brazilian standard ABNT NBR 5626:2020 presented the possibility of methodologies development for the design of potable-water supply systems of buildings, excluding the old calculation script (Maximum Probable Consumption method), indicating that the designer must estimate the pressure in the fixtures using flow vs. pressure performance equations, in addition to not allowing a pressure reduction of more than 10% for showers operating at the same time with other appliance, in relation to its design pressure. Thus, two methodologies were developed to verify the hydraulic operation of potable-water plumbing systems. The first had the Bernoulli Equation as a precept, in two ways: not considering the influence of the sub-branches (Approach 1A) and taking them into account (Approach 1B). In the second, a permissible variation in the pressure in the shower is defined, at the designer's discretion, checking the hydraulic operation with developed inequations, ensuring greater flexibility to the designer during the design. The developed methodologies were adapted to the design guidelines of potable-water hydraulic systems for buildings and facilitated the design process, as they already enable the simulation and verification of the system's hydraulic operation. For the first methodology, the simplification advantage does not surpass the precision loss.

KEYWORDS: Sanitary Fixtures; Hydraulic Performance; Sanitation.

RESUMEN

ABNT NBR 5626: 2020 presentó la posibilidad de desarrollar metodologías para el dimensionamiento de sistemas de construcción de agua fría, excluyendo el antiguo script de cálculo (método de Consumo Máximo Probable), y pasó a indicar que el diseñador estimó la presión en los aparatos usando flujo x presión. ecuaciones de rendimiento, además de no permitir una reducción de presión superior al 10% para las duchas que funcionan al mismo tiempo que otro dispositivo, en relación con su presión de diseño. Así, se desarrollaron dos metodologías para verificar el funcionamiento hidráulico de los sistemas constructivos de agua fría. El primero tenía como precepto la Ecuación de Bernoulli, de dos formas: sin considerar la influencia de las subramas (Método 1A) y teniéndolas en cuenta (Método 1B). En el segundo, se define la variación permisible de la presión en la ducha, a criterio del proyectista, comprobando el funcionamiento hidráulico con desigualdades desarrolladas, asegurando una mayor flexibilidad al proyectista durante el dimensionamiento. Las metodologías desarrolladas se han adaptado a las pautas de diseño de los sistemas hidráulicos de edificios de agua fría y han facilitado el proceso de dimensionamiento, ya que han permitido la simulación y verificación del funcionamiento hidráulico del sistema. Para la primera metodología, la simplificación, ya que la ventaja de la simplificación no compensa las pérdidas de precisión.

Palabras clave: Dispositivos Sanitarios. Rendimiento hidráulico. Saneamiento.

INTRODUÇÃO

Um sistema hidráulico predial é constituído por reservatórios, tubos, aparelhos sanitários, peças de utilização, entre outros, destinados a conduzir a água até os pontos de utilização, estabelecidos em projeto. Para que tal objetivo seja alcançado, o sistema deve ser dimensionado corretamente, a fim de atuar sob pressões, vazões e velocidades adequadas, mantendo a potabilidade da água, sem gerar custos desnecessários (Carvalho Júnior, 2013; Silva et al. 2019).

Além do funcionamento inadequado da instalação hidráulica e dos recursos econômicos despendidos, um sistema dimensionado inadequadamente pode afetar a qualidade da água, propiciando a proliferação de micro-organismos (Mangalenkar e Gumaste, 2021), além de promover um consumo não racional de água e energia. Desta forma, com o objetivo de evitar tais problemas e de padronizar o projeto, execução e manutenção de instalações hidráulicas prediais, têm-se as normas técnicas.

Em 2020, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) substituiu as normas NBR 5626 (ABNT, 1998) e a NBR 7198 (ABNT, 1993), que tratavam especificamente de sistemas prediais de água fria e quente, respectivamente, pela NBR 5626 (ABNT, 2020), que contempla tanto os sistemas prediais de água fria quanto água quente, nomeada de “Sistemas Prediais de Água Fria e Água Quente – Projeto, Execução, Operação e Manutenção”. Com tal mudança, houve a exclusão do roteiro de cálculo, das tabelas de pesos relativos dos aparelhos sanitários e dos diâmetros, que era sugerido na versão antiga da NBR 5626 (ABNT, 1998). A NBR 5626 passou, então, a oferecer novos objetivos e diretrizes e se tornou permissível ao uso de novas metodologias, deixando de sugerir metodologias específicas.

Em vista disso, foi realizado um estudo com o objetivo de desenvolver e verificar a aplicabilidade de duas metodologias para simulação e verificação do funcionamento hidráulico de sistemas prediais de água fria, auxiliares ao seu dimensionamento: o primeiro, uma aplicação da Equação de Bernoulli não considerando no equacionamento a influência dos sub-ramais sobre o escoamento e levando em consideração estes; e o segundo, definindo uma variação permissível da carga de pressão dinâmica no chuveiro, a critério do projetista, sendo a verificação do funcionamento hidráulico realizada por meio do uso de inequações definidas a partir das diretrizes e parâmetros de projeto.

