

EFEITO DA VAZÃO DE APARELHOS SANITÁRIOS SOBRE O DIMENSIONAMENTO E FUNCIONAMENTO DE INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA FRIA: MODELAGEM COM O USO DO EPANET 2.2

Effect of sanitary fixtures flowrate on the design and operation of potable water building systems: EPANET 2.2 modeling

Laura Pedrozo¹; Michael Silveira Thebaldi¹; Moisés da Silveira Pereira¹; Daniela Conceição de Jesus¹; Marina Neves Merlo¹

¹Universidade Federal de Lavras (UFLA), Minas Gerais, Brasil.

Resumo

Introdução: No Brasil, o dimensionamento de sistema hidráulicos prediais de água fria é realizado, principalmente, por meio da utilização do Método do Consumo Máximo Provável dos Pesos Relativos, entretanto, também há a possibilidade do dimensionamento com a aplicação de um coeficiente de vazão (K), obtido por meio de curvas de vazão x pressão. **Objetivo:** Verificar a possibilidade de dimensionamento racional, pelo emprego de modelos de aparelhos sanitários distintos, em um sistema hidráulico predial de água fria de uma edificação multifamiliar utilizando o software EPANET 2.2. **Metodologia:** O estudo foi realizado para uma edificação multifamiliar de quatro pavimentos, e cada um deles possui dois apartamentos com área de 45,66 m². A rede foi dimensionada por meio do método dos Pesos Relativos e por meio de tentativas utilizando o software EPANET 2.2, adotando curvas x pressão. Posteriormente, foi realizada a comparação dos dois cenários. **Resultados:** O cenário em que foram considerados todos os aparelhos sanitários, exceto a bacia sanitária com válvula de descarga, foi o que gerou maior interesse prático, além disso, foi notório que a presença da válvula de descarga na bacia sanitária impossibilitou um dimensionamento otimizado, devido à sua alta vazão. **Conclusão:** Pôde-se notar o impacto do aumento da classe de vazão dos aparelhos sanitários no funcionamento hidráulico da rede, uma vez que os diâmetros também foram aumentados.

Palavras chave: Consumo Máximo Provável; Consumo Máximo Possível; Modelagem numérica.

Abstract

Introduction: In Brazil, the design of potable water building systems is carried out mostly by the use Probable Maximum Consumption Method, using Relative Weights, however, there is also the design possibility with the application of a flow coefficient (K), obtained with flow x pressure curves. **Objective:** To verify the possibility of rational design using different models of sanitary appliances in a building potable water system of a multifamily building, using the EPANET 2.2 software. **Methodology:** The study was carried out for a four-floors multifamily building, with two apartments in each floor, with an area of 45.66 m² per apartment. The network was designed using the Relative Weights method and by trials using the EPANET 2.2 software, adopting curves x pressure. Subsequently, a comparison of the two scenarios was carried out. **Results:** The scenario in which all the sanitary appliances were considered, except the toilet bowl with flush valve, was the one that generated the greatest practical interest, in addition, it could be highlighted that the presence of the flush valve in the sanitary bowl makes an optimum design impossible, due to its high flow rate. **Conclusion:** It was possible to note the impact of the flowrate increase of sanitary fixtures on the hydraulic operation of the network, since the diameters were also increased.

Keywords: Maximum Probable Consumption; Maximum Possible Consumption; Numerical modeling.

Recebido em: 08-03-2023

Publicado em: 31-07-2024

Autor correspondente

Michael Silveira Thebaldi

Endereço: Universidade Federal de Lavras - UFLA

Trevo Rotatório Professor Edmir Sá Santos S/N, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil.

Email: michael.thebaldi@ufla.br

1. Introdução

A partir da publicação da ABNT NBR 5626:1998¹, que não está mais em vigor, se teve uma grande difusão do Método do Consumo Máximo Provável a partir do uso de Pesos Relativos, para o dimensionamento de instalações hidráulicas prediais de água fria². Este baseia-se no cálculo das variáveis hidráulicas trecho a trecho, considerando coeficientes probabilísticos de uso simultâneo dos aparelhos sanitários, além de apresentar vazões de projeto para os aparelhos sanitários³.

Porém, a partir da publicação da ABNT NBR 25626:2020⁴, além da continuidade da aplicação do método dos Pesos Relativos, também fez-se possível a realização do dimensionamento da rede por meio de um coeficiente de vazão (K), obtido por meio das curvas de vazão x pressão, Esse valor pode ser introduzido em modelos numéricos computacionais, como o EPANET 2.2, para que se obtenha o funcionamento hidráulico da rede, a partir da definição de cenários de uso simultâneo dos aparelhos sanitários, o que possibilita uma maior liberdade do projetista para definição da situação

considerada como mais desfavorável. Esse software permite a modelagem numérica da rede de água, entrada e obtenção de variáveis hidráulicas em cada nó ou trecho da tubulação, além de possibilitar a realização de simulação de aparelhos sanitários operando, simultaneamente, e de diferentes modelos de aparelhos sanitários, desde que os fabricantes apresentem informações acerca de seu comportamento hidráulico, ou se estes forem testados em laboratório.

Assim, o valor de K está relacionado com os níveis de vazão em que os aparelhos sanitários operam e, esses níveis, quando são baixos, podem proporcionar economia de água para os usuários, como nos aparelhos ditos economizadores⁵. Com isso, pode-se perceber a relevância de estudos que abordem qual a influência dos diferentes modelos de aparelhos sanitários no dimensionamento e no funcionamento dos sistemas hidráulicos prediais.

Diversos estudos têm sido realizados acerca da racionalização do uso da água a partir do uso de equipamentos economizadores como, por exemplo: foram realizadas medições em um conjunto de banheiros do Aeroporto Internacional de São Paulo que mostraram que simples ajustes nos equipamentos sanitários já propiciam uma grande economia no consumo de água⁶; já em uma universidade, foram utilizados modelos de regressão linear múltipla, da viabilidade técnico-econômica da instalação de dispositivos economizadores de água, e os resultados mostraram que o investimento é viável, sinalizando uma redução do consumo em torno de 40%⁷.

Em um estudo a fim de quantificar o impacto da troca de aparelhos sanitários convencionais por economizadores em

uma instituição de ensino superior, verificou-se que a substituição apresentou resultados interessantes na redução do consumo e pôde-se concluir que a temperatura e o número de usuários também são significativos na variação do consumo de água. Neste estudo, por exemplo, houve uma redução no consumo total de água de 12,34% causado pelo uso de torneiras economizadoras, enquanto 20,43% foram economizados ao ser contabilizado apenas o consumo das torneiras⁸.

Em busca de soluções econômicas para reduzir o consumo de água potável em uma residência, verificou-se que a substituição dos equipamentos convencionais por economizadores de água gera uma redução significativa sem alterações nos hábitos dos usuários. Além disso, que, em uma análise financeira, investir apenas na substituição dos equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água seria a melhor opção, uma vez que essa opção é a única que possui período de retorno financeiro que pode ser considerado atrativo aos usuários⁹.

Nesse contexto, e a partir do apresentado na ABNT NBR 5626:2020⁴, o software EPANET 2.2 pode ser entendido como relevante ferramenta para modelagem da rede predial. Este é um software de simulação hidráulica e de qualidade da água e assim, permite simular o comportamento hidráulico e de qualidade da água em sistemas pressurizados de distribuição durante um determinado período de funcionamento, de modo estático ou dinâmico¹⁰. O EPANET pode ser utilizado em situações como o estabelecimento de cenários de projeto, a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos¹¹.

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

2. Metodologia

Projeto arquitetônico e a rede de distribuição de água fria.