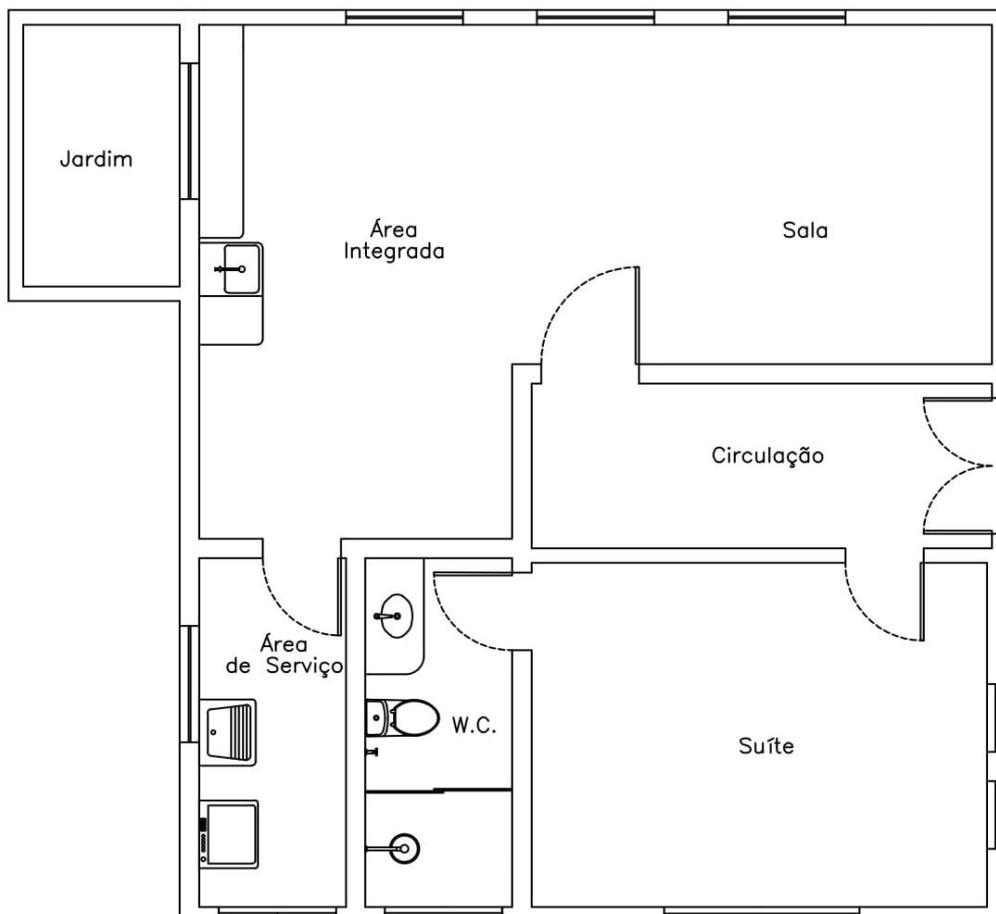
METODOLOGIA

Caracterização da edificação estudada

A edificação objeto deste estudo é unifamiliar, projetada para duas pessoas, e possui, aproximadamente, 80 m². Os ambientes são distribuídos da seguinte

forma: quarto, sala, cozinha/sala de jantar, banheiro e área de serviço. A planta baixa da edificação objeto de estudo pode ser vista na Figura 1.

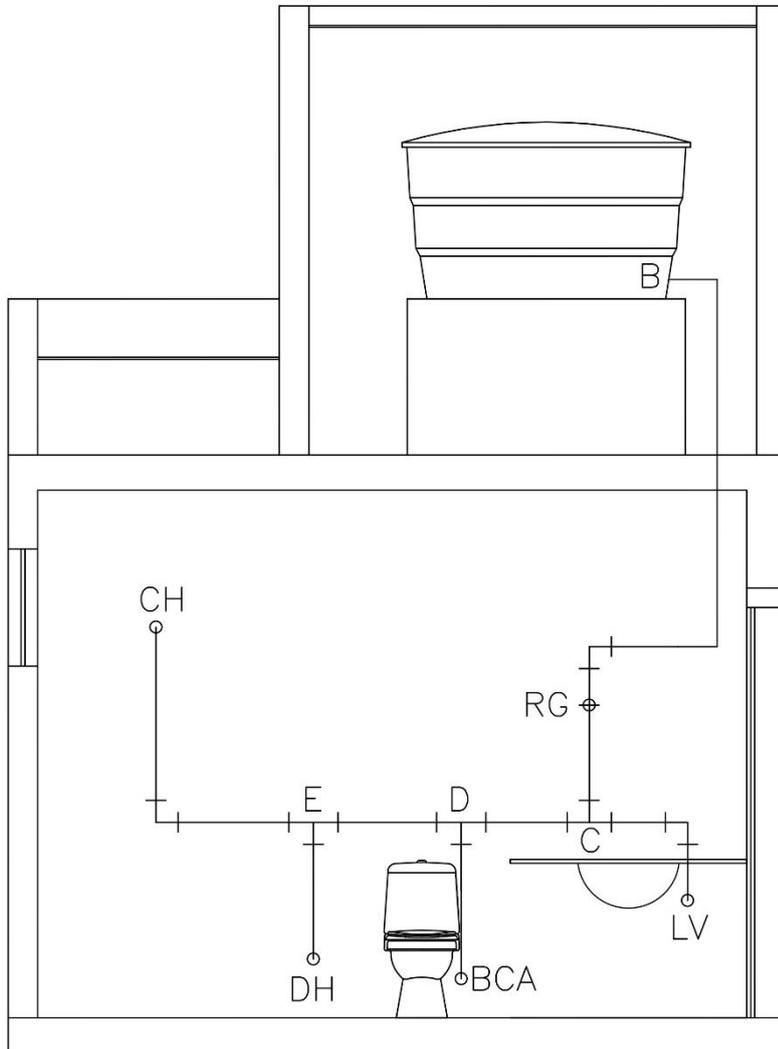
Figura 1 – Planta baixa da edificação estudada



Fonte: Os autores (2024)

No banheiro foi previsto lavatório, bacia sanitária com caixa acoplada, ducha higiênica e chuveiro. Localizado na cobertura, mais especificamente acima do banheiro, foi posicionado um reservatório de 1000 litros, locado a 0,80 m da laje, local este, escolhido pela proximidade com a maioria dos aparelhos a serem abastecidos. O traçado do sistema que abasteceu o banheiro foi feito objetivando uma menor extensão de tubulação, respeitando os aspectos arquitetônicos e estruturais da edificação. Na Figura 2 é possível visualizar, em corte, o reservatório e a parede do banheiro onde estão localizados os aparelhos sanitários, o barrilete, a coluna, o ramal, os sub-ramais que os abastecem, bem como a identificação de cada nó do sistema.

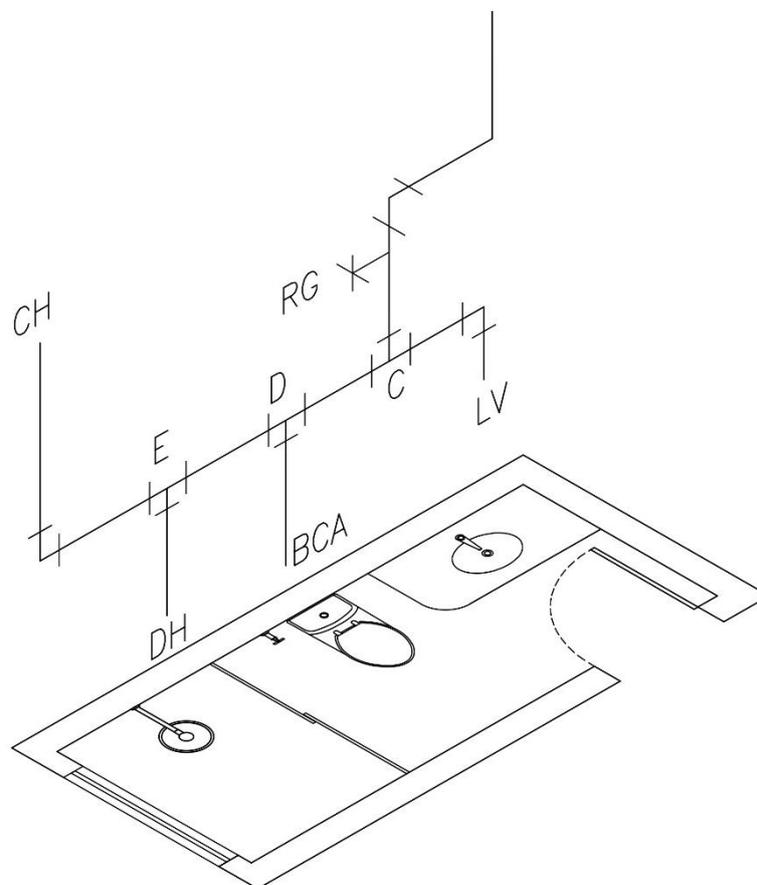
Figura 2 – Vista em corte do reservatório e da parede do banheiro onde estão localizados os aparelhos sanitários, bem como o barrilete, a coluna, o ramal e os sub-ramais que os abastecem



Fonte: Os autores (2024)

As abreviações CH, DH, BCA e LV correspondem ao chuveiro, ducha higiênica, bacia sanitária com caixa acoplada e lavatório, respectivamente. Já na Figura 3, é representado o detalhamento isométrico da instalação hidráulica do banheiro.

Figura 3 – Detalhamento isométrico da instalação hidráulica do banheiro



Fonte: Os autores (2024)

Metodologias de dimensionamento propostas

Metodologia 1 – Trecho-a-trecho

Após definição do traçado do sistema, foi possível identificar e determinar o comprimento (L) de cada trecho (barrilete, coluna, ramal e sub-ramais), sendo o comprimento dos trechos CH-E; E-DH; E-D; D-BCA; D-C; C-LV; e C-B; iguais a 2,00; 0,70; 1,55; 0,80; 1,05; 0,90 e 4,20 metros, respectivamente.

Na NBR 5626 (ABNT, 2020) é determinado que a pressão dinâmica mínima, em qualquer ponto do sistema deve ser maior que 5 kPa e menor que 400 kPa e que nos pontos de utilização não deve ser menor que 10 kPa, além de ser suficiente para assegurar a vazão de projeto do aparelho sanitário. É determinado ainda, em um cenário considerando uma ducha em funcionamento com vazão de projeto, que ao se abrir simultaneamente qualquer outro ponto de utilização, não deve ocorrer redução na pressão dinâmica superior a 10% do valor anterior. Portanto, tem-se que a adoção da pressão no ponto de utilização fica a critério do projetista, desde que atenda aos critérios apontados pela norma.

Ainda segundo a NBR 5626 (ABNT, 2020), a pressão dinâmica requerida para o funcionamento adequado, ou correspondente à operação com vazão de projeto da peça de utilização ou aparelho sanitário, pode ser obtida junto ao fabricante ou responsável pela colocação do produto no mercado nacional. Como alternativa, a referida norma aponta que pode ser obtido o fator de vazão da peça de utilização ou aparelho sanitário, o qual deve ser constante para uma faixa de operação de vazões previstas, que deve atender a Equação 1.

$$Q = K\sqrt{P} \quad (1)$$

Em que Q é a vazão de projeto da peça de utilização ou do aparelho sanitário ($L s^{-1}$), K é o fator de vazão da peça de utilização ou aparelho sanitário ($L s^{-1} kPa^{-0,5}$) e P é a pressão da água no ponto de utilização (kPa).

Diante disso, foi determinado o fator de baixa, média e alta vazão dos aparelhos sanitários presentes no banheiro da edificação estudada, por meio da coleta de dados por amostragem de diferentes fabricantes de um determinado aparelho e suas respectivas curvas de vazão. O fator K para baixa, média e alta vazão, para os diferentes aparelhos sanitários, estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Fator K para baixa, média e alta vazão para os diferentes aparelhos sanitários

Peça de utilização	Nível de Vazão	Fator K ($L s^{-1} kPa^{-0,5}$)
Chuveiro	Baixa	0,0462
	Média	0,0842
	Alta	0,1254
Torneiras	Baixa	0,0277
	Média	0,0385
	Alta	0,0450
Ducha Higiênica	Baixa	0,0062
	Média	0,0303
	Alta	0,0421
Bacia Sanitária com Caixa Acoplada	Baixa	0,0029
	Média	0,0094
	Alta	0,0247

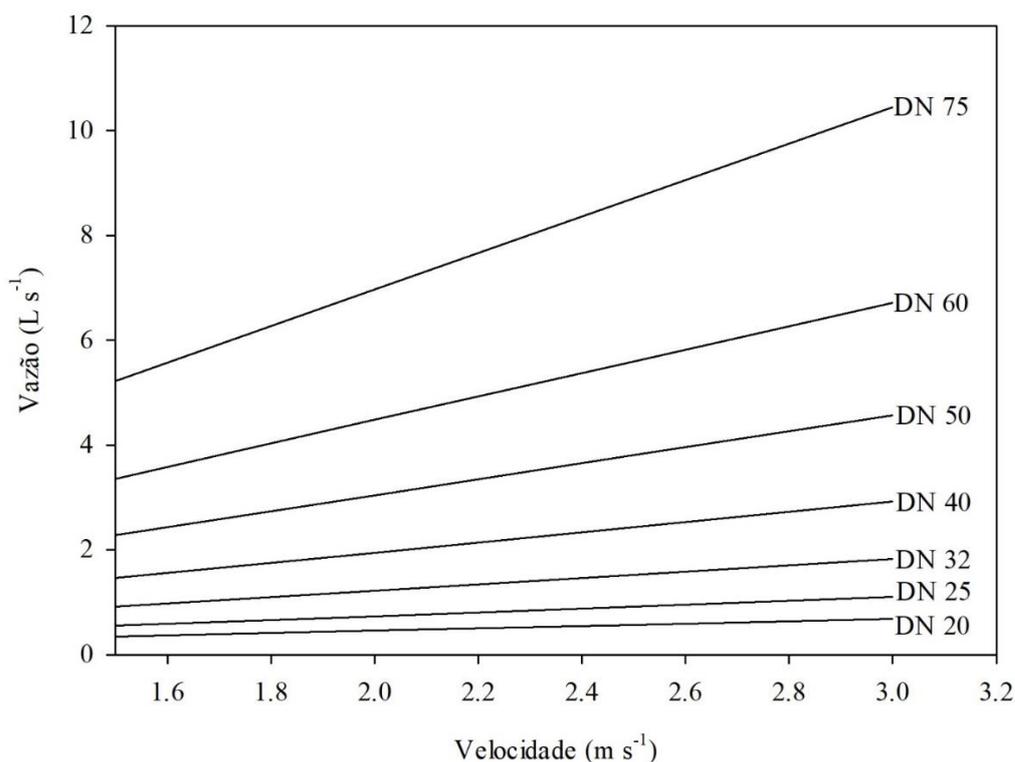
Fonte: Os autores (2024)

Foram utilizados para o chuveiro, torneira do lavatório e bacia sanitária com caixa acoplada valores de K para alta vazão e ducha higiênica para baixa vazão.

Com isso, adotou-se uma carga de pressão dinâmica no ponto mais à jusante do sistema (chuveiro) de 1,15 m para a determinação da vazão de projeto do chuveiro (Equação 1).