O projeto arquitetônico estudado é de uma edificação multifamiliar de quatro pavimentos, e cada um deles possui dois apartamentos com área de 45,66 m². Cada apartamento, por sua vez, possui dois quartos, banheiro, sala, área de serviço e cozinha, conforme a FIGURA 1.

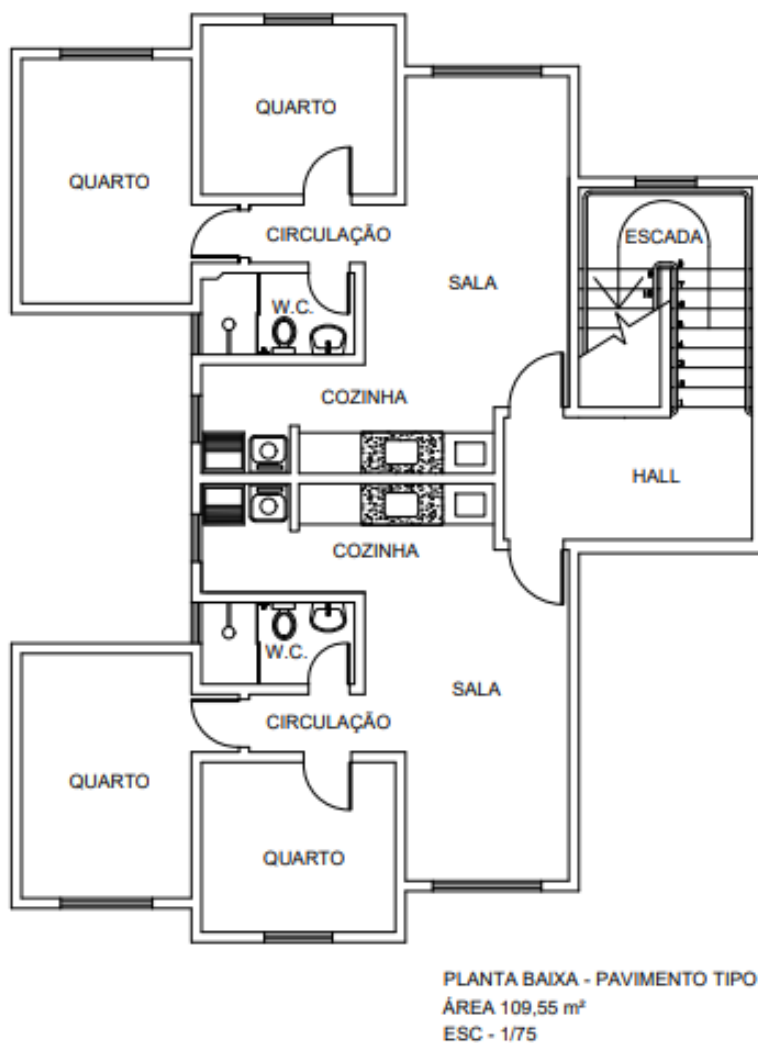


Figura 1 - Planta baixa do pavimento tipo.

O barrilete foi traçado desde o reservatório, localizado a 2 metros de altura sobre o pórtico da escada, até o início das colunas hidráulicas. As demais tubulações também foram traçadas de forma que a execução da instalação de

água fria fosse facilitada, além de se ter levado em consideração os aspectos estruturais da residência. O traçado dos ramais e sub-ramais estão representados na FIGURA 2.

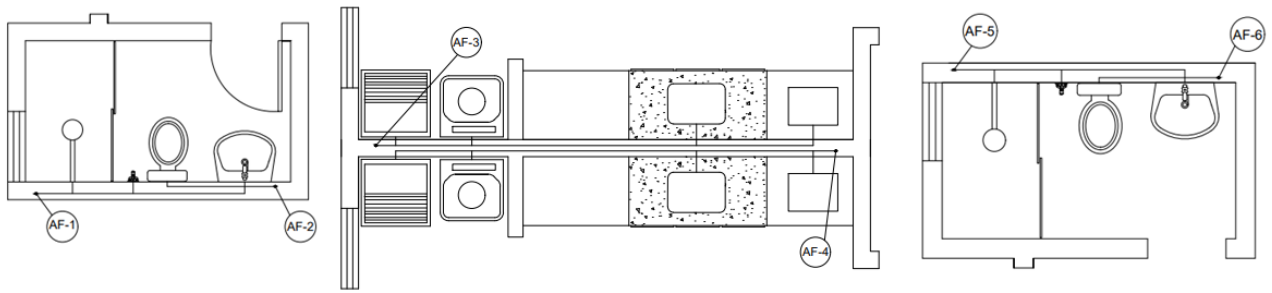


Figura 2 - Traçado em planta dos ramais e sub-ramais abastecidos pelas colunas 1,2,3,4,5 e 6.

Além disso, a representação isométrica da tubulação foi concebida levando em conta as alturas ergonômicas dos pontos

de utilização. Esse traçado pode ser visto na FIGURA 3.

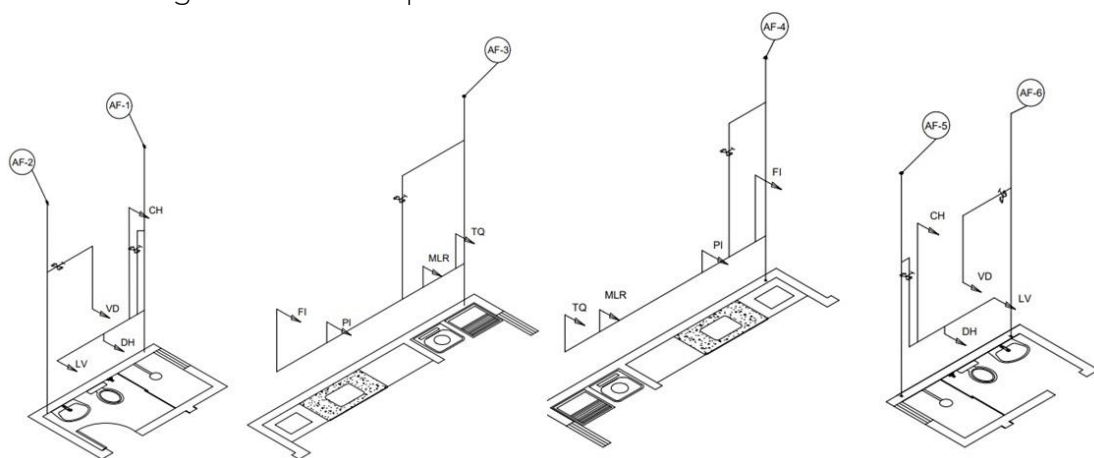


Figura 3 - Representação isométrica das colunas 1, 2, 3, 4, 5 e 6. As colunas 1 e a 5 alimentam os chuveiros (CH), as duchas higiênicas (DH) e os lavatórios (LV); as colunas 2 e 6 abastecem as válvulas de descarga das bacias sanitárias (VD); já as colunas 3 e 4 abastecem as máquinas de lavar roupa (MLR),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

Pré-dimensionamento pelo método dos Pesos relativos – Consumo máximo provável

Após o traçado da rede, pôde-se realizar o pré-dimensionamento da rede pelo método probabilístico dos Pesos relativos. Para isso, foram analisados quais aparelhos sanitários são alimentados por cada trecho da tubulação. O cálculo da vazão de cada trecho foi realizado por meio da aplicação da EQUAÇÃO 1. Para tal, utilizou-se uma tabela de pesos relativos¹².

$$Q = C \times \sqrt{\Sigma P} \quad (1)$$

Em que:

Q: Vazão em volume ($L \cdot s^{-1}$);

C: Coeficiente de descarga ($0,3 L \cdot s^{-1}$); e

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

Além disso, os diâmetros nominais foram obtidos pela relação com a vazão ($L \cdot s^{-1}$), por meio de um ábaco¹².