Para a determinação do diâmetro nominal dos trechos, considerou-se a vazão de projeto e a velocidade máxima de escoamento (3 m s^{-1}). A NBR 5626 (ABNT, 2020) aponta algumas considerações para a determinação da velocidade de projeto, como: 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 e que evitem golpes de aríete com intensidades prejudiciais aos componentes do sistema. Para auxiliar no dimensionamento, 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 (Figura 4).

Figura 4 – Valores de diâmetros nominais em função da velocidade máxima e vazão



Fonte: Os autores (2024)

Com as informações de vazão e velocidade máxima, verificou-se o ponto de intersecção e adotou-se o diâmetro comercial imediatamente superior. Sendo assim, a determinação do novo valor de velocidade, após a adoção do diâmetro comercial, se deu por meio da Equação da Continuidade (Equação 2).

$$Q = AV \tag{2}$$

Em que: A é a área (m²) e V é a velocidade (m s⁻¹).

Para a Metodologia 1, desenvolveu-se duas abordagens diferentes para a verificação do funcionamento da instalação, sendo uma simplificada, que não considera os sub-ramais (Abordagem 1A) e outra completa, considerando-os (Abordagem 1B).

Abordagem 1A

Para a determinação da perda de carga localizada nos trechos do sistema, utilizou-se o Método dos Comprimentos Equivalentes em Números de Diâmetros, conforme descrito em Carvalho e Oliveira (2014). As peças especiais utilizadas para cada trecho do sistema estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2 – Peças especiais (com suas respectivas quantidades entre parênteses) em cada trecho do sistema

Trecho	Peças especiais
CH-E	Saída (1) Joelho de 90° (2); Tê de Saída Lateral (1), Registro de Pressão (1)
E-DH	Saída (1)
E-D	Tê de Saída Lateral (1)
D-BCA	Saída (1); Redução Gradual (1)
D-C	Tê de Saída Lateral (1)
C-LV	Saída (1); Redução Gradual (1); Joelho de 90° (1)
C-B	Entrada de Borda (1), Joelhos de 90° (3), Tê de saída Bilateral (1)

Fonte: Os autores (2024)

As saídas, adicionadas como peças especiais, foram consideradas à jusante de cada aparelho sanitário, tornando assim o dimensionamento mais conservador. Após contabilizado os valores de comprimentos equivalentes referentes às peças especiais, calculou-se o comprimento virtual (equivalente + real) e a perda de carga pôde ser determinada utilizando a equação de Flamant (Equação 3).

$$hf = 0,000824 \frac{Q^{1,75}}{D_i^{4,75}} L_{virt} \quad (3)$$

Em que: hf é a perda de carga (m), Di o diâmetro interno da tubulação (m) e Lvirt o comprimento virtual (m).

Com o valor da perda de carga do trecho E-F, foi calculada a pressão dinâmica no nó E aplicando a Equação de Bernoulli para fluidos reais (Equação 4), entre os nós E-F.

$$Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} - hf = C \quad (4)$$

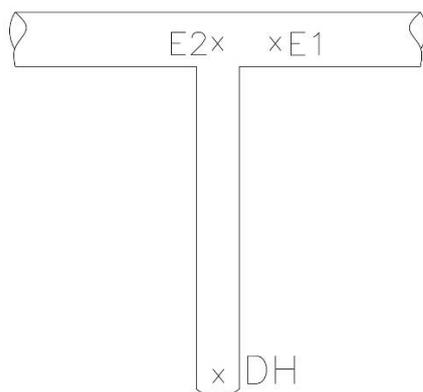
Em que: Z é a carga geométrica (m), $\frac{P}{\gamma}$ é a carga piezométrica (m), $\frac{V^2}{2g}$ é a carga cinética (m) e C uma constante.

Em seguida, foi calculada a vazão no nó E utilizando o fator K do aparelho abastecido por este e determinado o diâmetro, e assim sucessivamente para os demais nós do sistema.

Abordagem 1B

Sendo o chuveiro (ponto CH) o ponto mais à jusante da instalação, foi realizada a aplicação da Equação de Bernoulli para o trecho entre E1 (ponto imediatamente a jusante do ponto E – Figura 5) e CH, e para o trecho entre E2 e CH. A equação aplicada entre o ponto E1 e CH pode ser vista na Equação 5.

Figura 5 – Localização dos nós E1 e E2 no sistema



Fonte: Os autores (2024)

$$Z_{E1} + \frac{V_{E1}^2}{2g} + \frac{P_{E1}}{\gamma} - \Delta H_{E1-CH} = Z_{CH} + \frac{V_{CH}^2}{2g} + \frac{P_{CH}}{\gamma} \quad (5)$$

Em que ΔH_{E1-CH} é a perda de carga ocorrida entre o ponto E1 e CH.

Como ambos os pontos estão localizados no mesmo trecho (E1-CH) e, conseqüentemente, possuem mesma área da seção transversal e a mesma vazão, as velocidades nos dois pontos são iguais. Sendo assim, a parcela referente à carga cinética pode ser retirada de ambos os lados da igualdade (Equação 6).

$$Z_{E1} + \frac{P_{E1}}{\gamma} - \Delta H_{E1-CH} = Z_{CH} + \frac{P_{CH}}{\gamma} \quad (6)$$

Ao isolar a carga piezométrica de E1, tem-se a Equação 7.

$$\frac{P_{E1}}{\gamma} = Z_{CH} + \frac{P_{CH}}{\gamma} - Z_{E1} + \Delta H_{E1-CH} \quad (7)$$

Fixando-se uma carga de projeto em CH (1,15 m, como mencionado anteriormente), pôde-se determinar a pressão disponível em E, considerando E1. Para isso, deve-se conhecer a vazão ou a pressão da água no ponto CH, que será aplicada na Equação 1. Já a equação utilizada entre o ponto E2 e CH é expressa pela Equação 8.

$$Z_{E2} + \frac{V_{E2}^2}{2g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} - \Delta H_{E2-CH} = Z_{CH} + \frac{V_{CH}^2}{2g} + \frac{P_{CH}}{\gamma} \quad (8)$$

Diferente do ponto E1, o ponto E2 é responsável por abastecer dois aparelhos sanitários (CH e DH), apresentando uma vazão maior em relação ao ponto CH e, conseqüentemente, velocidades diferentes. Rearranjando a Equação 8, tem-se a Equação 9.

$$\left(\frac{V_{E2}^2}{2g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} \right) = Z_{CH} + \frac{V_{CH}^2}{2g} + \frac{P_{CH}}{\gamma} - Z_{E2} + \Delta H_{E2-CH} \quad (9)$$

Tomando-se a velocidade descrita pela Equação 10 (Equação 2 rearranjada), e a área da seção circular pela Equação 11, chega-se à Equação 12 para o cálculo da velocidade.

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

$$A = \frac{\pi D_i^2}{4} \quad (11)$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D_i^2} \quad (12)$$

Substituindo a velocidade da carga cinética da Equação de Bernoulli pela Equação 12, tem-se a Equação 13.

$$\frac{8Q_{E2}^2}{\pi^2 D^4 g} = \frac{8(Q_{CH} + Q_{DH})^2}{\pi^2 D^4 g} = \frac{8(Q_{CH}^2 + 2Q_{CH}Q_{DH} + Q_{DH}^2)}{\pi^2 D^4 g} \quad (13)$$

Posteriormente, substituindo a carga cinética de E2 da Equação 9 pela Equação 13, tem-se a Equação 14.

$$\begin{aligned} \frac{8(Q_{CH}^2 + 2Q_{CH}Q_{DH} + Q_{DH}^2)}{\pi^2 D^4 g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} \\ = Z_{CH} + \frac{V_{CH}^2}{2g} + \frac{P_{CH}}{\gamma} - Z_{E2} + \Delta H_{E2-CH} \end{aligned} \quad (14)$$

A perda de carga no trecho E2 – CH é dada pela Equação 15.

$$\Delta H_{E2-CH} = \beta \frac{L}{D_m} (Q_{CH} + Q_{DH})^n + \beta \frac{L}{D_m} (Q_{CH})^n \quad (15)$$

Em que β , m e n são coeficientes dependentes da equação da perda de carga e a perda de carga em E2, onde somam-se as vazões (Q_{CH} e Q_{DH}), pode ser tomada como localizada.

Substituindo então a Equação 15 na perda de carga entre E2–CH da Equação 14 e rearranjando a equação, chega-se à Equação 16.

$$\begin{aligned} & \frac{8(Q_{CH}^2 + 2Q_{CH}Q_{DH} + Q_{DH}^2)}{\pi^2 D^4 g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} \\ & - \left[\beta \frac{L}{D^m} (Q_{CH} + Q_{DH})^n + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{CH})^n \right] \\ & = Z_{CH} + \frac{V_{CH}^2}{2g} + \frac{P_{CH}}{\gamma} - Z_{E2} \quad (16) \end{aligned}$$

Aplicando a Equação de Bernoulli entre o trecho E2 e DH, obtém-se a Equação 17.

$$Z_{E2} + \frac{V_{E2}^2}{2g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} - \Delta H_{E2-DH} = Z_{DH} + \frac{V_{DH}^2}{2g} + \frac{P_{DH}}{\gamma} \quad (17)$$

Semelhantemente ao que ocorre entre os pontos E2 e CH, as vazões dos pontos E2 e DH não são iguais (E2: $CH + DH$; DH: DH), fazendo com que as velocidades também não sejam iguais. Substituindo então a velocidade da carga cinética de E2 e de DH pela Equação 13, tem-se a Equação 18.

$$\begin{aligned} Z_{E2} + \frac{8(Q_{CH}^2 + 2Q_{CH}Q_{DH} + Q_{DH}^2)}{\pi^2 D^4 g} + \frac{P_{E2}}{\gamma} \\ - \Delta H_{E2-DH} = Z_{DH} + \frac{8Q_{DH}^2}{\pi^2 D^4 g} + \frac{P_{DH}}{\gamma} \quad (18) \end{aligned}$$

A perda de carga no trecho E2–DH é dada pela equação 19.

$$\Delta H_{E2-DH} = \beta \frac{L}{D^m} (Q_{CH} + Q_{DH})^n + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{DH})^n \quad (19)$$

Substituindo a perda de carga no trecho E2–DH e isolando a carga de piezométrica em E2, chega-se na Equação 20.

$$\begin{aligned} \frac{P_{E2}}{\gamma} = Z_{DH} + \frac{8Q_{DH}^2}{\pi^2 D^4 g} + \frac{P_{DH}}{\gamma} - Z_{E2} \\ - \frac{8(Q_{CH}^2 + 2Q_{CH}Q_{DH} + Q_{DH}^2)}{\pi^2 D^4 g} \\ + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{CH} + Q_{DH})^n + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{DH})^n \quad (20) \end{aligned}$$

A fim de determinar a pressão no ponto E2, substitui-se a Equação 20, na carga piezométrica da Equação 16, originando a Equação 21.

$$\begin{aligned}
& \frac{8(Q_{CH}^2 + 2Q_{CH}Q_{DH} + Q_{DH}^2)}{\pi^2 D^4 g} + Z_{DH} + \frac{8Q_{DH}^2}{\pi^2 D^4 g} \\
& + \frac{P_{DH}}{\gamma} - Z_{E2} - \frac{8(Q_{CH}^2 + 2Q_{CH}Q_{DH} + Q_{DH}^2)}{\pi^2 D^4 g} \\
& + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{CH} + Q_{DH})^n + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{DH})^n \\
& - \left[\beta \frac{L}{D^m} (Q_{CH} + Q_{DH})^n + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{CH})^n \right] \\
& = Z_{CH} + \frac{V_{CH}^2}{2g} + \frac{P_{CH}}{\gamma} - Z_{E2} \quad (21)
\end{aligned}$$

Anulando termos iguais em módulo, porém com sinais opostos, e rearranjando a Equação 21, chega-se na Equação 22.

$$\begin{aligned}
& \frac{8Q_{DH}^2}{\pi^2 D^4 g} + \frac{P_{DH}}{\gamma} + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{DH})^n \\
& = Z_{CH} + \frac{V_{CH}^2}{2g} + \frac{P_{CH}}{\gamma} - Z_{DH} + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{CH})^n \quad (22)
\end{aligned}$$

Substituindo a vazão (Q) pela relação descrita na Equação 1, tem-se a Equação 23.

$$\begin{aligned}
& \frac{8(K\sqrt{P_{DH}})^2}{\pi^2 D^4 g} + \frac{P_{DH}}{\gamma} + \beta \frac{L}{D^m} (K\sqrt{P_{DH}})^n \\
& = Z_{CH} + \frac{V_{CH}^2}{2g} + \frac{P_{CH}}{\gamma} - Z_{DH} + \beta \frac{L}{D^m} (Q_{CH})^n \quad (23)
\end{aligned}$$

Por meio da Equação 23 determina-se a pressão no sub-ramal, posteriormente a vazão no sub-ramal (Equação 1) e, por fim, a pressão no ponto E2 (Equação 20). Este raciocínio repete-se até que se alcance o ponto A (nível máximo de água na caixa d'água) no sistema.