Coeficiente de vazão (K)

Para se obter o valor do coeficiente de

vazão para cada modelo de aparelho sanitário, foi preciso realizar o levantamento de diversos valores de pressão e de vazão de diferentes aparelhos sanitários^{13,14,15}, e estes fornecidos por fabricantes nacionais. Em seguida, os valores obtidos foram classificados de acordo com a vazão, como de alto, médio ou baixo consumo.

Essa classificação foi feita por meio de gráficos *box-plot*, em que se utilizou a vazão média dos modelos de aparelhos sanitários levantados, excetuando-se a bacia sanitária com válvula de descarga e filtro purificador de água, já que, para

estes, foram obtidos apenas três modelos.

Aparelhos que tiveram sua vazão média no primeiro quartil, foram definidos como de baixa vazão, os que tiveram média entre o segundo e terceiro quartis foram definidos como de média vazão, enquanto aqueles que tiveram vazão média definida no quarto quartil, foram classificados como de alta vazão. Os gráficos *box-plot* das vazões médias dos aparelhos sanitários chuveiro elétrico, ducha higiênica, torneira para lavatórios e torneiras para pias, são mostrados na FIGURA 4.

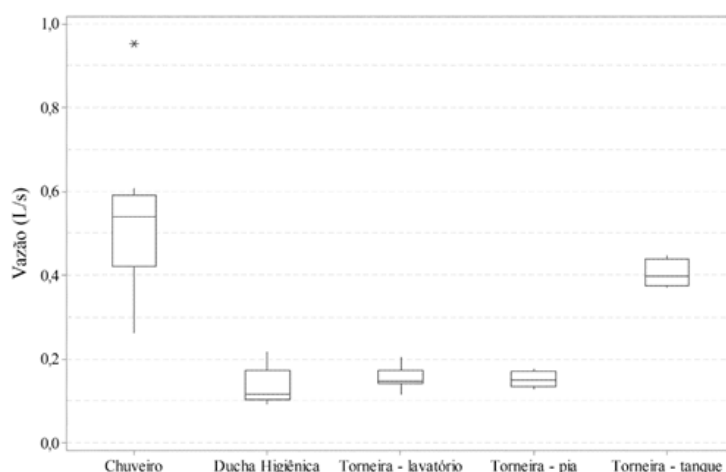


Figura 4 - Gráficos *box-plot* das vazões médias dos aparelhos sanitários.

Em seguida, foi ajustada uma curva de vazão x pressão utilizando o módulo “Solver” em planilha eletrônica do software Excel. O ajuste foi realizado com o objetivo de minimização do somatório do quadrado dos erros, ao se utilizar do Método GRG Não Linear. Para cada nível de consumo de cada aparelho sanitário por meio do modelo matemático representado na EQUAÇÃO 2 e, assim, foi possível obter, por meio da curva, o valor do coeficiente de vazão (K), apresentados na TABELA 1, que posteriormente foi utilizado no software EPANET 2.2.

$$Q = K \times \sqrt{Hp} \quad (2)$$

Em que:

Q: vazão de projeto dos aparelhos sanitários ($L \cdot s^{-1}$);

K: coeficiente de vazão ($L \cdot s^{-1} \cdot m \cdot c \cdot a^{-0,5}$); e

Hp: carga de pressão (m.c.a.).

Simulação hidráulica no EPANET 2.2

A funcionalidade do software EPANET no dimensionamento de instalações prediais de água fria já foi verificada por outros autores, que obtiveram resultados satisfatórios, atendendo aos pré-requisitos da norma vigente¹⁶.

Tabela 1 - Valores de coeficiente de vazão (K) para cada modelo de aparelho sanitário e nível de vazão classificado.

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

Além disso, a utilização desse software em simulações hidráulicas contribuiu para mostrar de que o funcionamento de mais uma entrada de água e a troca das tubulações em ferro fundido por tubulações em PEAD são alternativas eficazes para melhorar a distribuição de pressões nas instalações prediais de água fria¹⁷.

Para a simulação do funcionamento hidráulico da instalação predial de água fria, foram inseridos no EPANET 2.2 os valores iniciais de diâmetro e dos

coeficientes de vazão, já encontrados, após modelada a estrutura física da rede. Para a estimativa da perda de carga localizada foi utilizado o Método dos Comprimentos Equivalentes, ou seja, os trechos foram modelados com comprimentos virtuais¹⁸.

No software, para o cálculo da perda de carga foi definida a EQUAÇÃO 3, Fórmula de Darcy-Weisbach, sendo a rugosidade considerada para tubos lisos (PVC) foi de 0,005 mm¹⁸.

$$\Delta H = f \times L_{virt} \times \frac{v^2}{d \times 2g} \quad (3)$$

Em que:

ΔH : perda de carga total, por trecho (m.c.a.);

f: fator de atrito;

L_{virt} : comprimento virtual do trecho (m)

d: diâmetro interno do trecho (m);

v: velocidade de escoamento média na seção ($m.s^{-1}$); e

g: aceleração da gravidade ($m.s^{-2}$).

O traçado da rede modelado no EPANET 2.2 está mostrado na FIGURA 5.

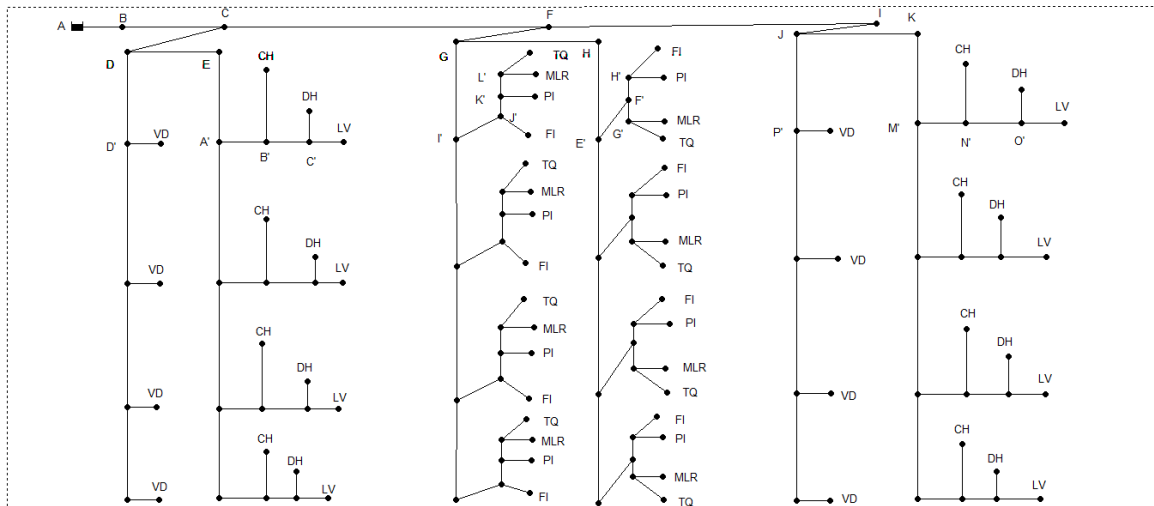


Figura 5 - Traçado da rede no EPANET 2.2. A rede ilustra o funcionamento de chuveiros (CH), duchas higiênicas (DH), lavatórios (LV), válvulas de descarga das bacias sanitárias (VD), máquinas de lavar roupa (MLR), tanques (TQ), pias (PI) e filtros (FI).

No software foi feita a análise do funcionamento hidráulico de todos os aparelhos funcionando,

simultaneamente, também sendo feitas cinco combinações de uso, para todos os pavimentos, como mostra a TABELA 2.

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

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

Legenda: Combinações uso simultâneo de chuveiros (CH), duchas higiênicas (DH), lavatórios (LV), válvulas de descarga das bacias sanitárias (VD), máquinas de lavar roupa (MLR), tanques (TQ), pias (PI) e filtros (FI).