Metodologia 2 – Gradiente

Para a obtenção da pressão dinâmica no ponto de utilização, subtrai-se da pressão estática a perda de carga que ocorre no sistema até o ponto de utilização. Considerou-se, para fins de cálculo, o chuveiro que é o ponto mais desfavorecido (maior cota) do sistema. O cálculo da pressão dinâmica é expresso pela Equação 24.

$$H_{PCH} = \Delta Z_{CH} - \Delta H_{R-CH} \quad (24)$$

Em que H_{PCH} é a carga de pressão dinâmica no chuveiro, ΔZ_{CH} é o desnível entre o nível mínimo da água no reservatório e o chuveiro e ΔH_{R-CH} é a perda de carga entre o reservatório com o nível mínimo de água e o chuveiro.

A NBR 5626 (ABNT, 2020) define que a pressão dinâmica mínima no chuveiro não deve ser menor que 10 kPa (1,01968 m.c.a.). Ressalta-se que, desde que o

valor da carga de pressão dinâmica esteja entre o mínimo apresentado e o máximo (40 kPa), o seu valor pode ser definido a critério do projetista durante o dimensionamento.

Considerando a exigência feita pela NBR 5626 (ABNT, 2020), de que a redução máxima de pressão dinâmica de uma ducha funcionando simultaneamente com um aparelho qualquer em relação ao funcionamento desta com vazão de projeto deve ser de 10%, tem-se a condição expressa na Equação 25.

$$\frac{H_{PCHSIM}}{H_{PCHPROJ}} \geq 0,90 \quad (25)$$

Em que $H_{PCHPROJ}$ é a carga de pressão dinâmica no chuveiro funcionando com vazão de projeto e H_{PCHSIM} é a carga de pressão dinâmica no chuveiro em operação simultânea com um aparelho qualquer. Combinando as Equações 24 e 25, origina-se a Equação 26.

$$\frac{\Delta Z_{CH} - \Delta H_{R-CHSIM}}{\Delta Z_{CH} - \Delta H_{R-CHPROJ}} \geq 0,90 \quad (26)$$

Colocando ΔZ_{CH} em evidência, tem-se a Equação 27.

$$\frac{\Delta Z_{CH} \left(1 - \frac{\Delta H_{R-CHSIM}}{\Delta Z_{CH}}\right)}{\Delta Z_{CH} \left(1 - \frac{\Delta H_{R-CHPROJ}}{\Delta Z_{CH}}\right)} \geq 0,90 \quad (27)$$

Simplificando a Equação 27 e definindo a razão entre $\Delta H_{R-CHSIM}$ e ΔZ_{CH} como $\Psi_{R-CHSIM}$ e entre $\Delta H_{R-CHPROJ}$ e ΔZ_{CH} como $\Psi_{R-CHPROJ}$, tem-se a Equação 28.

$$\frac{1 - \Psi_{R-CHSIM}}{1 - \Psi_{R-CHPROJ}} \geq 0,90 \quad (28)$$

Desenvolvendo a Equação 28, chega-se à Equação 29.

$$\Psi_{R-CHPROJ} \leq 1,1111\Psi_{R-CHSIM} - 0,1111 \quad (29)$$

Sabendo que a carga de pressão dinâmica mínima no chuveiro deve obedecer a Equação 30, pode-se chegar à relação expressa na Equação 31.

$$\Delta Z_{CH} - \Delta H_{R-CHSIM} = 1,01968 \quad (30)$$

$$\Delta Z_{CH} \left(1 - \frac{\Delta H_{R-CHSIM}}{\Delta Z_{CH}}\right) = 1,01968 \quad (31)$$

Substituindo então a razão entre $\Delta H_{R-CHSIM}$ e ΔZ_{CH} por $\Psi_{R-CHSIM}$ e trabalhando a Equação 31, tem-se a Equação 32.

$$\Psi_{R-CHSIM} = 1 - \frac{1,01968}{\Delta Z_{CH}} \quad (32)$$

Dessa forma, ao obter o valor de $\Psi_{R-CHSIM}$ (Equação 32), chega-se ao valor de $\Psi_{R-CHPROJ}$ (Equação 29), garantindo que o critério de carga de pressão dinâmica mínima no chuveiro estipulado pela NBR 5626 (ABNT, 2020) seja atendido. Rearranjando a Equação 32 para ΔZ_{CH} ficar em função de $\Psi_{R-CHSIM}$ e substituindo na Equação 30, tem-se a Equação 33.

$$\frac{1,01968}{1 - \Psi_{R-CHSIM}} - \Delta H_{R-CHSIM} = 1,01968 \quad (33)$$

Isolando $\Delta H_{R-CHSIM}$ chega-se na Equação 34.

$$\Delta H_{R-CHSIM} = \frac{1,01968}{1 - \Psi_{R-CHSIM}} - 1,01968 \quad (34)$$

Substituindo $\Delta H_{R-CHSIM}$ da Equação 34 pela equação geral da perda de carga, e sabendo-se que no cálculo da perda de carga a única vazão conduzida no sistema é a do chuveiro, ou seja, esta se torna comum para todos os trechos, assim como a constante da equação da perda de carga, tem-se a Equação 35.

$$\beta Q_{CH}^n \sum_{i=1}^k \left(\frac{L}{D^m} \right) = \frac{1,01968}{1 - \Psi_{R-CHSIM}} - 1,01968 \quad (35)$$

Considerando a pressão mínima no chuveiro (1,15 m) chega-se à vazão de projeto do chuveiro. Dessa forma, o dimensionamento é realizado variando o diâmetro, de modo que a relação expressa seja satisfeita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Metodologia 1 – Trecho-a-trecho (Abordagens 1A e 1B)

As variáveis obtidas no dimensionamento de cada trecho para as abordagens 1A e 1B estão indicados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Variáveis obtidas no dimensionamento do sistema, utilizando para a verificação do funcionamento hidráulico o proposto na Abordagem 1A

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)
CH-E	2,00	2,20	1,00	1,20	8,08	10,08	0,000134	0,017	0,35	2,70
E-D	0,75	1,00	1,00	0,00	0,85	1,60	0,000145	0,017	0,06	2,77
D-C	0,65	1,00	1,00	0,00	0,85	1,50	0,000186	0,017	0,09	2,86
C-B	4,20	1,00	4,2	-3,20	5,21	9,41	0,000262	0,0216	0,34	0,00

Nota: Em que L é o comprimento real dos trechos, Zj a cota a jusante, Zm a cota a montante, ΔZ a subtração da cota de montante da cota de jusante, Leq o comprimento equivalente, Lvirt. o comprimento virtual, Q a vazão, Di o diâmetro interno, ΔH_j -m a perda de carga de jusante à montante, Pm a carga de pressão a montante e Pj a carga de pressão a jusante. Fonte: Os autores (2024)

Tabela 4 – Variáveis obtidas no dimensionamento do sistema, utilizando para a verificação do funcionamento hidráulico o proposto na Abordagem 1B

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)
CH-E2	2,00	2,20	1,00	1,20	8,93	10,93	0,00013	0,00021	0,017	2,90
E2-DH	0,70	1,00	0,30	0,70	0,60	1,30	0,00021	0,00008	0,017	3,43
E-D2	1,55	1,00	1,00	0,00	1,08	2,63	0,00021	0,00026	0,022	3,32
D2-BCA	0,80	1,00	0,20	0,80	0,70	1,50	0,00026	0,00005	0,017	3,91
D-C2	1,05	1,00	1,00	0,00	1,08	2,13	0,00026	0,00035	0,022	3,75
C2-LV	0,90	1,00	0,60	0,40	1,46	2,36	0,00035	0,00009	0,017	3,78
C-B	4,20	1,00	4,20	-3,20	10,60	14,8	0,00035	0,00035	0,044	0,58

Nota: Em que L é o comprimento real dos trechos, Zj a cota a jusante, Zm a cota a montante, ΔZ a subtração da cota de montante da cota de jusante, Leq o comprimento equivalente, Lvirt. o comprimento virtual, Qj a vazão a jusante, Qm a vazão a montante, Di o diâmetro interno, ΔH_j -m a perda de carga de jusante à montante, Pm a carga de pressão a montante e Pj a carga de pressão a jusante. Fonte: Os autores (2024)

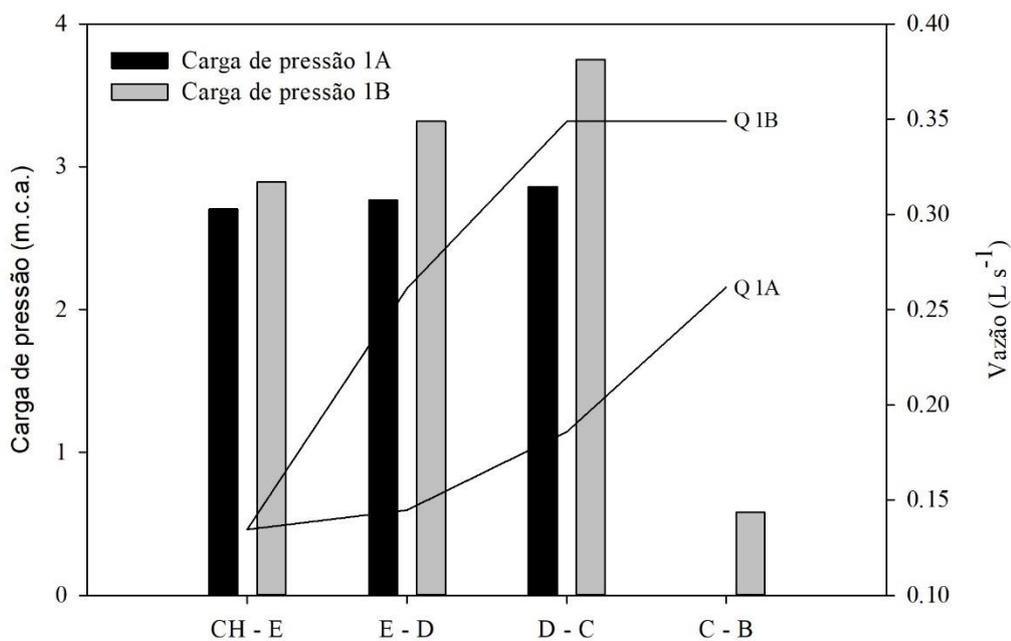
Em relação às cargas de pressão dinâmica disponíveis, a carga a montante do trecho mais montante da tubulação (C-B), o qual corresponde à saída do reservatório, na Abordagem 1A, apresentou valores próximos de zero. Este resultado é satisfatório, pois o dimensionamento foi realizado de jusante à montante, portanto a carga de pressão disponível próxima de zero significa que há carga de pressão dinâmica suficiente para o funcionamento simultâneo dos aparelhos sanitários em ambas as metodologias, atendendo aos critérios normativos. Ainda, o resultado próximo à zero, indica que o dimensionamento foi feito de forma econômica e que não houve o superdimensionamento do sistema.

Em um cenário em que a pressão seja próxima de zero com um valor de desvio negativo expressivo, o projetista pode optar por diminuir os diâmetros das tubulações ou diminuir a carga de pressão estimada no aparelho mais a jusante a fim de realizar um dimensionamento mais econômico. Já em um cenário em que a carga de pressão dinâmica apresenta um desvio positivo expressivo, o projetista pode aumentar a diferença de nível entre o reservatório e o aparelho desfavorecido ou os diâmetros das tubulações ou a carga de pressão estimada no

aparelho mais a jusante, até que se atinja um valor ótimo da pressão do trecho de montante mais desfavorecido.

No dimensionamento realizado por meio da Abordagem 1B, para os diâmetros definidos em função da vazão e velocidade máxima de escoamento, encontrou-se um elevado déficit pressão a montante do trecho C–B. Em função do obtido, para se adequar à norma vigente, há algumas soluções disponíveis, como aumentar o diâmetro das tubulações, reduzindo a perda de carga e, conseqüentemente, aumentando a pressão disponível, ou elevar o nível do reservatório. Nota-se que, com o emprego das metodologias apresentadas neste trabalho, é possível obter os valores, do déficit ou superávit de pressão. Para uma melhor visualização, na Figura 6 são relacionadas as pressões e vazões nos trechos em comum para as duas abordagens.

Figura 5 – Localização dos nós E1 e E2 no sistema



Fonte: Os autores (2024)

Por meio da Figura 6, nota-se que no início do dimensionamento, ou seja, no ponto mais a jusante do sistema, a carga de pressão dinâmica é ligeiramente menor para a Metodologia 1A. Porém, quanto mais a montante, as cargas de pressão dinâmica ficam mais distintas entre si, tornando as diferenças entre as Metodologias de dimensionamento notória.

Estes resultados indicam que ao utilizar a Abordagem 1A para o dimensionamento, haverá um déficit de carga de pressão dinâmica requerida para o bom funcionamento dos aparelhos sanitários em uso simultâneo, se comparado aos valores encontrados na Abordagem 1B.

Já em relação às diferenças encontradas nos valores de vazão, observa-se utilizando a Abordagem 1B, que exigiu maiores cargas de pressão, foram obtidos valores maiores de vazão. Tal diferença se deve pela relação apresentada na Equação 1, ou seja, quanto maior o valor de pressão, maiores serão os valores de vazão.

Devido à exigência de pressões maiores para a Abordagem 1B, houve necessidade de reduzir a perda de carga. Sendo assim, valores maiores de diâmetro para os trechos foram exigidos na Abordagem 1B, diferenciando-se dos diâmetros obtidos para a Abordagem 1A.