Para que a pressão dinâmica mínima nos aparelhos sanitários definida pela legislação fosse atendida, foi necessária a

alteração de alguns valores de diâmetro e, desse modo, foi obtido o dimensionamento pelo consumo

máximo possível para cada uma das combinações⁴.

Dimensionamento pelo Método do Consumo Máximo Provável

Por fim, para se obter o dimensionamento final pelo consumo máximo provável, foi analisado o funcionamento hidráulico dos aparelhos sanitários do último pavimento separadamente, com base nos diâmetros obtidos no pré-dimensionamento. Os cálculos foram realizados na planilha eletrônica Excel[®] e, para isso, foi utilizada a EQUAÇÃO 3 para calcular a perda de carga e a EQUAÇÃO 4 para o cálculo do coeficiente de atrito¹⁹.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log\left(\frac{e}{3,71 \times Di} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right) \right]^2} \quad (4)$$

Em que:

f: coeficiente de atrito (adimensional);

e: rugosidade absoluta do material da tubulação (considerado 0,005 mm - PVC);

Di: diâmetro interno (mm); e

Re: número de Reynolds (mm).

Assim, foi feita a mudança dos diâmetros nos trechos do barrilete e das colunas 1 e 5 para que as pressões mínimas definidas na norma fossem atendidas⁴. O dimensionamento final pelo Método do Consumo Máximo Provável está representado nas FIGURAS 6 e 7.

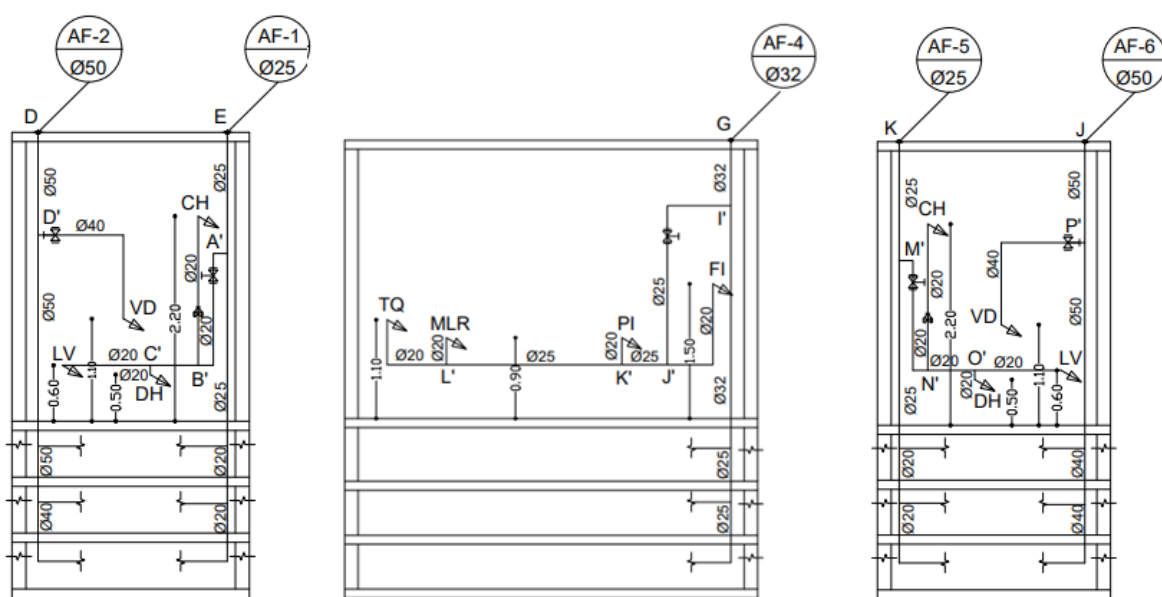


Figura 6 - Dimensionamento das colunas 1,2, 3, 4, 5 e 6. As colunas abastecem chuveiros (CH), duchas higiênicas (DH), lavatórios (LV), válvulas de descarga das bacias sanitárias (VD), máquinas de lavar roupa (MLR), tanques (TQ), pias (PI) e filtros (FI), pelo Método do Consumo Máximo Provável.

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

Para realizar essa análise, foram gerados gráficos de barras em que foram comparados os diâmetros de cada trecho em relação ao método de dimensionamento utilizado.

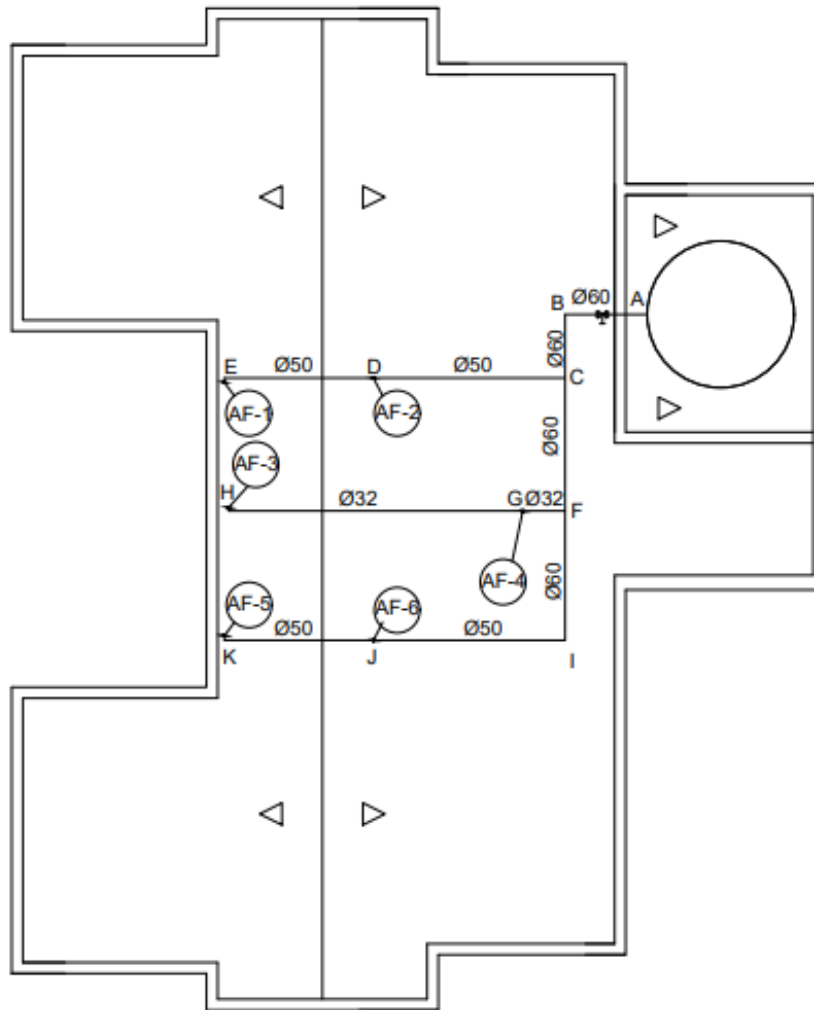


Figura 7 - Distribuição de diâmetros final do barrilete pelo Método do Consumo Máximo Provável.

A primeira análise foi dos trechos A-B, B-C, C-F e F-I presentes no barrilete, a segunda foi dos trechos C-D, D-E, E-A', A'-B' e B'-CH que abastecem o chuveiro 1 do último pavimento, na terceira os trechos analisados I-J, J-K, K-M', M'-N' e N'-CH abastecem o chuveiro 2 do último pavimento, a quarta foram dos trechos A'-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-CH que abastecem o chuveiro 1 do primeiro pavimento, já a quinta análise foi dos trechos M'-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-CH que abastecem o chuveiro 2 do primeiro pavimento.

3. Resultados e Discussão

Para realizar o dimensionamento foi analisado o funcionamento hidráulico dos chuveiros do último pavimento, já que este é o aparelho sanitário que possui a situação mais crítica em toda a instalação, devido à menor carga de pressão estática.

A situação mais crítica já foi estudada por outros autores, que ao analisar o funcionamento hidráulico de um sistema predial de água fria, a fim de verificar a adequabilidade do Método de Dimensionamento do Consumo Máximo Provável, observaram que Método do Consumo Máximo Provável pode ser utilizado, com a ressalva que sejam

verificadas as cargas de pressão dinâmica nos pontos mais desfavoráveis da edificação²⁰.

Os valores da carga de pressão dinâmica nos chuveiros estão apresentados na TABELA 3.

Tabela 3 - Carga de pressão dinâmica nos chuveiros do último pavimento para os diferentes cenários de funcionamento hidráulico e nível de vazão classificado para os aparelhos sanitários.

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

Legenda: * Não atendeu à carga de pressão mínima normalizada².

O dimensionamento foi realizado de forma que os valores de carga de pressão nos chuveiros atendessem ao valor mínimo de 10 kPa (aproximadamente 1,01 m.c.a.)⁴. Pôde-se observar que a carga de pressão dinâmica nos chuveiros nas combinações 1 e 2, para todas as vazões, não foi suficiente para que eles funcionassem adequadamente, mesmo utilizando diâmetros maiores nos trechos de barrilete. Isso se justifica pela alta vazão

demandada. Logo, as combinações 1 e 2, de uso simultâneo dos aparelhos sanitários, não foram passíveis de dimensionamento.

Após realizar o dimensionamento pelo Método do Consumo Máximo Provável e pelo Método do Consumo Máximo Possível, utilizando a 3º, 4º, 5º e 6º combinação, foi possível obter os resultados que podem ser vistos nas FIGURAS 8, 9, 10, 11 e 12, em que podem ser

vistos gráficos de barras em que são comparados os diâmetros obtidos em cada trecho da rede.

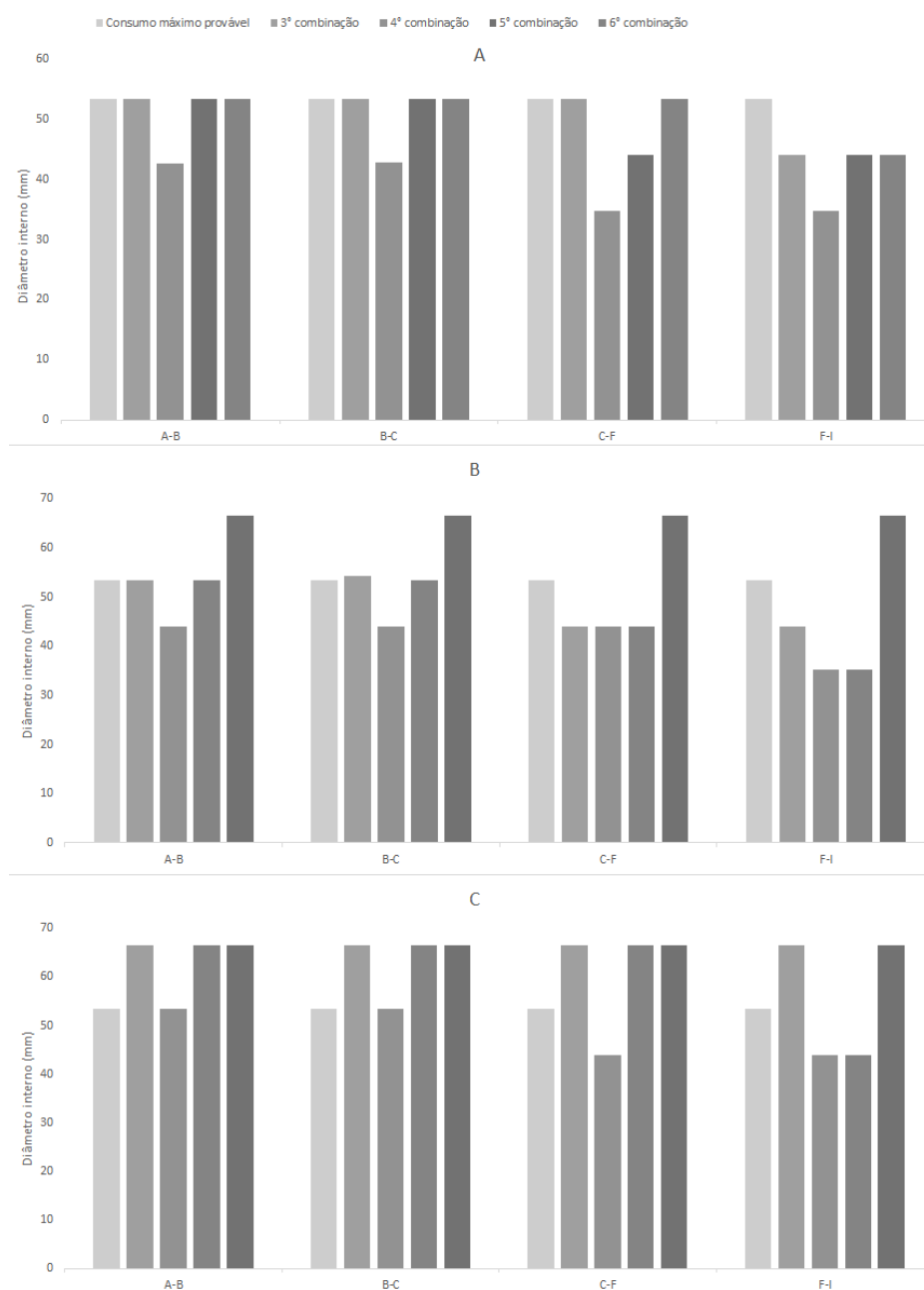


Figura 8 - Comparação dos diâmetros dos trechos do barrilete para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).

No barrilete, para os aparelhos classificados como de baixa vazão, é possível perceber nos trechos a montante que os diâmetros são semelhantes ao do Método do Consumo Máximo Provável, porém, após o trecho B-C, onde ocorre a primeira derivação para coluna, os

diâmetros diminuem, já que a vazão também diminui. Portanto, nota-se que quanto maior o somatório de pesos dos aparelhos sanitários no dimensionamento pelo Método do Consumo Máximo Provável, maior a semelhança entre este e as simulações de

combinações entre aparelhos sanitários em uso simultâneo.

Para os aparelhos de média vazão, os diâmetros tiveram o mesmo comportamento dos aparelhos de baixa vazão, excetuando a 6ª combinação que resultou em um diâmetro maior que o do Método do Consumo Máximo Provável. Já para os aparelhos de alta vazão, nos trechos a montante do barrilete, os diâmetros foram maiores e superaram os do Método do Consumo Máximo Provável. Já nos trechos de derivação às colunas, os diâmetros se mantiveram, exceto os das combinações 4 e 5, que diminuíram devido ao menor somatório de vazão e pelo fato de a maioria dos aparelhos considerados nessas combinações já terem sido abastecidos.

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

Por meio da análise das diferenças entre o cálculo utilizando o consumo simultâneo máximo provável (CMPR) e consumo simultâneo máximo possível (CMPO), observa-se que, para uma edificação residencial multifamiliar, o consumo máximo provável é o método

de dimensionamento que melhor se encaixa e é o indicado para ser utilizado no dimensionamento das tubulações de água fria²¹.

Os resultados da comparação entre os métodos de dimensionamento utilizados nos trechos que abastecem os chuveiros do último pavimento são apresentados na FIGURA 9 e na FIGURA 10.