Metodologia 2 – Gradiente

As variáveis obtidas no dimensionamento do sistema utilizando a Metodologia 2 estão indicadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Variáveis obtidas no dimensionamento do sistema utilizando para a verificação hidráulica a Metodologia 2

Trecho	L (m)	Zj (m)	Zm (m)	ΔZ (m)	Leq (m)	Lvirt. (m)	Di (m)	Pm (m)
F-CH	2,00	2,2	1,00	1,20	8,93	10,93	0,017	1,97
E2-DH	0,70	1,00	0,30	0,70	0,60	1,30	0,017	2,62
E-D2	1,55	1,00	1,00	0,00	0,85	2,40	0,017	2,54
D2-BCA	0,80	1,00	0,20	0,80	0,70	1,50	0,017	3,28
D-C2	1,05	1,00	1,00	0,00	0,85	1,90	0,017	3,22
C2-LV	0,90	1,00	0,60	0,40	1,46	2,36	0,017	3,53
C-B	4,20	1,00	4,20	-3,20	5,21	9,41	0,0216	0,27

Fonte: Os autores (2024)

O primeiro parâmetro a ser destacado no dimensionamento utilizando a Metodologia 2 são os diâmetros. Esta Metodologia propõe uma maneira prática e rápida para o projetista verificar se os diâmetros estabelecidos atendem aos critérios de funcionamento requeridos pela NBR 5626 (ABNT, 2020).

Para fins de comparação, fez-se um dimensionamento utilizando o Método do Consumo Máximo Provável, que era indicado na antiga versão da NBR 5626 (ABNT, 1998). Detalhes dos procedimentos para dimensionamento podem ser encontrados em (Azevedo Netto e Fernandez, 2018). Analisando os resultados apresentados na Tabela 5, tem-se que em ambos os métodos (Consumo Máximo Provável e Metodologia 2, aqui proposta) encontrou-se os mesmos valores de diâmetros, sendo um resultado satisfatório, uma vez que o Método do Consumo Máximo Provável já é consagrado no Brasil. Salienta-se que não foi verificado o funcionamento hidráulico no dimensionamento realizado por meio do Método

dos Consumo Máximo Provável, o que pode-se levar à inferência de diâmetros maiores por este último.

Nota-se também que a carga de pressão dinâmica disponível no trecho mais a montante do sistema apresentou um valor próximo a 0 (0,27 m.c.a.), sendo suficiente para um funcionamento adequado do sistema, além de atingir o objetivo de um dimensionamento econômico.

Comparação entre as Metodologias 1 (Abordagens 1A e 1B) e 2

Analisando os resultados apresentados para a instalação hidráulica estudada, no que tange à Metodologia 1, tem-se que em alguns trechos os diâmetros obtidos foram menores utilizando a Abordagem 1A em relação à 1B. Além disso, os valores de vazão e carga de pressão dinâmica foram menores com o uso da Abordagem 1A, quando comparado à 1B. A variação de carga de pressão que apresentou maior discrepância ocorreu no trecho D–C, com 23,73%.

Diante disso, tem-se que a Abordagem 1A não levaria à eficiência suficiente para atender os aparelhos sanitários em funcionamento simultâneo. Os diâmetros encontrados, quando comparado à Abordagem 1B, 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 da Abordagem 1B apresentou diâmetros requeridos maiores.

O dimensionamento utilizando a Abordagem 1B, parte de um princípio de maior detalhamento e precisão, uma vez que leva em consideração as perdas de carga nos sub-ramais. Aplicando tal metodologia, há uma elevação na perda de carga nos trechos do sistema, fazendo com que a carga de pressão requerida para um bom funcionamento dos aparelhos seja maior. Sendo assim, a Abordagem 1B é mais indicada para garantir o bom funcionamento dos aparelhos em uso simultâneo.

No que diz respeito aos resultados obtidos pela proposta apresentada na Metodologia 2, tem-se que tal metodologia proporciona agilidade ao projetista, tornando possível verificar de maneira rápida a perda de carga em cada trecho, além de prezar pela redução máxima de 10% da carga de pressão dinâmica no chuveiro. Vale ressaltar que o equacionamento desenvolvido na Metodologia 2 é aplicável apenas quando o aparelho sanitário mais a jusante é o chuveiro, sendo a vazão basal do sistema (que percorre todos os trechos) representada pela vazão de projeto do chuveiro.

Analisando os diâmetros obtidos na Abordagem 1A da Metodologia 1 e na Metodologia 2, percebe-se que estes foram iguais. Ainda, tais diâmetros também se igualaram aos obtidos ao realizar o dimensionamento pelo Método do Consumo Máximo Provável, indicando que tais Metodologias não seriam ideais para a utilização simultânea de todos os aparelhos, mas sim para a vazão provável do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados encontrados pelas metodologias desenvolvidas neste trabalho, tem-se que a Abordagem 1A da Metodologia 1 e a Metodologia 2 não são indicados para o dimensionamento de sistemas em que todos os aparelhos têm elevadas probabilidades de funcionarem concomitantemente. Tais Metodologias são indicadas para o uso corriqueiro de um sistema, em que a probabilidade de uso simultâneo de todos os aparelhos sanitários é baixa.

Já a Abordagem 1B da Metodologia 1 é a indicada para sistemas onde há uma grande probabilidade de que o uso concomitante de todos os aparelhos ocorra. Para mais, dentre as propostas de dimensionamento desenvolvidas neste trabalho a abordagem supracitada é a que possui maior precisão, pois leva em consideração a hidráulica dos sub-ramais e suas respectivas perdas de carga. Em termos de desenvolvimento dos cálculos, este possui menor praticidade, dependendo um maior tempo de projeto.

A Metodologia 2 proporciona ao projetista uma verificação rápida da perda de carga em cada trecho, prezando pela redução máxima de 10% da carga de pressão dinâmica no chuveiro, porém apresenta a desvantagem de que o chuveiro deve ser o aparelho mais a jusante do sistema.

Ressalta-se que este estudo traz possibilidades de dimensionamento que podem atuar na otimização de tempo de projeto ou aumentar o detalhamento deste. Contudo, é necessário ainda desenvolver estudos complementares que comparem os resultados apresentados pelas Metodologias desenvolvidos neste trabalho a outros métodos e softwares, de forma a mensurar qual o real impacto no dimensionamento de sistemas hidráulicos prediais de água fria.

Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria. Rio de Janeiro, 1998. 41 p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2020. 56p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198**: Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro, 1993. 6p.

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

CARVALHO, J. de A.; OLIVEIRA, L. F. C. de. **Instalações de bombeamento para irrigação: hidráulica e consumo de energia**. 2. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2014.

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

MANGALENKAR, R. D.; GUMASTE, K. S. Residential water demand modelling and hydraulic reliability in design of building water supply systems: a review. **Water Supply**. v. 21, n. 4, p. 1385-1397, 2021.

SILVA, C. R.; SILVA, M. A.; MERLO, M. N.; THEBALDI, M. S. Análise técnica e econômica da captação e uso de águas pluviais em uma edificação com diferentes tipos de coberturas. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**. v. 6, n. 14, p. 911-930, 2019.