Nestas figuras é possível ser verificado que, para os aparelhos de baixa vazão, os diâmetros foram iguais ou menores que os do Método do Consumo Máximo Provável e, à medida que aconteceram derivações na tubulação, os diâmetros diminuíram.

Já para os aparelhos classificados como de média vazão, os diâmetros também diminuíram com a mudança de trecho. Contudo, é evidente que a 6ª combinação resultou em um diâmetro maior que os demais tornando, assim, uma combinação interessante, visto que este ainda é um diâmetro baixo para o início de uma coluna que abastece 4 pavimentos.

Para os aparelhos de alta vazão, os diâmetros dos primeiros trechos foram maiores em comparação com o método do Consumo Máximo Provável. Além disso, é notório que no último trecho os diâmetros para todos os métodos de dimensionamento foram iguais e possuem o menor valor possível de diâmetro comercializado, já que esse trecho possui apenas a vazão do chuveiro.

A vazão calculada no consumo simultâneo máximo possível foi a responsável pelo dimensionamento resultar em valores superiores no diâmetro das tubulações, devido acarretar muitas perdas de cargas na tubulação. Consequentemente, com a vazão e o diâmetro maiores, as pressões nos pontos de consumo foram menores,

quando comparadas com o método do consumo simultâneo máximo provável²¹.

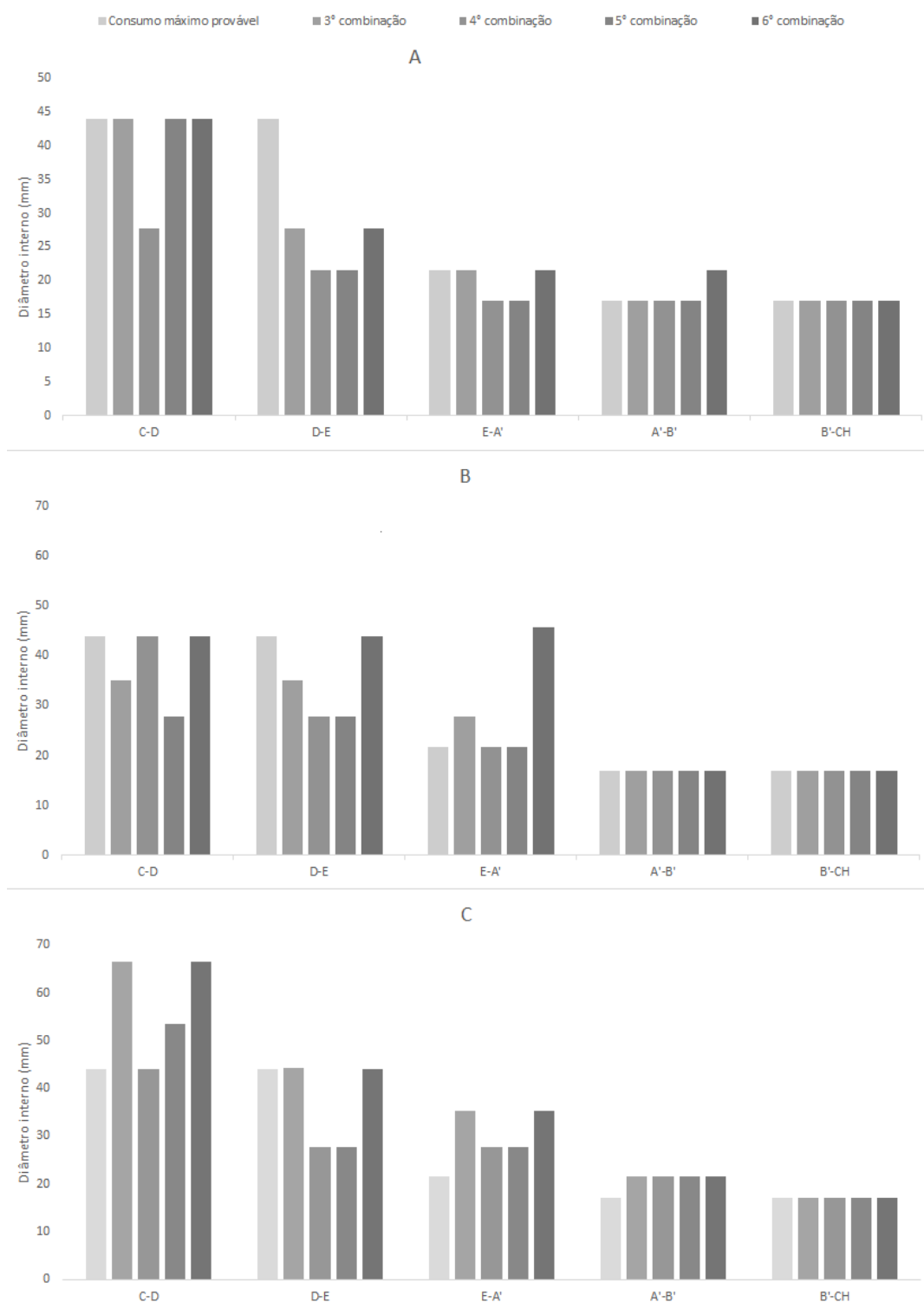


Figura 9 - Comparação dos diâmetros dos trechos do barrilete para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).

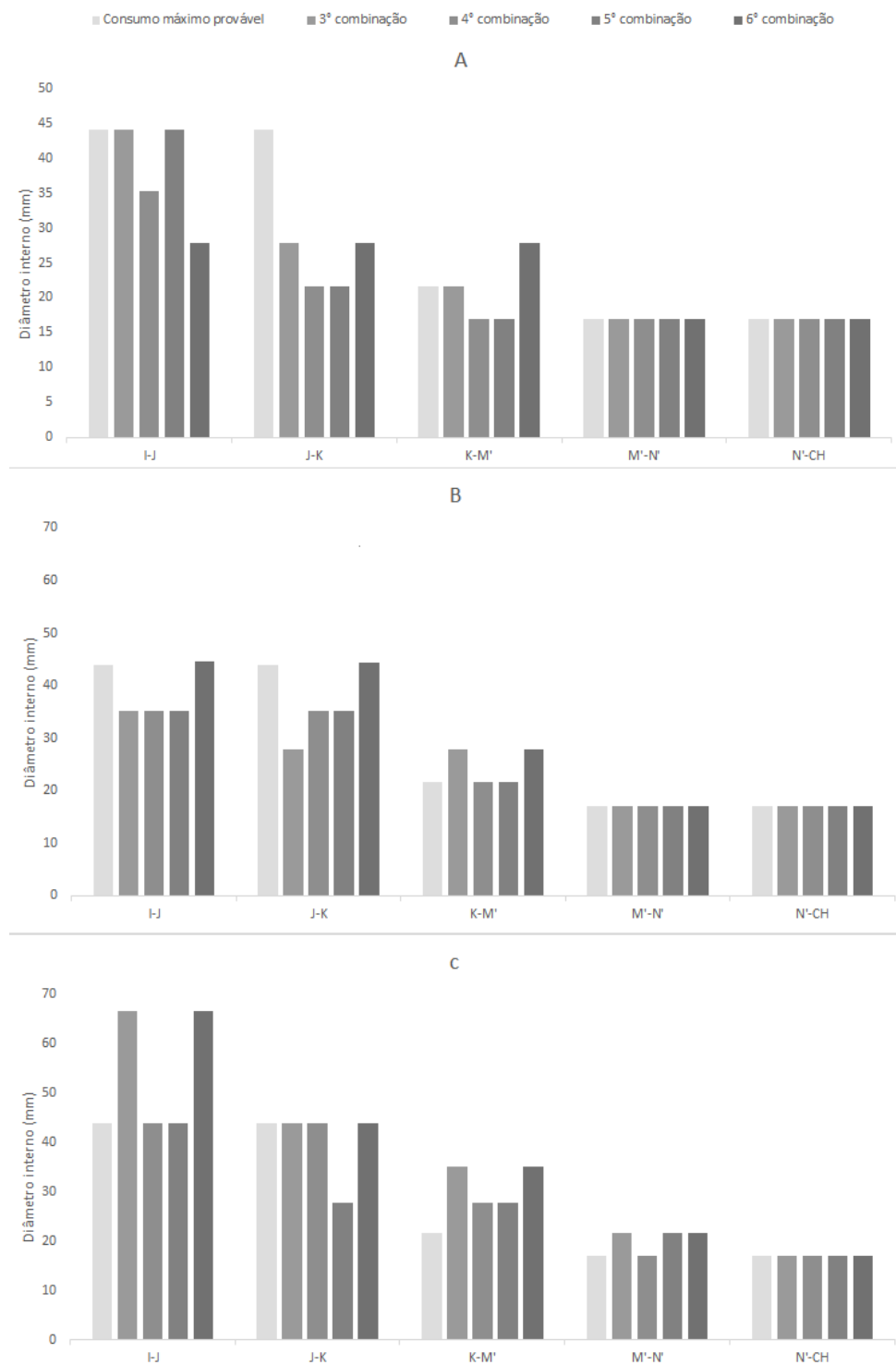


Figura 10 - Comparação dos diâmetros dos trechos que abastecem o chuveiro 2 do último pavimento. A (aparelhos de baixa vazão); B (aparelhos de média vazão) e C (aparelhos de alta vazão).

Com a análise da FIGURA 11 e da FIGURA 12, pode ser feita comparação entre os diâmetros obtidos para os métodos de

dimensionamentos avaliados, para os trechos que abastecem os chuveiros do primeiro pavimento.

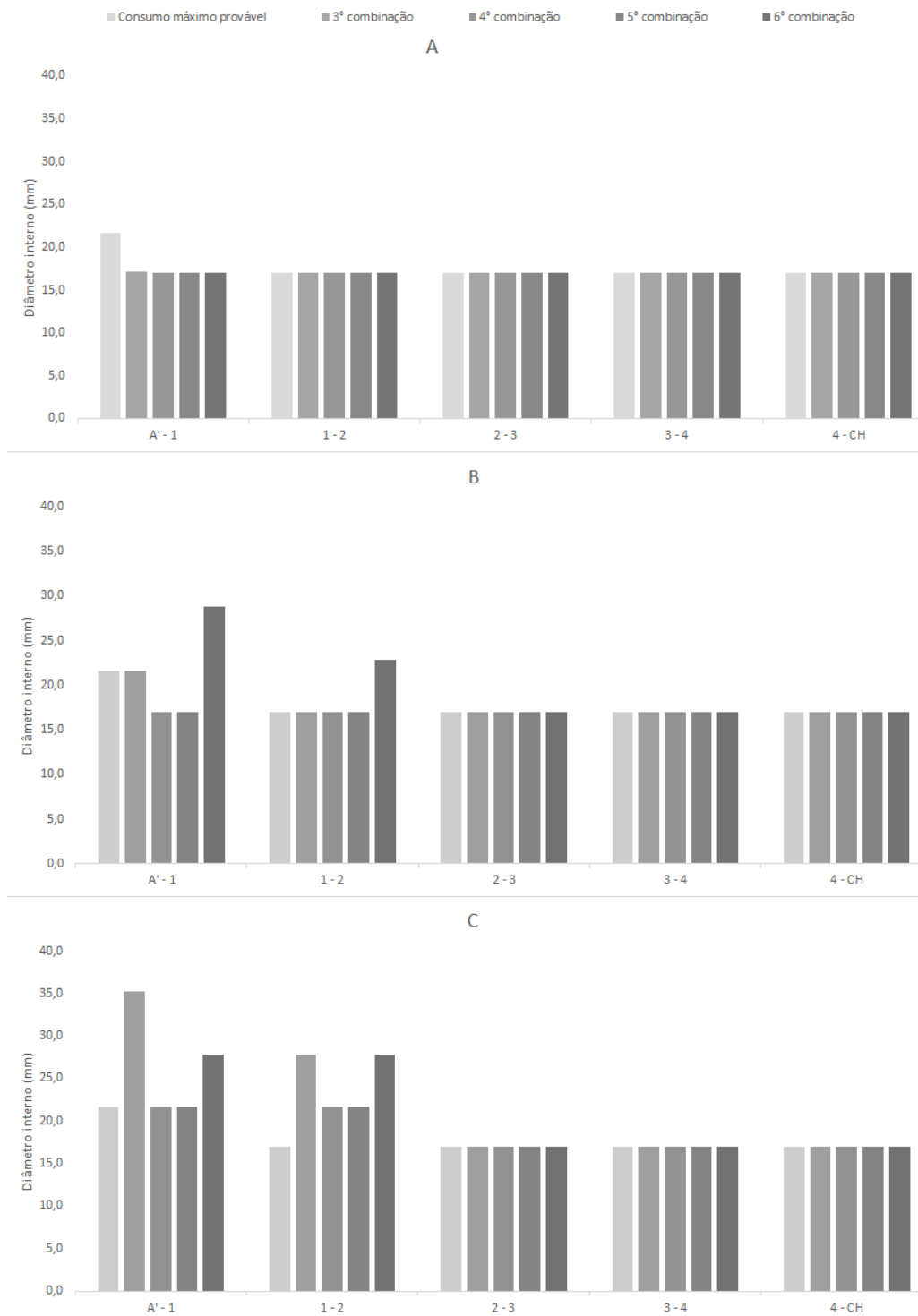


Figura 11 - Comparação dos diâmetros dos trechos que abastecem o chuveiro 1 do primeiro pavimento para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).

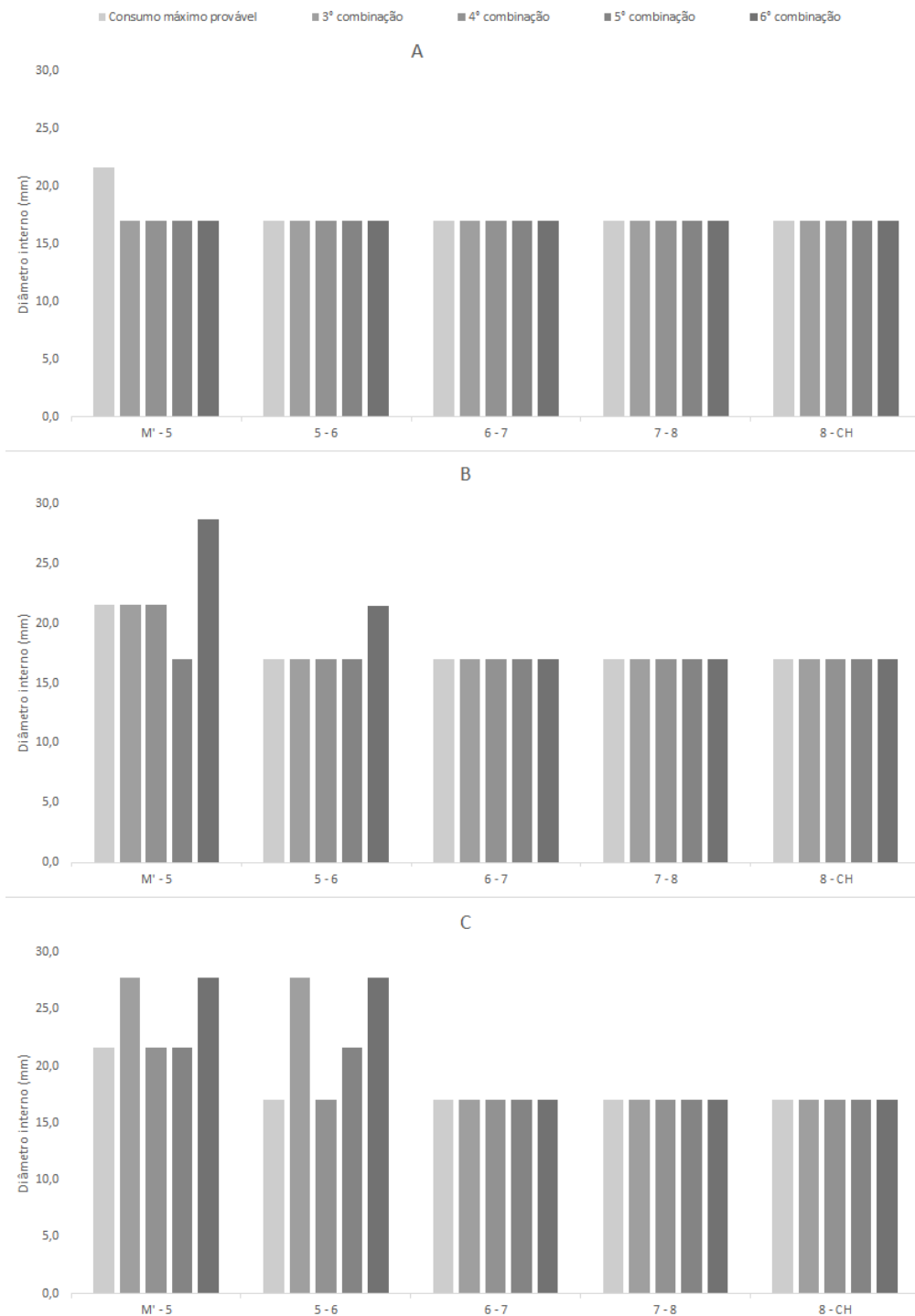


Figura 12 - Comparação dos diâmetros dos trechos que abastecem o chuveiro 2 do primeiro pavimento para cenários de utilização de aparelhos sanitários de baixa vazão (A), de média vazão (B) e de alta vazão (C).

Para os gráficos dos aparelhos classificados como de baixa vazão, é notória a diferença obtida pelo Método do Consumo Máximo Provável para primeiro trecho e a linearidade nos diâmetros nos demais trechos, e estes são os valores

mínimos. Esse comportamento é justificado pelo fato de serem trechos de colunas e estas possuem grande carga de pressão estática, assim, os diâmetros menores não interferem no funcionamento hidráulico.

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

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

Engenheiros desenvolveram um software para dimensionamento das IHP de água fria e hidrantes no âmbito acadêmico, obtendo-se em sua conclusão um software com visual limpo, simples e dinâmico que apresenta facilidade de uso ao usuário sem a necessidade de um manual complexo de utilização. Além disso, possui o diferencial de gerar um relatório do quantitativo de materiais, possibilitando o usuário utilizar esses dados nos estudos de custos e orçamentos²².

4. Conclusão

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

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

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

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

5. Declaração de conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito

de interesses, tais como propostas de financiamento, emissão de pareceres, promoções ou participação em comitês consultivos ou diretivos, entre outras, que pudessem influenciar no desenvolvimento do trabalho.

6. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo financiamento do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PPGRH) da Universidade Federal de Lavras (apoio código 001).

7. Referências

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente – projeto, execução, operação e manutenção**. Rio de Janeiro, 1998.
2. CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias princípios básicos para elaboração de projetos**. 2. ed. Editora Blücher 2016, 263 p.
3. VERÓL, Aline Pires. **Sistemas prediais hidráulicos e sanitários projetos práticos e sustentáveis**. Rio de Janeiro, 2018.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Sistemas prediais de água fria e água quente – projeto, execução, operação e manutenção**. Rio de Janeiro, 2020.
5. ASSOCIAÇÃO DAS EMPRESAS E PROFISSIONAIS DO SETOR IMOBILIÁRIO. **Construção consciente: Economia de Água**. Disponível em: <https://www.astra-sa.com/destaques/wp-content/uploads/2012/04/cartilha-construcao-consciente-economia-de-agua.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2023.
6. ILHA, M.S.O.; OLIVEIRA, L.H.; SOUSA JUNIOR, W.C.; GONÇALVES, O.M.; CAMPOS, M.A.S. Impact of installation of water saving technologies at the International Airport of São Paulo in Brazil. In: CIB W062 International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings, 36., 2010, Sydney. **Anais [...]**. Sydney: Commission W062 Water Supply and Drainage for Buildings CIB W062. p. 449-458.
7. LOMBARDI, L. R. **Dispositivos poupadores de água em um sistema predial: análise da viabilidade técnico-econômica de implementação no instituto de pesquisas hidráulicas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
8. ALEXANDRE, A.C.; KALBUCH, A.; HENNING, E. Avaliação do impacto da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores consumo de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 1005-1015, 2017.
9. BERTOLAZZI, L.; CUSTÓDIO, D. A. Análise econômica de soluções para reduzir o consumo de água potável – estudo de caso de uma residência em Joinville – SC. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. especial, p. 186-206, fev. 2020.
10. SILVA, C. O. da. **Modelagem de**

- rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas.**
Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
11. ROSSMAN, L. A.; WOO, H.; TRYBY, M.; SHANG, F.; JANKE, R.; HAXTON, T. **EPANET 2.2 User Manual.** Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 2020.
 12. CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias.** Editora Blücher, 2016. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208389/>>. Acesso em: 11 mai. 2022.
 13. DOCOL. **Catálogo comercial em homepage.** Disponível em: <<https://www.docol.com.br/>>.
 14. DECA. **Catálogo e publicações.** Disponível em: <<https://www.deca.com.br/biblioteca/catalogos-e-publicacoes/>>.
 15. FABRIMAR. **Catálogo de produtos e informações técnicas.** Disponível em: <https://www.fabrimar.com.br/arquivos/catalogos/catalogo_de_produtos_2013.pdf>.
 16. CASAGRANDE, Gabriel Santos. **Dimensionamento otimizado de redes prediais de água utilizando os programas EPANET-LENHSNET e EXCEL.** 2011. 77 p. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011. Disponível em: <https://engenhariaambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/dimensionamento_otimizado_de_redes_prediais_de_agua_utilizando_os_programas_epanetlenhsnet_e_excel.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.
 17. TAVARES, S. A.; MARQUES, M. M. Padrões operacionais das instalações prediais de água fria do Instituto Central de Ciências da Universidade de Brasília. **Água e o ambiente construído**, p. 11-25. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/post/padroes-operacionais-das-instalacoes-prediais-de-agua-fria-do-instituto-central-de-ciencias-da-universidade-de-brasilia>>. Acesso em: 15 fev. 2023.
 18. AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F.Y. **Manual de hidráulica.** 9º ed. Editora Blucher, 2015.
 19. BAPTISTA, Márcio Benedito; COELHO, Márcia Maria Lara Pinto. **Fundamentos de engenharia hidráulica.** 3. ed., rev. e ampl. Belo Horizonte, MG: Ed. UFMG, 2010. 473 p.
 20. FERREIRA, A. C.; ABREU, P. H. R. de; SILVA, M. A.; THEBALDI, M. S.; MERLO, M. N. Adequabilidade do Método do Consumo Máximo Provável para o dimensionamento de sistemas prediais de água fria. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 20, p. 1633-164, 31 dez. 2021.
 21. FERREIRA, R. P.; CAUDURO, F. **Análise dos métodos de cálculo para o dimensionamento de tubulações de rede predial de distribuição de água - estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2017.

22. RAUPP, O. DE M.; CAUDURO, F. **Desenvolvimento de Software de Dimensionamento de Instalações Hidráulicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2019.